



(10) **DE 10 2018 104 779 A1** 2019.09.05

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2018 104 779.7**
(22) Anmeldetag: **02.03.2018**
(43) Offenlegungstag: **05.09.2019**

(51) Int Cl.: **G01C 21/04** (2006.01)
G01C 11/04 (2006.01)
G01S 17/89 (2006.01)

(71) Anmelder:
SICK AG, 79183 Waldkirch, DE

(74) Vertreter:
**Manitz Finsterwald Patent- und
Rechtsanwaltspartnerschaft mbB, 80336
München, DE**

(72) Erfinder:
**Hansen, Christoph, 20535 Hamburg, DE;
Röwekämper, Jörg, 79211 Denzlingen, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

US	7 689 321	B2
US	2008 / 0 027 591	A1
US	2008 / 0 033 645	A1
WO	2017/ 076 929	A1
WO	2018/ 027 210	A1

G. Bresson et al.: "Simultaneous Localization and Mapping: A Survey of Current Trends in Autonomous Driving", in IEEE Transactions on Intelligent Vehicles 2, pp. 194-220 (2017)

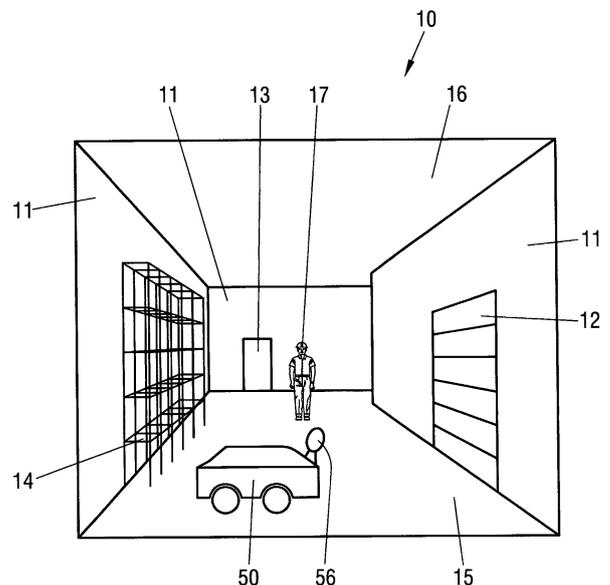
K. Madhira et al.: "A quantitative study of mapping and localization algorithms on ROS based differential robot", 2017 Nirma University International Conference on Engineering (NUiCONE), Ahmedabad, pp. 1-5 (2017)

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Positionsermittlung eines beweglichen Objekts, Verfahren zur Wegplanung für ein bewegliches Objekt, Vorrichtung hierfür, Datenträger**

(57) Zusammenfassung: Verfahren zur Positionsermittlung eines beweglichen Objekts in einer Umgebung, in der elektronisch erfassbare Merkmale vorhanden sind, hat die Schritte Bereitstellen einer digitalen Repräsentation der Umgebung, die mehrere elektronisch erfassbare Umgebungsmerkmale repräsentiert und für wenigstens einige dieser Merkmale auch jeweilige Zuverlässigkeitswerte für deren Erfassung angibt oder deren Herleitung erlaubt, Vermessen der Umgebung aus der Perspektive des beweglichen Objekts, wobei die Vermessung das Erfassen mehrerer der elektronisch erfassbaren Merkmale der Umgebung aufweist, Bewerten des Vermessungsergebnisses mit aus der Umgebungsrepräsentation hergeleiteten Daten unter Berücksichtigung vorhandener Zuverlässigkeitswerte, und Ermittlung der Position anhand des Bewertungsergebnisses.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Positionsermittlung eines beweglichen Objekts, ein Verfahren zur Wegplanung für ein bewegliches Objekt, eine Vorrichtung hierfür und einen Datenträger gemäß den Oberbegriffen der unabhängigen Patentansprüche. Sie kann Anwendung finden im Gebiet der Steuerung/Regelung autonom beweglicher Objekte, etwa autonom fahrender Fahrzeuge und Fluggeräte/Drohnen, beweglicher Roboter und ähnliches. Sie betrifft den Aufbau von Repräsentation von Umgebungen, in denen sich bewegliche Objekte bewegen können, und die Nutzung solcher Repräsentationen.

[0002] In einem engen Sinn können solche Repräsentationen als Karten verstanden werden, die jedoch um bestimmte Merkmale und Informationen erweitert sind. Die Karten können zweidimensional angelegt sein, um etwa die Befahrbarkeit eines bestimmten Terrains abzubilden, oder dreidimensional, um den etwa für Robotik- oder Flugbewegungen zur Verfügung stehenden Raum zu charakterisieren. Die nachfolgende Beschreibung stellt beispielhaft zweidimensionale Repräsentationen/Kartierungen dar. Dies soll aber nicht die Anwendung der Erfindung auf dreidimensionale Repräsentationen ausschließen.

[0003] Bekannt ist es, Umgebungen elektronisch auswertbar zu repräsentieren. Solche Repräsentationen werden für mehrere Zwecke herangezogen, etwa zur Positionierung des beweglichen Objekts oder zur Wegführung und Wegfindung für das bewegliche Objekt. Darüber hinaus sind solche Repräsentationen selbst Gegenstand des Interesses insoweit, als sie aktualisiert und fortgeschrieben werden. Es gibt verschiedene Darstellungsarten solcher Repräsentationen.

[0004] Eine Darstellungsart sind sogenannte „Gridmaps“. Sie entsprechen in etwa den „Bitmaps“ von Grafiken. Gridmaps können eine gekachelte Fläche umfassen, auf der die Kachelgröße die kleinste Einheit ist und der möglichen Ortsauflösung entspricht. Zu jeder Kachel können Angaben gespeichert werden, die die Umgebung an der Stelle der Kachel repräsentieren. So können insbesondere Einträge zu Hindernissen hinterlegt sein. Hindernisse und allgemein kartierte Objekte werden nachfolgend auch als „Merkmale“ bezeichnet.

[0005] Eine andere Darstellungsart ist eine Vektordarstellung entsprechend grafischen Vektorgrafiken.

[0006] Eine Technik alternativ zur Kartierung realer Umgebungsmerkmale in einer Umgebungsrepräsentation ist die Repräsentation von eigens angebrachten Reflektoren in Reflektorkarten statt der Repräsentation realer Objekte. Hier werden nicht reale Ob-

jekte der Szenerie kartiert, sondern eigens sinnvoll angebrachte Erfassungsziele (Reflektoren), die dann kartiert sind. Auch die Kartierung von Reflektorzielen kann in einer Gridmap erfolgen oder vektorieell.

[0007] Allgemein ist zu sagen, dass es in der vorliegenden Erfindung nicht auf die Art der Kartierung, Repräsentation und Darstellung der Inhalte ankommt (reale Ziele, Reflektorziele, Gridmap, vektorielle Darstellung), sondern auf die davon verkörperter Inhalte. Im Folgenden wird die Beschreibung mindestens implizit so gegeben, als ob Gridmaps zu betrachten wären. Die beschriebenen Problematiken sind aber unabhängig von der Darstellungsweise als Gridmap und können ebenso als vektorielle Darstellung erfasst werden und beziehen sich in gleicher Weise auf das Repräsentieren realer Objekte wie Reflektoren.

[0008] Autonom fahrende Fahrzeuge umfassen üblicherweise Scanner, mit denen sie die Umgebung um sich erfassen können. In der Regel können sie im Vollkreis um sich herum die Umgebung mit einer bestimmten Auflösung abtasten. Sie erhalten so eine Vermessung der Umgebung, die aussagt, in welcher Richtung wie weit entfernt Hindernisse erfasst wurden. Die Winkelauflösung kann dabei $<1^\circ$ oder $<2^\circ$ oder $<5^\circ$ oder $<10^\circ$ sein. Bei einer Vermessung entstehen auf diese Weise Datenpaare, die jeweils zu einer relativen Winkellage bezogen auf die Fahrzeugausrichtung den Abstand eines Hindernisses angeben.

[0009] Häufig kann - nach einer Initialisierung des Fahrzeugs - angenommen werden, dass das Fahrzeug auch in etwa seine Position und seine Ausrichtung kennt. Es können dann relative Ausrichtungen umgerechnet werden auf absolute Ausrichtungen, die denjenigen in der Karte entsprechen. Weiter sind autonom navigierende Fahrzeuge häufig in der Lage, die eigene Position anhand der eigenen Odometrie (Weg- und Positionsschätzung aus der Antriebsauswertung) fortzurechnen. Statt Odometrie kann zur geschätzten Fortrechnung der eigenen Position aber auch vergleichende stereoskopische Bildauswertung oder ähnliches herangezogen werden. Der Nachteil der so fortgerechneten Position ist, dass sie nicht hinreichend genau ist und über die Zeit zunehmend ungenauer wird.

[0010] Zur Lösung dieses Problems ist es bekannt, die anhand der Odometrie, einer Bildauswertung oder dergleichen geschätzte Position anhand der Vermessungsdaten nach einem Umgebungsscan mit Daten einer elektronisch auswertbaren Karte bzw. Umgebungsrepräsentation abzugleichen, um so die geschätzte Position möglichst genau auf die reale Position zu bringen.

[0011] Unter idealen Bedingungen sind Laserscanner genaue Gerätschaften, die sowohl Richtung als

auch Entfernung von Hindernissen/Zielen/Merkmalen genau erfassen können. Allerdings führen reale Umstände dazu, dass Umgebungsscans doch fehlerbehaftet sind. Nachfolgend werden einige Fehlerquellen aufgezählt:

- Die begrenzte Winkelauflösung kann dazu führen, dass kleine bzw. filigrane Ziele, etwa die Beine eines Regals, nicht erfasst werden, obwohl sie vorhanden sind.
- Die Oberfläche eines Hindernisses kann spiegelnd sein, so dass ein scannender Laser nicht zurückgestreut wird, sondern mit Ausfallswinkel gleich Einfallswinkel reflektiert wird, was allenfalls zufällig zurück zum Sensor führt. Dieser Effekt kann richtungsabhängig sein. Ähnliche Probleme treten bei transparenten Flächen auf (Glasflächen, Glastüren)
- Beleuchtungsbedingungen oder Mehrfachreflexionen können eine Auswirkung auf die Auswertung des Laserscans haben und zu Fehlerfassungen führen.
- Einmal erfasste und kartierte Objekte können später verschwunden sein, und umgekehrt. Wird beispielsweise ein überdachtes Freilager als Umgebung angenommen, innerhalb der zu navigieren ist, wird es sehr „stabile“ Objekte geben, etwa die Wände oder Säulen des Lagers. Es wird aber auch wechselnde Objekte geben, beispielsweise einzelne auf der Freifläche abgestellte Gegenstände, die zeitweise dort sind und zeitweise nicht. Gleiches gilt für Personen und Fahrzeuge, die sich in der kartierten Umgebung befinden und bewegen.

[0012] Es gibt deshalb insgesamt in einer Umgebungsrepräsentation Objekte, die sich dort vergleichsweise stabil befinden, etwa die genannten Wände, aber auch andere Objekte, die ihre Präsenz ändern können (etwa variables Lagergut, Personen) oder Objekte, für die die Detektion schwierig ist.

[0013] Bekannt ist es, Umgebungen nicht nur mit einer Ja/Nein-Belegung einzelner Kacheln durch Hindernisse zu charakterisieren, sondern durch Belegungswahrscheinlichkeiten der Kachel, die Vorhandenseinwahrscheinlichkeiten eines erfassbaren Merkmals bzw. Hindernisses auf der Kachel entsprechen. In einem solchen Ansatz kann beispielsweise eine Wand eine sehr hohe Belegungswahrscheinlichkeit haben, die letztendlich auf 1 gesetzt werden kann, während andere Bereiche einer Umgebung andere Belegungswahrscheinlichkeiten haben können. Ein selten genutzter Bereich eines Freilagers kann beispielsweise eine Belegungswahrscheinlichkeit von 0,1 haben. Es wird hierbei davon ausgegangen, dass Wahrscheinlichkeiten wie üblich in der Stochastik mit Zahlenwerten zwischen 0 und 1 charakterisiert werden. Wenn logarithmisch gerechnet wird,

entspricht dies dem Zahlenbereich zwischen $-\infty$ und 0.

[0014] Statt des schlichten Vorhandenseins oder nicht eines Hindernisses/Merkmals geben entsprechende Repräsentationen dann Belegungswahrscheinlichkeiten von Kacheln an, die orts aufgelöst kachelweise ermittelt wurden und vorgehalten werden. Die Belegungswahrscheinlichkeit gibt also an, mit welcher Wahrscheinlichkeit ein Hindernis/Merkmal an einer vorbestimmten Position vorhanden ist. Bei der Nutzung der Umgebungsrepräsentation etwa zur Wegfindung oder zur Positionsbestimmung können die Belegungswahrscheinlichkeiten dann zur Gewichtung mehrerer Messungen untereinander herangezogen werden.

[0015] Nachteil der Verwendung von Belegungswahrscheinlichkeiten einzelner Flächenbereiche/Kacheln oder Volumenbereiche (im Dreidimensionalen) ist es, dass diese weder den zeitlichen Veränderungen solcher Gegebenheiten noch womöglich auftretenden Erfassungsschwierigkeiten Rechnung tragen. Wenn solche Umgebungsrepräsentationen dann zur Positionsbestimmung oder zur Wegfindung/Wegbestimmung eines beweglichen Objekts herangezogen werden, geschieht die Positionsbestimmung oder Wegbestimmung auf der Grundlage nicht bestmöglich geeigneter Daten.

[0016] Aufgabe der Erfindung ist es, ein verbessertes Positionsermittlungsverfahren und ein verbessertes Wegplanungsverfahren für ein bewegliches Objekt anzugeben. Auch Vorrichtungen hierfür sollen nach der Erfindung geschaffen werden.

[0017] Zunächst wird eine Umgebungsrepräsentationsvorrichtung beschrieben, die genutzt werden kann.

[0018] Sie umfasst einen Datenträger und ein Schnittstellengerät, wobei der Datenträger Daten trägt, die eine Umgebung repräsentieren, mit einem oder mehreren erste Datenträgerteilen, die Kartendatenteile tragen, die ortsauflösend Merkmale einer Umgebung angeben oder die Herleitung solcher Merkmalsangaben erlauben, und mit einem oder mehreren zweiten Datenträgerteilen, die Zuverlässigkeitsdatenteile tragen, die ortsauflösend Zuverlässigkeitsdaten von Merkmalen einer Umgebung angeben oder die Herleitung solcher Zuverlässigkeitsdaten erlauben und die ortsauflösend angeben, als wie zuverlässig erfassbar die jeweils repräsentierten Merkmale eingeschätzt wurden, und wobei das Schnittstellengerät Kartendaten und Zuverlässigkeitsdaten ortsauflösend einander zugeordnet lesend und/oder schreibend zugänglich macht.

[0019] Die Umgebungsrepräsentationsvorrichtung macht sich die Erkenntnis zunutze, dass durch die

Hinterlegung von orts aufgelösten Zuverlässigkeitsdaten eine verbesserte Positionsermittlung und eine verbesserte Wegplanung ermöglicht werden, da beispielsweise stark fehlerbehaftete Kartenbereiche bekannt sein können. Ebenfalls können Kartenbereiche bekannt sein, die mit einer hohen Zuverlässigkeit korrekt sind, sodass z.B. bei der Positionsermittlung dann auf diese Kartenbereiche „vertraut“ werden kann. Überdies ermöglichen die Zuverlässigkeitsdaten auch weitergehende Verbesserungen im Betrieb z.B. eines autonomen Fahrzeugs, wie später dargelegt.

[0020] Die Zuverlässigkeitsdaten können insbesondere angeben, mit welcher Zuverlässigkeit ein jeweiliges Merkmal an einem Ort der Karte tatsächlich vorhanden ist. Hierzu können beispielsweise mehrere, insbesondere direkt nacheinander und/oder innerhalb einer vorbestimmten Zeitdauer erfolgte Vermessungen der Umgebung herangezogen werden. Liefern alle oder fast alle Vermessungen das gleiche Ergebnis, ist die Zuverlässigkeit sehr hoch (d.h. 1 oder nahe bei 1). Erkennen z.B. nur 50% der Vermessungen ein Hindernis/Merkmal, so kann die Zuverlässigkeit geringer sein, z.B. nur 0,5. Wird in noch weniger Vermessungen das gleiche Ergebnis erzielt, d.h. es wird z.B. nur in 10% der Messungen ein Hindernis/Merkmal erkannt, kann die Zuverlässigkeit beispielsweise nur 0,1 sein. Zur Ermittlung der Zuverlässigkeit kann insbesondere auch ein Pegel eines Messsignals herangezogen werden. Dieser Pegel kann, z.B. bei einem Laserscanner, für transparente Merkmale niedriger sein, was mit einer geringeren Zuverlässigkeit einhergeht.

[0021] Bevorzugt stellen die Kartendatenteile Vorhandenseinwahrscheinlichkeiten dar, die ortsauflösend Vorhandenseinwahrscheinlichkeiten von Merkmalen einer Umgebung angeben oder die Herleitung solcher Vorhandenseinwahrscheinlichkeiten erlauben und die ortsauflösend angeben, als wie wahrscheinlich vorhanden ein repräsentiertes Merkmal eingeschätzt wurde. Der Unterschied zwischen der Vorhandenseinwahrscheinlichkeit und der Zuverlässigkeit liegt also insbesondere darin, dass die Vorhandenseinwahrscheinlichkeit sich auf die Wahrscheinlichkeit bezieht, mit welcher ein real vorhandenes Merkmal tatsächlich vorhanden ist, wohingegen die Zuverlässigkeit sich insbesondere auf die Zuverlässigkeit der Erfassung/Vermessung bezieht (d.h. der z.B. zur Vermessung verwendete Scanner wird bei der Zuverlässigkeit berücksichtigt).

[0022] Insbesondere trägt der Datenträger Historiedatenteile, die ortsauflösend Erfassungshistorien von Merkmalen einer Umgebung angeben oder die Herleitung solcher Erfassungshistorien erlauben, und wobei das Schnittstellengerät auch die Historiedaten den anderen Daten ortsauflösend zugeordnet zugänglich macht. Die Historiedatenteile spiegeln al-

so die in der Vergangenheit an einem Ort erfassten Merkmale wieder.

[0023] Vorteilhafterweise trägt der Datenträger Markierungsdatenteile, die ortsauflösend markieren, welche der Zuverlässigkeitsdaten und/oder der Kartendaten im Laufe der Zeit änderbar sein sollen und welche nicht, und wobei das Schnittstellengerät auch die Markierungsdaten den anderen Daten ortsauflösend zugeordnet zugänglich macht. Es kann demnach nach änderbaren und nicht änderbaren Zuverlässigkeitsdaten und/oder Kartendaten unterschieden werden.

[0024] Außerdem wird ein Verfahren zum Erstellen einer elektronisch nutzbaren Repräsentation einer Umgebung angegeben, in der elektronisch erfassbare Merkmalen vorhanden sind. Das Verfahren umfasst die Schritte

- Bereitstellen von Karten- bzw. Umgebungsrepräsentationsdaten, die ortsauflösend Merkmale der Umgebung angeben oder die Herleitung solcher Merkmalsangaben erlauben,
- Ermitteln von Zuverlässigkeitsdaten einzelner Merkmalsangaben, wobei die Zuverlässigkeitsdaten ortsauflösend angeben, als wie zuverlässig erfassbar die angegebenen Merkmale angesehen werden können, und
- Speichern der Kartendaten und der Zuverlässigkeitsdaten in ortsauflösend einander zugeordneter oder zuordenbarer Weise als Umgebungsrepräsentation.
- Die Zuverlässigkeitsdaten werden zusätzlich zu schon vorhandenen Vorhandenseinwahrscheinlichkeiten von in der Karte repräsentierten Merkmalen ermittelt und gespeichert oder können mit den räumlich zugeordneten Vorhandenseinwahrscheinlichkeiten zu einem einzigen zu speichernden Wert verrechnet werden.

[0025] Das Bereitstellen von Kartendaten kann das Ermitteln und/oder Aktualisieren und/oder Abrufen schon existierender Umgebungsrepräsentationsdaten umfassen.

[0026] Die Zuverlässigkeitsdaten einzelner Merkmalsbereiche können anhand von Streuungen von zeitnah zueinander ermittelten Messwerten gleicher Kartenbereiche bestimmt werden.

[0027] Insbesondere werden die Zuverlässigkeitsdaten einzelner Merkmalsbereiche anhand des Alters von früher ermittelten Messwerten gleicher Kartenbereiche bestimmt. Dabei können ältere Messwerte zu einer geringeren Zuverlässigkeit führen.

[0028] Bevorzugt können die Zuverlässigkeitsdaten einzelner Kartenbereiche manuell eingegeben und/

oder verändert werden, vorzugsweise über eine graphische Benutzeroberfläche. Hierdurch kann ausgenutzt werden, dass ein Bediener mit Ortskenntnis zusätzliche Informationen über die Zuverlässigkeit bereitstellen kann.

[0029] Die Zuverlässigkeitsdaten können während der Nutzung einer Umgebungsrepräsentation nach Maßgabe aktueller Messwerte eines die Umgebungsrepräsentation nutzenden Geräts oder Fahrzeugs und nach Maßgabe von Historiedaten ermittelt und/oder verändert werden. Die Zuverlässigkeitsdaten sind dementsprechend nicht statisch, sondern können insbesondere regelmäßig aktualisiert werden.

[0030] Bevorzugt geben die Merkmalsdaten der Kartendaten ortsauflösend eine Vorhandenseinwahrscheinlichkeit eines Merkmals an. Es können Vorhandenseinwahrscheinlichkeiten zusätzlich zu den Zuverlässigkeitsdaten ortsauflösend gespeichert sein.

[0031] Vorteilhafterweise werden die orts aufgelösten Vorhandenseinwahrscheinlichkeitswerte und die orts aufgelösten Zuverlässigkeitswerte getrennt gespeichert und/oder zu einem orts aufgelösten gemeinsamen Parameter verrechnet.

[0032] Bevorzugt beschreibt die Umgebungsrepräsentation eine zweidimensionale Fläche oder ein dreidimensionales Volumen. Sowohl Anwendungen in der Ebene als auch im Raum (z.B. mit Drohnen) können auf diese Weise erschlossen werden.

[0033] Insbesondere werden für einzelne Kartenbereiche deren Zuverlässigkeitsdaten als unveränderlich gekennzeichnet, vorzugsweise über eine graphische Benutzerschnittstelle. Die so gekennzeichneten Zuverlässigkeitsdaten werden dann nicht mehr verändert.

[0034] Bevorzugt ist die repräsentierte Umgebung logisch in eine Vielzahl von (insbesondere gleichen) Kacheln unterteilt, wobei die Kartendaten und die Zuverlässigkeitsdaten kachelweise aufgelöst oder auflösbar oder interpolierbar sind, wobei einer Kachel ein Datentupel zugeordnet oder zuordenbar sein kann, das für diese Kachel mindestens eine Vorhandenseinwahrscheinlichkeit und einen Zuverlässigkeitswert aufweist und optional auch eine Unveränderlichkeitskennzeichnung.

[0035] Vorteilhafterweise sind in der repräsentierten Umgebung mehrere bekannte Reflektorpunkte angebracht, wobei die Kartendaten und die Zuverlässigkeitsdaten reflektorpunktweise aufgelöst oder auflösbar gespeichert werden, wobei einem Reflektorpunkt optional auch eine Unveränderlichkeitskennzeichnung zugeordnet ist oder zuordenbar ist. Bei dem Reflektorpunkt kann es sich z.B. um einen opti-

schen Reflektor handeln. Als Reflektorpunkt können aber auch z.B. RFID-(Radio Frequency Identification)-Transponder verwendet werden, die mittels eines RFID-Lesers erfasst werden

[0036] Bevorzugt sind einer Kachel bzw. einem Reflektorpunkt historierelevante Daten zugeordnet oder zuordenbar, insbesondere einer oder mehrere der folgenden Werte

- Zahl der Erfassungen eines Merkmals an der Kachel
- Zahl der Nichterfassung eines Merkmals an der Kachel,
- Zahl der Änderungen der Erfassung eines Merkmals,
- Datum der letzten Erfassung,
- Datum der ersten Erfassung.

[0037] Die vorstehend genannten Werte können jeweils zur Ermittlung der Zuverlässigkeit herangezogen werden.

[0038] Vorteilhafterweise werden die aktuellen Messwerte durch Vermessen der Umgebung aus der Perspektive des beweglichen Objekts gewonnen, wobei die Vermessung das Erfassen mehrerer Merkmale der Umgebung aufweist und die Messwerte einer zeitlichen Analyse unterzogen werden.

[0039] Bevorzugt werden die Zuverlässigkeitsdaten jeweils als Faktor zwischen 0 und 1 ermittelt und/oder als dazu logarithmischer Wert zwischen $-\infty$ und 0.

[0040] Angegeben wird auch eine Vorrichtung zur Durchführung des beschriebenen Verfahrens. Sie kann ein einzelner Rechner sein oder ein Rechnernetz, insbesondere ein verteiltes System mit mindestens zeitweise miteinander vorzugsweise drahtlos verbundenen Rechnern, wobei mindestens einer der Rechner Teil eines autonom navigierenden Fahrzeugs ist, das Sensorik zur Umgebungserfassung aufweist. Das verteilte System kann ein peer-to-peer-System oder ein server-client-system sein oder eine Mischform, etwa einem Server nur zu synchronisierenden/administrativen Tätigkeiten.

[0041] Angegeben wird auch eine Datenträger mit Daten darauf, die eine Umgebung repräsentieren, mit Kartendatenteilen, die ortsauflösend Merkmale einer Umgebung angeben oder die Herleitung solcher Merkmalsangaben erlauben, und mit Zuverlässigkeitsdatenteilen einzelner angegebener Merkmale, die von den Kartendatenteilen repräsentiert sind, wobei die Zuverlässigkeitsdaten ortsauflösend angeben, als wie zuverlässig erfassbar die jeweils repräsentierten Merkmale angesehen werden können.

[0042] Angegeben wird auch ein Datenträger mit Daten darauf, die eine Umgebung repräsentieren und die mit einem beschriebenen Verfahren oder einer beschriebenen Vorrichtung erzeugt wurden.

[0043] Angegeben wird auch ein Datenträger mit Daten darauf, die computerausführbaren Code darstellen, der, wenn ausgeführt, ein beschriebenes Verfahren implementiert.

[0044] Ein Aspekt der Erfindung ist ein Verfahren zur Positionsermittlung eines beweglichen Objekts in einer Umgebung, in der elektronisch erfassbare Merkmale vorhanden sind.

[0045] Das Verfahren umfasst die Schritte

- Bereitstellen einer digitalen Repräsentation der Umgebung, wobei die Repräsentation mehrere elektronisch erfassbare Umgebungsmerkmale repräsentiert und für wenigstens einige dieser Merkmale auch jeweilige Zuverlässigkeitswerte für deren Erfassung angibt oder deren Herleitung erlaubt,
- Vermessen der Umgebung aus der Perspektive des beweglichen Objekts, wobei die Vermessung das Erfassen mehrerer der elektronisch erfassbaren Merkmale der Umgebung aufweist,
- Bewerten des Vermessungsergebnisses mit aus der Umgebungsrepräsentation hergeleiteten Daten unter Berücksichtigung vorhandener Zuverlässigkeitswerte, und
- Ermittlung der Position anhand des Bewertungsergebnisses.

[0046] Vorteilhafterweise umfasst das Verfahren, dass das Bewerten mit einem Partikelfilteralgorithmus erfolgt, der folgende Schritte aufweisen kann:

- a. Festlegen einer vermuteten Position des Objekts und mehrerer hypothetischer Positionen,
- b. für jede der festgelegten hypothetischen Positionen aus deren jeweiliger Perspektive digitales Ermitteln je einer hypothetischen Vermessungen, wobei die hypothetische Vermessung das hypothetische Erfassen mehrerer der elektronisch erfassbaren Merkmale der Umgebung aus der jeweiligen Perspektive aufweist, und
- c. Ermitteln einer Richtigkeitswahrscheinlichkeit w_e jeder hypothetischen Position nach Maßgabe des Unterschieds zwischen hypothetisch bestimmtem und real ermitteltem Abstand und nach Maßgabe vorhandener Zuverlässigkeitswerte der hypothetisch erfassten Merkmale, wobei die Abstände die zwischen hypothetischer Position und einem erfasstem Merkmal bzw. zwischen der vermuteten Position und einem entsprechenden erfassten Merkmal sind.

[0047] Bevorzugt ist das Verfahren so ausgestaltet, dass dessen Schritt c. für jede hypothetische Position die folgenden Schritte aufweist:

- a. Ermitteln der Richtigkeitswahrscheinlichkeit w_e jeder einzelnen hypothetischen Merkmalerfassung nach Maßgabe des genannten Unterschieds, und
- b. Herleiten eines Gesamtwahrscheinlichkeitswertes w_h der hypothetischen Position aus den einzelnen Richtigkeitswahrscheinlichkeiten w_e der hypothetischen Merkmalerfassungen, wobei die Zuverlässigkeitswerte der erfassten Merkmale im Schritt a. und/oder im Schritt b. berücksichtigt werden.

[0048] Die Richtigkeitswahrscheinlichkeit w_e gibt also bevorzugt die Wahrscheinlichkeit an, mit der die Position des Objekts (z.B. des selbstfahrenden Fahrzeugs) korrekt ermittelt wurde. In die Richtigkeitswahrscheinlichkeit w_e können dabei auch die Zuverlässigkeitswerte eingehen.

[0049] Weiter bevorzugt ist das Verfahren so ausgestaltet, dass das Bewerten im Schritt c, auch nach Maßgabe einer Vorhandenseinswahrscheinlichkeit eines elektronisch erfassbaren Merkmals erfolgt.

[0050] Das Ermitteln einer Richtigkeitswahrscheinlichkeit w_e jeder einzelnen hypothetischen Erfassung kann anhand einer Gaußverteilung erfolgen, bei der der genannte Unterschied die Abszisse darstellt und bei der der Zuverlässigkeitswert, der einem hypothetisch erfassten Merkmal zugeordnet ist, als Faktor zwischen 0 und 1 im Exponenten und/oder an der Gaußverteilung berücksichtigt werden kann.

[0051] Bei dem Verfahren kann das Herleiten des Gesamtwahrscheinlichkeitswertes w_h durch Multiplizieren der einzelnen Bewertungsergebnisse der hypothetischen Erfassungen erfolgen oder durch Summieren entsprechender logarithmischer Werte, wobei hier die Zuverlässigkeitswerte, die den jeweils hypothetisch erfassten Merkmal zugeordnet sind, als Faktoren zwischen 0 und 1 oder entsprechende logarithmische Werte der Summe berücksichtigt werden können.

[0052] Bevorzugt weist die Positionsermittlung das Wählen der Positionen einer der hypothetischen Positionen nach Maßgabe der ermittelten Wahrscheinlichkeit als Objektposition auf. Insbesondere wird diejenige Position als Objektposition ausgewählt, die die höchste Wahrscheinlichkeit besitzt.

[0053] Vorteilhafterweise umfasst die Positionsermittlung eine gewichtete Verrechnung der Positionen mehrerer der hypothetischen Positionen, insbeson-

dere nach Maßgabe deren ermittelter Wahrscheinlichkeiten.

[0054] Bevorzugt kann das Bewerten mit einem Monte-Carlo-Algorithmus erfolgen.

[0055] Auch angegeben wird ein Verfahren zur Wegplanung für ein bewegliches Objekt in einer Umgebung. Es hat die Schritte (a) Bereitstellen einer digitalen Repräsentation der Umgebung, die mehrere Umgebungsmerkmale repräsentiert und für wenigstens einige dieser Merkmale auch jeweilige Zuverlässigkeitswerte angibt oder deren Herleitung erlaubt, (b) Setzen eines Wegpunktes als ersten Punkt eines zu planenden Wegs, (c) Wählen eines dem ersten Punkt folgenden und von diesem räumlich beabstandeten zweiten Punkt anhand eines Wegfindungskriteriums, (d) Überprüfen des zweiten Punktes und gegebenenfalls weiterer Punkte auf Befahrbarkeit unter Verwendung der digitalen Repräsentation einschließlich der angegebenen Zuverlässigkeitswerte, und (e) wenn die Überprüfung ein vorgegebenes Kriterium erfüllt, Setzen des zweiten Punktes als weiteren Wegpunkt und als neuen ersten Punkt und Fortsetzen des Verfahrens bei (c), andernfalls Wählen eines anderen dem ersten Punkt folgenden und von diesem räumlich beabstandeten zweiten Punktes anhand eines Wegfindungskriteriums und Fortsetzen des Verfahrens bei (d).

[0056] In einer Option nutzen das Positionsermittlungsverfahren und das Wegfindungsverfahren eine oben beschriebene Umgebungsrepräsentation. Und auch zu ihnen werden durchführende Vorrichtungen und Datenträger mit geeignet entsprechend individualisierten Daten darauf angegeben.

[0057] Die Vorrichtung weist beispielsweise ein verteiltes System mit miteinander mindestens zeitweise vorzugsweise drahtlos verbundenen Rechnern auf, wobei mindestens einer der Rechner Teil eines autonom navigierenden Fahrzeugs ist, das Sensorik zur Umgebungserfassung aufweist.

[0058] Weitere Merkmale der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung. Es wird auf die beiliegenden Zeichnungen Bezug genommen, es zeigen:

Fig. 1 schematisch eine Umgebung, die elektronisch zu repräsentieren ist,

Fig. 2 eine schematische Darstellung eines Teils einer Repräsentation einer Umgebung,

Fig. 3 einander zugeordnete oder zuordenbare Datenteile eines Merkmals einer Umgebungsrepräsentation,

Fig. 4a schematisch die Situation bei der Ortsermittlung eines mobilen Geräts,

Fig. 4b Darstellungen zu einem Partikelfilteralgorithmus, und

Fig. 5 schematisch ein autonom fahrendes Fahrzeug als ein Beispiel eines Geräts, in dem die Erfindung implementiert sein kann.

[0059] Nachfolgend werden als „Merkmale“ elektronisch erfassbare Objekte bezeichnet, die für die Bewegung eines sich autonom bewegenden Objekts, etwa eines fahrenden Fahrzeugs, Relevanz haben, etwa ein Bewegungshindernis darstellen. Auch deren Abbild in einer Kartierung/Umgebungsrepräsentation kann mit „Merkmal“ angesprochen sein. Es kann sich hierbei etwa um Wände, Regalstützen, Türen, Lagergut, andere Fahrzeuge, Personen, Fensterflächen, Verglasungen, Reflektoren oder ähnliches handeln - oder deren Abbild in einer Umgebungsrepräsentation.

[0060] **Fig. 1** zeigt schematisch eine typische Umgebung, die elektronisch nutzbar repräsentiert werden soll. Gezeigt ist ein breiter Gang, der hinten rechts abknickt, hinten eine Tür **13** aufweist, an der rechten Wand ein Rolltor **12** und an der linken Wand ein Regal **14**. Er ist umgrenzt von Wänden **11**, einem Boden **15** und einer Decke **16**. Eine Person **17** bewegt sich in dem Gang.

[0061] Gezeigt ist auch ein Fahrzeug **50**, das als autonom fahrendes Fahrzeug verstanden wird, etwa um Güter in bestimmter Weise zu transportieren. Das Fahrzeug **50** weist eine Vermessungsvorrichtung **56** auf, mittels derer die Fahrzeugumgebung vermessen werden kann.

[0062] Die Vermessungsvorrichtung **56** kann beispielsweise in einer Ebene parallel zum Boden **15** mit gewünschtem oder vorgegebenem oder einstellbarem Abstand vorhandene Hindernisse um das Fahrzeug bzw. bewegliche Objekt herum detektieren. Sie kann ein LIDAR (Light Detection and Ranging) oder LADAR (Laser Detection and Ranging) aufweisen, mittels derer in gewünschter Winkel- oder Ortsauflösung Hindernisse zu erkennen versucht wird. Die Vermessungsvorrichtung **56** kann schnell vorzugsweise rund um das Fahrzeug herum oder wenigstens in einem Sektor in Vorausrichtung der Bewegung scannen und auf diese Weise Datenpaare von Richtung und Abstand zu einem zurückstreuenden Merkmal erzeugen. Sie kann in einer Ebene scannen oder auch den Raum dreidimensional abtasten und vermessen.

[0063] Schwierigkeiten treten beispielsweise dann auf, wenn in einer elektronischen Repräsentation der Szenerie **10** das Regal **14** als sicher vorhanden markiert ist, aber zufälligerweise bei der Umgebungsvermessung mit der Vermessungsvorrichtung **56** die vertikalen Stützen des Regals **14** nicht getroffen wurden, so dass nur die Wand dahinter erkannt wur-

de. Ähnliche Schwierigkeiten treten auf, wenn bei der Kartenaktualisierung schon früher eine Person **17** als zurückstreuendes Ziel erkannt wurde und dementsprechend zu gewissen Kartenaktualisierungen führte, aber bei der momentanen Vermessung/Scan nicht vorhanden ist und deshalb keine Rückstreuung bewirkt. Ähnliche Schwierigkeiten ergeben sich bei transparenten Hindernissen, wie etwa einer Glastür **13** oder allgemein bei Türen und Toren **12**, die manchmal geöffnet und manchmal geschlossen sein können.

[0064] In solchen Situationen sind auch Belegungswahrscheinlichkeiten von Kacheln (Vorhandenseinwahrscheinlichkeiten von Merkmalen/Hindernissen) nicht hilfreich. Das Regal **14** bzw. dessen Stützen kann als konstant vorhanden angesehen werden und hat demnach eine Belegungswahrscheinlichkeit von 1. Trotzdem kann seine Erfassung aus den genannten Gründen misslingen. Eine Glastür **13** kann gelegentlich geöffnet sein und hat deshalb vielleicht eine Belegungswahrscheinlichkeit/Vorhandenseinwahrscheinlichkeit von 0,9. Die Tatsache aber, dass sie aus Glas gefertigt ist, macht ihre Erfassung schwierig, so dass sie tatsächlich möglicherweise nicht regelmäßig erfasst wird, selbst wenn sie geschlossen ist. Die beiden genannten Beispiele betreffen erfassungstechnische Schwierigkeiten von Merkmalen (Regal **14**, Tür **13**).

[0065] Selbst aber wenn Merkmale an sich gut und vergleichsweise sicher zu erfassen sind (etwa die Person **17**, das Rolltor **12**, wenn geschlossen), können Belegungswahrscheinlichkeiten/Vorhandenseinwahrscheinlichkeiten nicht hinreichend aussagekräftige Daten geben. Wird beispielsweise angenommen, dass ein bestimmtes Areal des Ganges zu 5% der Zeit von einer Person **17** eingenommen wird und deshalb der oder den zugehörigen Kacheln eine Belegungswahrscheinlichkeit von 5% (0,05) zugeordnet wird, sagt dies nichts über die Dynamik oder die Häufigkeit der Änderungen des Belegtzustands der jeweiligen Kacheln aus.

[0066] Um den genannten Schwierigkeiten abzuwehren, weist eine Umgebungsrepräsentation neben den Merkmalsdaten (die beispielsweise ja/nein-Angaben zur Kachelbelegung oder Belegungswahrscheinlichkeiten von Kacheln sein können) auch Zuverlässigkeitsdaten auf, die angeben, als wie zuverlässig erfassbar ein jeweiliges Merkmal angesehen und beurteilt wurde.

[0067] Allgemein kann gesagt werden, dass die Zuverlässigkeitsdaten als Faktor mit einem analogen Wert zwischen 0 (sehr unzuverlässig) und 1 (sehr zuverlässig) angegeben sein können. Diese Normierung hat den Vorteil, dass sie dann in stochastischer Rechnerei entsprechend den üblichen stochastischen Regeln verwendet werden können.

[0068] Fig. 2 zeigt schematisch und qualitativ die Zuordnung von Zuverlässigkeitsdaten zu Kacheln einer Szenerie, die in etwa der der Fig. 1 entspricht. Nicht gezeigt sind die ebenfalls vorhandene Belegungswahrscheinlichkeiten oder Belegungen der Kacheln der Szenerie. Gezeigt ist schematisch die Draufsicht auf den in Fig. 1 gezeigten Gang. Außerdem sind schematisch einige Zuverlässigkeitseinträge mit Buchstaben angedeutet. Mit **11'** sind Abbildungen von Wandbereichen angedeutet, die als zuverlässig vorhanden und erfassbar angesehen werden können. Die Belegungswahrscheinlichkeit hierfür (nicht gezeigt) wäre 1, da die Wände stabil stehen, und die Zuverlässigkeitsdaten können auch als 1 oder sehr nahe bei 1 (0,99) festgelegt werden.

[0069] Für das Regal **14** sind zugeordnete Zuverlässigkeitswerte **14'** mit B markiert. Die (nicht gezeigte) Belegungswahrscheinlichkeit der zugehörigen Kacheln ist 1 (100%), da das Regal ständig vorhanden ist. Die Zuverlässigkeit kann aber geringer sein, etwa 0,8, da es gelegentlich vorkommen kann, dass eine Regalstütze beim Vermessen der Umgebung durch die Vermessungsvorrichtung **56** nicht erfasst wird, obwohl sie vorhanden ist.

[0070] Ähnliches gilt für den Bereich **13'** der Tür **13**. Wird angenommen, dass die Tür 5% der Zeit geöffnet (nicht vorhanden) ist, ist die Belegungswahrscheinlichkeit der zugehörigen Kacheln 95% (0,95). Da aber die Tür aus Glas ist, kann sie oft der Erfassung entgehen, so dass die zugehörigen Zuverlässigkeitswerte beispielsweise 0,3 sein können.

[0071] Im Beispiel von Person **17** und Rolltor **12** können die zugeordneten Zuverlässigkeitswerte **17'** oder **12'** vergleichsweise hoch sein, beispielsweise 0,98, wenn die Erfassung dieser Merkmale vergleichsweise zuverlässig erfolgen kann, während die Belegungswahrscheinlichkeiten gering sein können, bspw. 0,1.

[0072] Auf diese Weise entstehen neben der eigentlichen Kartierung (mittels ja/nein-Markern oder Belegungswahrscheinlichkeiten = Vorhandenseinwahrscheinlichkeiten) weitere ortsauflösende bzw. orts aufgelöste Daten. Es sei in diesem Zusammenhang darauf verwiesen, dass die Ortsauflösung der Belegungswahrscheinlichkeiten bzw. Vorhandenseinwahrscheinlichkeiten gleich der Ortsauflösung der Zuverlässigkeitsdaten sein kann oder auch anders sein kann.

[0073] Auch wird nochmals darauf verwiesen, dass der Bezug auf Kacheln und gridmapähnliche Darstellungen nur der Veranschaulichung dient und keine Aussage darüber treffen soll, wie tatsächlich die Speicherung der Daten erfolgt. Sie können in anderen Formaten als Gridmap gespeichert sein. Auch sei nochmals wiederholt, dass statt der Erfassung realer

Objekte (Wand, Regal, Person, Tür, ...) die Erfassung dedizierter Objekte vorgesehen sein kann, etwa von Reflektoren, die in Reflektorkarten kartiert sein können. Auch bei diesen Merkmalen können Erfassungsschwierigkeiten auftreten, etwa wenn sie schlicht verstellt sind, verstauben oder ähnliches.

[0074] In **Fig. 2** sind mit den A bis E Bereiche unterschiedlicher Zuverlässigkeitsdaten angedeutet. Mit gleichen Buchstaben soll hier nicht ausgesagt werden, dass die Zuverlässigkeitsdaten alle gleich sind. Aber sie tragen jedenfalls ähnlichen Umständen Rechnung und können sehr ähnlich zueinander sein.

[0075] Die Verwendung der ermittelten Zuverlässigkeitswerte erfolgt derart, dass sie letztendlich in die Bewertung aktueller Vermessungsergebnisse zur Positionierung oder bei der Bewertung von Wegstellen bei der Routenplanung einfließen. Die Gestaltung ist derart, dass zuverlässiger bewertete Merkmale stärker gewichtet werden als unzuverlässiger bewertete Merkmale. Dies führt dazu, dass als zuverlässiger bewertete Merkmale das Ergebnis stärker dominieren als unzuverlässigere, so dass schlussendliche Ergebnisse mit höherer Wahrscheinlichkeit richtig sind bzw. höher wahrscheinlich näher am objektiv richtigen Wert liegen.

[0076] Im Folgenden wird ein Verfahren zur Bestimmung einer elektronisch nutzbaren Repräsentation einer Umgebung angegeben. Die Repräsentation repräsentiert Merkmale der Umgebung in orts aufgelöster Weise. Das Verfahren hat die Schritte Bereitstellen von Kartendaten, das Ermitteln von Zuverlässigkeitsdaten und das Speichern der Kartendaten und der Zuverlässigkeitsdaten in ortsauflösend einander zugeordneter oder zuordenbarer Weise als Umgebungsrepräsentation.

[0077] Das Bereitstellen der Kartendaten kann das neue Ermitteln von Kartendaten umfassen oder deren Aktualisierung oder das Abrufen schon existierender Kartendaten. Als Kartendaten werden hier Merkmalsrepräsentationen angesehen, also Angaben darüber, wo in der repräsentierten Umgebung ein Merkmal (Hindernis) vorhanden ist. Wie schon gesagt kann die Angabe pro Kachel ein schlichtes Ja/Nein (0/1) sein, oder eine graduelle Vorhandenseinswahrscheinlichkeit.

[0078] Den so bereitgestellten Kartendaten werden Zuverlässigkeitsdaten ortsauflösend bzw. orts aufgelöst zugeordnet. Die Zuverlässigkeitsdaten haben die oben beschriebene Qualität. Alle Daten werden dann ortsauflösend zugeordnet oder zuordenbar gespeichert.

[0079] Allgemein kann gesagt werden, dass die Ermittlung der Zuverlässigkeitswerte einmal anfänglich initialisierend und/oder fortlaufend während der rea-

len Nutzung der Daten in neu anlegender oder aktualisierender Weise erfolgen kann. Es kann eine Default-Vergabe von Zuverlässigkeitswerten vorgesehen sein, die beispielsweise 0,95 für alle Kacheln setzt. Ausgehend davon können später Veränderungen vorgenommen werden.

[0080] Die eigentliche Ermittlung der Zuverlässigkeitsdaten kann auf mehrere unterschiedliche Arten geschehen. Sie können beispielsweise manuell eingegeben werden, etwa über eine grafische Benutzerschnittstelle. Beispielsweise kann den Kacheln B des Abbilds **14'** des Regals **14** eine geringere Zuverlässigkeit als 1 zugeordnet werden. Ähnliches gilt für die Kacheln C des Abbilds **13'** der Glastür **13**. Kacheln A von Abbildern **11'** von Wänden können auf einen sehr hohen Zuverlässigkeitswert (0,99 oder 1) gesetzt werden. Andere Bereiche können entsprechend ihrer Erfassbarkeit andere Werte erhalten.

[0081] Eine weitere Möglichkeit der Ermittlung der Zuverlässigkeitsdaten ist es, in sie eine Zeitkomponente einfließen zu lassen, etwa dergestalt, dass die Zuverlässigkeit repräsentierter Merkmale im Laufe der Zeit sinkt, was der Erfahrung Rechnung trägt, dass im Laufe der Zeit Veränderungen vorkommen können. Um dies bewerkstelligen zu können, können weiterhin Historiedaten ortsauflösend gespeichert sein, die Rückschlüsse über den Verlauf der Merkmalerfassungen der einzelnen Kacheln erlauben.

[0082] Als Historiedaten können gespeichert werden:

- Datum der letzten Erfassung (wobei Datum tatsächlich das Datum im landläufigen Sinne sein kann, und/oder ein mehr oder minder genauer Zeitpunkt bis hin zu sekundengenau oder ähnliches),
- Zählen, wie oft eine Kachel als belegt erkannt wurde,
- Zählen, wie oft eine Kachel als frei erkannt wurde,
- Zählen, wie oft eine Änderung des Belegzustands einer Kachel erkannt wurde,
- Anlagedatum des Kartierungswerts (d.h. Anlagedatum der Vorhandenseinswahrscheinlichkeit).

[0083] Auch diese Daten werden ortsauflösend erhoben und gespeichert und dann entsprechend zur ortsauflösenden Bestimmung von Zuverlässigkeitsdaten herangezogen. Anhand der oben beschriebenen Historiedaten kann die genannte zeitliche Komponente einfließen. Es können auch zeitliche Muster untersucht werden, die dann zur Ermittlung eines Zuverlässigkeitswerts führen.

[0084] Eine weitere Möglichkeit der Bestimmung von Zuverlässigkeitsdaten von Merkmalen/Kacheln ist es, Streuungen bei Merkmalerfassungen zeitnaher Vermessungen auszuwerten. „Zeitnah“ kann hierbei bedeuten, dass der zeitliche Abstand der Vermessungen < 20 min, < 10 min, < 5 min, < 2 min oder < 1 min oder < 30 s sein soll. Wenn bei solchen zeitlich knapp beabstandeten Vermessungen der Umgebung unterschiedliche Ergebnisse in einer bestimmten kartierten Region erscheinen (d.h. Streuungen ein vorbestimmtes Maß überschreiten), ist es wahrscheinlich, dass diese unterschiedlichen Ergebnisse nicht auf Veränderungen des Zustands der Umgebung zurückzuführen sind, sondern darauf, dass die Vermessung derselben unzuverlässig ist.

[0085] Wenn beispielsweise ein Fahrzeug **50** (in **Fig. 1**) am dort ebenfalls gezeigten Regal **14** vorbeifährt und etwa im Abstand von jeweils 1 s mehrere Messungen macht und dabei gelegentlich die Regalstützen „sieht“ und gelegentlich nicht, weil diese Stützen tendenziell filigrane Strukturen sind, werden sich im Bereich des Regals **14** streuende Werte ergeben, die manchmal ein Vorhandensein anzeigen und manchmal nicht. Aus solchen Streuungen kann gefolgert werden, dass am jeweiligen Ort unzuverlässig erfassbare Merkmale vorhanden sind. Ähnliches gilt beispielsweise für die Erfassung einer Glastür oder Glasfläche.

[0086] Um solche Auswertungen vornehmen zu können, können ältere Vermessungsergebnisse zwischengespeichert werden, ohne gleich kartiert zu werden. „Alte“ zwischengespeicherte Daten können dann gelöscht werden. Insoweit kann das Speichern von Historiedaten auch die Speicherung von Messhistorien umfassen, was wiederum das Zwischenspeichern älterer Vermessungen umfasst. Die Begrenzung solcher Historien kann anhand der Zeit erfolgen (also etwa dahingehend, dass alles, was älter als eine Schwelle, etwa 1 Tag oder 1 h oder älter als 1/2 h oder älter als 10 min oder älter als 5 min ist, gelöscht wird) oder als Speichern einer Anzahl von jüngsten Vermessungen (also beispielsweise 20 oder 15 oder 10 oder 5 Vermessungen) und Ersetzen der jeweils ältesten durch die jeweils aktuell gewonnene.

[0087] Zuverlässigkeitswerte können auch nach Maßgabe der Art der Generierung von zugehörigen Belegungswahrscheinlichkeiten vergeben und dann gespeichert werden. Belegungswahrscheinlichkeiten können bspw. durch besondere Mustererkennungsverfahren und/oder Mustervervollständigungsverfahren gesetzt oder ergänzt werden. Dann können zugehörige Zuverlässigkeitsdaten bspw. auf einen bestimmten Defaultwert gesetzt werden, der anders sein kann als womöglich anderweitig verwendete Defaultwerte, oder die Zuverlässigkeitswerte können nach Maßgabe einer vorher vorgenommenen quanti-

tativen Abschätzung der Zuverlässigkeit der Mustererkennung bzw. -vervollständigung gesetzt werden.

[0088] Soweit für Reflektorkarten die Zuverlässigkeit der Erfassung jeweiliger Reflektoren zu ermitteln ist, kann die Standardabweichung der aus den einzelnen Messungen bestimmten Reflektormittelpunkte als Maß für die Zuverlässigkeit der Information verwendet werden.

[0089] Allgemein können die Zuverlässigkeitswerte veränderlich sein und mit besonderen Verfahren überarbeitet bzw. aktualisiert werden. Dies kann bspw. in Echtzeit nach Maßgabe von während der Nutzung der Umgebungsrepräsentation von nützenden beweglichen Objekten **50** erhobenen Daten erfolgen. Es können aber auch einzelne Kartenbereiche (Bereiche mehrerer Kacheln, Merkmale) als unveränderlich in ihren Zuverlässigkeitswerten markiert werden. Beispielsweise kann für Wände entsprechend Bereichen A in **Fig. 2** festgelegt werden, dass deren einmal gesetzter Zuverlässigkeitswert (von etwa 0,98) nicht nach Maßgabe späterer Ereignisse modifiziert werden soll. Dieser Unveränderlichkeitsmarker kann auch wieder ortsauflösend gesetzt und zugeordnet bzw. zuordenbar gespeichert werden.

[0090] Der Zuverlässigkeitswert eines Merkmals (einer Kachel) kann beispielsweise als Wert zwischen 0 und 1 gespeichert sein und in dieser Formatierung und Skalierung in stochastischen Rechnungen verwendet werden. Es sind grundsätzlich aber auch andere Speicherformate denkbar. Diese sind dann bei der jeweiligen Verrechnung entsprechend zu berücksichtigen.

[0091] Ein Aspekt der Darbietung von Zuverlässigkeitswerten ist auch eine Vorrichtung zur Repräsentation einer Umgebung, die mit anderen Vorrichtungen zusammenarbeitet, die die Umgebungsrepräsentation nutzen wollen, etwa zur Ortsbestimmung, zur Navigation/Wegfindung oder zur Aktualisierung derselben. Die Umgebungsrepräsentationsvorrichtung **50** ist schematisch in **Fig. 5** gezeigt.

[0092] Ganz allgemein sei vorab gesagt, dass die Hardware zur Implementierung der beschriebenen Verfahren und Verfahrensschritte üblicherweise ein geeignet programmierter Rechner oder ein verteiltes System mit mehreren Rechnern ist. Wenn ein verteiltes System vorgesehen ist, kann es ein peer-to-peer-System sein, also ein System mehrerer gleichartiger Rechner, die zumindest zeitweise drahtlos und/oder leitungsgestützt verbunden sind, oder es kann ein Server/Client-System sein, in dem die Funktionen geeignet verteilt sind. Auch Mischformen hierzu sind denkbar, etwa derart, dass die wesentlichen Verfahrensschritte in den einzelnen Fahrzeugen **50**, **50'** vorgenommen werden und ein zentraler Server **57** Synchronisationen vornimmt.

[0093] Das Fahrzeug **50** weist einen Speicher **51** auf, in dem die bisher angesprochenen Daten gespeichert sind. Angedeutet sind mehrere Speicherbereiche **51 a** bis **51 e**, wobei dies nur eine grafische Repräsentation ist und nicht notwendigerweise ein Abbild der tatsächlich vorhandenen Daten- und Speicherstruktur sein muss. **51a** symbolisiert die Speicherung von Kartendatenteilen, also Angaben zu Merkmalen/Hindernissen. **51b** symbolisiert die Speicherung der Zuverlässigkeitsdaten z.

[0094] B. im weiter oben beschriebenen Format. **51c** symbolisiert die Speicherung von Historiedaten, wie schon dargestellt. **51d** symbolisiert die Speicherung von Markern für die Veränderlichkeit bestimmter Daten. **51e** symbolisiert einen Zwischenspeicher zum zeitweisen Speichern etwa von Vermessungsergebnissen. Weitere Speicherbereiche können vorgesehen sein entsprechend den Notwendigkeiten der digitalen Gerätschaften.

[0095] **52** symbolisiert ein Schnittstellengerät, das die gespeicherten Daten lesend zugänglich macht und/oder einspeichernd pflegt, aufbaut und aktualisiert. Die Ortsauflösung der einzelnen Datenteile kann zueinander gleich oder unterschiedlich sein. Wenn unterschiedlich, können Interpolationen zur Anpassung vorgenommen werden oder Zuordnung feiner gerasteter Daten zu „in der Nähe liegenden“ Daten gröberer Rasterung vorgenommen werden.

[0096] Allgemein kann das Schnittstellengerät **52** die nötige ortsauflösende Zuordnungen der Datenteile beim Auslesen vornehmen, wenn die Zuordnungen sich nicht sowieso aus der Speicherstruktur ergeben. Das Schnittstellengerät kann auch beim Auslesen womöglich nötige Konversion jeweiliger Vektordaten, wenn das das Speicherformat der Daten ist, in geographisch verteilte Gridmapdaten vornehmen und beim Einlesen umgekehrt dazu arbeiten.

[0097] Die Schnittstellenvorrichtung **52** kann auch Schnittstellen zu den übrigen systemnotwendigen Teilen aufweisen, also etwa Steckverbindungen **53** für leitungsgebundene Kommunikation, die zumindest zeitweise genutzt werden kann, eine peer-to-peer-Schnittstelle **55**, eine Server-Client-Schnittstelle **54** und eine Verbindung hin zur Messvorrichtung **56**. Die peer-to-peer-Schnittstelle **55** und die Server-Client-Schnittstelle **54** können drahtlos sein und technisch betrachtet die gleiche Schnittstelle sein, beispielsweise eine Funkverbindung, die mit verschiedenen Adressen verwendet wird. Sie können aber auch technisch unterschiedlich angelegt sein, abhängig von technischen Notwendigkeiten wie Bandbreite, Zuverlässigkeit, Reichweite und ähnlichem.

[0098] Die Messvorrichtung **56** dient dazu, die Umgebung des Fahrzeugs zu vermessen. Es kann sich hierbei um das schon genannte LIDAR oder LADAR

handeln. Aber auch Bildverarbeitung, insbesondere stereoskopisch, ist denkbar. Sie ist dazu ausgelegt, mindestens in Fahrtrichtung voraus und vorzugsweise vollständig um das Fahrzeug herum die Umgebung zu erfassen und Merkmale nach Richtung und Abstand zu erkennen. Die Vorrichtung **56** kann weitgehend autonom arbeiten und periodisch die Umgebung vermessen. Hierbei fallen die schon genannten Daten zur Erfassung von Merkmalen an, die dann zwischengespeichert und weiterverarbeitet werden können. Die Schnittstellenvorrichtung **52** ist darüber hinaus allgemein als Fahrzeugsteuerung zu verstehen, die die allgemeinen Fahrzeugfunktionen steuert, etwa Steuerung der Antriebsmotoren **58**, der Bremsen, Lenkung und ähnliches.

[0099] Die beschriebenen Verfahren zur Ermittlung der Zuverlässigkeitswerte können im verarbeitenden Teil der Schnittstellenvorrichtung **52** ausgeführt werden. Sie können aber auch in einem angebundnenen Server durchgeführt werden.

[0100] **Fig. 3** zeigt schematisch einen Datentupel **30**, das einem Merkmal der repräsentierten Umgebung (einer Kachel bei Darstellung als Gridmap) zugeordnet oder zuordenbar sein kann. Möglich, aber nicht notwendig ist es, dass einem solchen Tupel explizit Koordinatendaten **31** zugeordnet sind, die den Ort in der repräsentierten Umgebung in der nötigen Genauigkeit/Auflösung angeben. Vorgesehen ist eine Merkmalsangabe **32**, die Angaben zum Vorhandensein eines Merkmals macht. Sie kann 0/1 sein oder die schon angesprochene Vorhandenseinswahrscheinlichkeit eines Merkmals (Belegungswahrscheinlichkeit einer Kachel). Mit **33** ist die wie beschrieben erhobene Zuverlässigkeitswahrscheinlichkeit angedeutet, die den jeweiligen Merkmalen/Kacheln zugeordnet wird. Mit **34** (optional) ist eine Markierung angedeutet, die angibt, ob die bei **33** gespeicherte Zuverlässigkeitswahrscheinlichkeit aktualisiert werden soll oder nicht. **35 bis 37** (optional) deutet verschiedene Historiedaten an, die kachelspezifisch vorhanden sind, wie weiter oben beschrieben.

[0101] Unabhängig davon können die zeitweise gespeicherten Vermessungshistorien gespeichert sein. Sie können aber auch kachelweise abgelegt sein, was durch **38** angedeutet ist. Weitere Speicherungen können ortsauflösend /kachelweise /merkmalsweise vorgenommen werden. Wie schon mehrfach gesagt, kann das Speicherformat ähnlich wie in **Fig. 3** gezeigt für jede Kachel implementiert sein.

[0102] Schon die wie beschrieben zusammengestellten Daten repräsentieren die Erfindung. Deshalb werden auch die wie beschrieben zusammengestellten Daten bzw. ein Datenträger mit diesen Daten darauf (auch, wenn er verteilt vorgesehen ist) als Teil der Erfindung angesehen. Die Daten repräsentieren das, was in **Fig. 3** für eine einzelne Kachel/für ein einziges

Merkmal dargestellt ist, für die gesamte repräsentierte Umgebung. Schematisch ist die Speicherung dieser Daten auch in **Fig. 5** zu Bezugsziffer **51** mit den einzelnen Speicherbereichen **51a** bis **51e** angesprochen worden. Diese Daten bzw. Datenträger können für sich alleine Handelsware sein, so dass sie auch für sich alleine als die Erfindung repräsentierend angesehen werden.

[0103] Weiterer Teil der Erfindung ist ein Datenträger mit Daten darauf, die computerimplementierbaren Code repräsentieren, der, wenn ausgeführt, das beschriebene Verfahren zur Bestimmung einer elektronisch nutzbaren Repräsentation implementiert.

[0104] Es wird nun Bezug nehmend auf **Fig. 4** ein Verfahren zur Positionsermittlung eines beweglichen Objekts **50** in einer Umgebung, in der elektronisch erfassbare Merkmale vorhanden sind, beschrieben. Merkmale können dabei wieder als bewegungsrelevante Objekte in der Umgebung, insbesondere als Bewegungshindernisse für das bewegliche Objekt verstanden werden. In der Umgebungsrepräsentation entspricht jedem Merkmal bei Darstellung/Sichtweise/Speicherung als Gridmap eine oder mehrere Kacheln.

[0105] Die Positionsermittlung kann in einer zweidimensionalen Umgebungsrepräsentation/Karte erfolgen, etwa für ein in einer Umgebung fahrendes Fahrzeug, oder dreidimensional, etwa für einen arbeitenden Roboter oder fliegende Gerätschaft, z. B. eine Drohne. Dementsprechend ist die Umgebungsrepräsentation zweidimensional oder dreidimensional aufgebaut. Wie bisher wird ein zweidimensionales Beispiel beschrieben, ohne damit die Anwendung auf drei Dimensionen ausschließen zu wollen.

[0106] Die Umgebungsvermessung im Dreidimensionalen geschieht nicht nur im Kreis um das Fahrzeug herum, sondern letztlich vorzugsweise in der das Fahrzeug überwölbenden Halbsphäre oder das Fluggerät oder den Roboterarm umspannenden Sphäre. Auch dann werden Merkmale nach Richtung (Raumrichtung) und Abstand erfasst. Eine Vermessung kann dann die Erfassung mehrerer/vieler/aller Merkmale im gewählten Bereich (Halb/Kugel über/um dem Fahrzeug/Roboter) aufweisen. Die Ortsauflösung wird nach Maßgabe der Notwendigkeiten bzw. technischen Fähigkeiten gewählt.

[0107] **Fig. 4a** zeigt stark schematisiert eine Umgebung **40**. Das eingekreiste Kreuz symbolisiert das Fahrzeug **50**. Um das Fahrzeug **50** herum verteilt sind elektronisch erfassbare, mit Vierecken symbolisierte Merkmale **41a**, **41b**, ..., **41z**. Sie können beispielsweise den in **Fig. 1** gezeigten Wänden, Türen, Regalen, Personen und ähnlichem entsprechen. Jedem betrachteten Merkmal (bzw. jeder betrachteten Kachel) ist eine Vorhandenseinswahrscheinlichkeit **V**

und eine Zuverlässigkeit **Z** zugeordnet. Die Vorhandenseinswahrscheinlichkeit sagt, wie wahrscheinlich auf der Kachel ein Merkmal/Fahrhindernis bzw. Bewegungshindernis vorhanden ist oder nicht. Die Zuverlässigkeit gibt an, als wie zuverlässig erfassbar das jeweilige Merkmal, das von der jeweiligen Kachel repräsentiert wird, beurteilt wurde. Dementsprechend sind dem Merkmal bzw. der Kachel **41a** **Va** und **Za** zugeordnet, **41b** sind **Vb** und **Zb** zugeordnet und **41z** sind **Vz** und **Zz** zugeordnet.

[0108] Bei einer Umgebungsvermessung (etwa mit LIDAR, LADAR, stereoskopischer Bildverarbeitung oder ähnlichem) sollen theoretisch alle Merkmale oder Kacheln **41a** mit Merkmalen darin erfasst werden, indem sie beispielsweise ausgesandtes (Laser-)Licht zurück Richtung Vermessungsgerät **56** streuen. Erfassung kann dabei Detektion von Richtung und Abstand des zurückstreuenden Merkmals bedeuten. Der theoretisch vollständigen Erfassung aller Merkmale während eines Umgebungsscans stehen jedoch praktische Hindernisse entgegen, etwa die begrenzte räumliche Auflösung und andere Widrigkeiten wie etwa Transparenz eines Merkmals (Hindernisses) und ähnliches. Mit den Pfeilen **42a**, **42b**, **42c**, **42d**, **42z** sind die Erfassungen der jeweiligen Merkmale **41a**, **41b**, **41c**, **41d** und **41z** angedeutet. Versucht wird die Erfassung für alle Merkmale **41a** bis **41z**. Der Übersichtlichkeit halber wurde aber auf die Vielzahl der zugehörigen Pfeile verzichtet.

[0109] Die Merkmale der Kacheln **41a** bis **41z** sind unterschiedlich zuverlässig erfassbar. Sie können schwierig erfassbar sein, weil sie beispielsweise klein oder filigran sind (Stütze des Regals **14**) oder weil sie transparent/semitransparent sind (Glastür **13**). Andere Merkmale wie beispielsweise Wände können sehr gut erfassbar sein. Die durch die jeweiligen Kacheln **41a** repräsentierten Merkmale sind deshalb unterschiedlich zuverlässig erfassbar und haben unterschiedliche Werte **Za** bis **Zz**, wie schon beschrieben.

[0110] Bei der Positionsermittlung vermisst das bewegliche Objekt seine Umgebung aus seiner momentanen Perspektive heraus, indem Erfassungen **42** der einzelnen Merkmale/Kacheln **41** vorgenommen werden. Das Vermessungsergebnis (die Gesamtheit der gewonnenen Erfassungen **42** der erfassten Merkmale) wird dann bewertet. Bei dieser Bewertung geht die Zuverlässigkeit der Erfassung der einzelnen Merkmale ein. Aus dem Bewertungsergebnis wird die Position des Fahrzeugs **50** in der Karte (repräsentierte Umgebung) bestimmt. Die Zuverlässigkeiten können als Gewichtungen der einzelnen Erfassungen **42** eingehen. Damit gehen zuverlässiger erfassbare Merkmale höhergewichtet in das Ergebnis ein, während unzuverlässigere Merkmale niedriger gewichtet in das Ergebnis eingehen. Auf diese Weise ist eine höhere Wahrscheinlichkeit für die Richtigkeit des Positionierungsergebnisses gegeben.

[0111] Neben der Zuverlässigkeit kann bei der Gewichtung der einzelnen Erfassungen **42** auch die Belegungswahrscheinlichkeit der von den einzelnen Erfassungen betroffenen Kacheln/Merkmale in die Bewertung der einzelnen Erfassungen eingehen. Diese kann zusammen mit der Zuverlässigkeit zur Gewichtung der einzelnen Erfassungen herangezogen werden und geht dann in das Gesamtergebnis ein.

[0112] Bei der Bewertung des Vermessungsergebnisses wird dieses, insbesondere die einzelnen Merkmalserfassungen **42a - 42z** der Vermessung, mit Kartendaten abgeglichen. Es kann ein Vergleich von vermuteten Ergebnissen ausgehend von einer vermuteten Position mit den tatsächlich gewonnenen Vermessungsergebnissen erfolgen, wobei dieser Vergleich entsprechend den einzelnen Erfassungen **42a - z** erfolgen kann und jeweils einzeln entsprechend der jeweiligen Zuverlässigkeit und ggf. auch Vorhandenseinwahrscheinlichkeiten gewichtet sein kann. Die Bewertungen der einzelnen Erfassungen **42** können dann mathematisch zusammengeführt werden, etwa durch Produktbildung (oder im Logarithmischen durch Summenbildung) und führen so zu einer Gesamtbewertung einer Vermessung.

[0113] Zur Positionsermittlung kann insbesondere ein Partikelfilteralgorithmus herangezogen werden, der auch anhand **Fig. 4b** erläutert wird. Er weist die folgenden Schritte auf:

[0114] Zunächst wird eine vermutete Position des beweglichen Objekts bestimmt. Dies kann durch „Koppeln“ ausgehend von einer früher bekannten Position erfolgen, also Fortschreiben der Position nach Maßgabe anderweitig gewonnener Informationen, etwa Odometrie des Fahrzeugs oder sonstige Informationen wie etwa vorzugsweise stereoskopischer Bildverarbeitung. Auf diese Weise wird eine vermutete (hypothetische) Position des beweglichen Objekts festgelegt. Im Zweidimensionalen ist es eine zweidimensionale Koordinatenangabe, im Dreidimensionalen eine dreidimensionale Koordinatenangabe. In **Fig. 4b** entspricht dies der Position des Kreuzes **50**.

[0115] Darüber hinaus werden mehrere oder sogar viele hypothetische Positionen festgelegt, die um das bewegliche Objekt herum verteilt sind. Diese hypothetischen Positionen können vordefiniert sein oder ad hoc erzeugt worden sein. Sie können zufällig verteilt sein oder quasi zufällig sein oder systematisch gesetzt werden. Diese hypothetischen Positionen werden als „Partikel“ angesehen. In **Fig. 4b** sind dies die Kreuze **45, 45a**

[0116] Als Nächstes wird für jede der festgelegten hypothetischen Positionen **45, 45a** (Partikel) aus deren jeweiliger Perspektive heraus digital eine hypothetische Vermessung der Umgebung erzeugt. Dies ist ein theoretisch/digital/elektronisch stattfindender

Vorgang, bei dem anhand der Kartendaten und der hypothetischen Position darin ermittelt wird, was eine Erfassungsvorrichtung **56**, die an dem jeweiligen hypothetischen Ort steht, „sehen“ bzw. erfassen müsste, wenn sie dort stünde. Für jede der hypothetischen Positionen **45, 45a** wird auf diese Weise eine hypothetische Vermessung erzeugt, von denen jede wiederum viele hypothetische Erfassungen der die hypothetische Position umgebenden Merkmale **41** aufweist, wobei jede Erfassung eine Angabe nach Richtung und Entfernung aufweist..

[0117] **Fig. 4b** zeigt hierzu schematisch eine etwas konkretere Situation einer Umgebung **40**. **50** symbolisiert das Fahrzeug, **41a** bis **41c** symbolisieren unterschiedliche Merkmale. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Wand **41a** Niederschlag in der Kartierung gefunden hat und mit entsprechenden Merkmalen jeweils hoher Vorhandenseinwahrscheinlichkeiten (z. B. 0,99 oder 1) an den entsprechenden Kacheln repräsentiert ist. Die mit **41b** symbolisierte Kiste (beispielhaft für abgestelltes Lagergut, geparktes Fahrzeug, ...) ist gegebenenfalls auch kartiert, insbesondere mit einer geringeren Vorhandenseinwahrscheinlichkeit (z. B. 0,35). Die Person **41c** wird konkret mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht kartiert sein. Allerdings kann für die jeweilige Raumkachel aus früheren sporadischen Erfassungen heraus eine bestimmte Belegungswahrscheinlichkeit/Vorhandenseinwahrscheinlichkeit in die Karte Eingang gefunden haben. Diese kann dann gering sein, bspw. 0,07.

[0118] Mit den Kreuzen **45** sind die angesprochenen hypothetischen Positionen (Partikel) gezeigt. Das Fahrzeug **50** selbst befindet sich an einer vermuteten Position, wie in **Fig. 4b** eingezeichnet. Es sei darauf hingewiesen, dass diese vermutete Position anhand der Odometrie oder ähnlichem aus einer früher bestimmten Position fortgeschrieben worden sein kann. Es kann aber auch die frühere Position als eine (dann ungenauere) vermutete Position verwendet werden.

[0119] Mit **46** ist eine der vielen realen Erfassungen von Merkmalen aus der Perspektive des Fahrzeugs **50** bei einer Vermessung angedeutet. Mit **47** ist eine der vielen hypothetische Erfassungen von Merkmalen aus der Perspektive der einen zu Erläuterungszwecken herausgehobenen hypothetischen Position **45a** angedeutet. Der Übersichtlichkeit halber sind diese Bezugszeichen nur für die Erfassung eines einzelnen Merkmals (einer Wandstelle) aus der Perspektive des Fahrzeugs und nur für eines der vielen Partikel **45** eingezeichnet. Die Erfassungen **46** aus der Perspektive des Fahrzeugs **50** geschehen real durch entsprechende Vorrichtungen **56** des Fahrzeugs **50**, während die Erfassungen **47** hypothetisch/theoretisch sind und datenverarbeitend anhand der angenommenen Position und der Kartendaten geschieht.

[0120] Es wird dann für jede hypothetische Position **45** eine Wahrscheinlichkeit w_h für deren Richtigkeit ermittelt. Diese Wahrscheinlichkeit hängt auch von den Zuverlässigkeitswerten der jeweils involvierten Merkmale ab. Darüber hinaus können deren jeweilige Belegungswahrscheinlichkeiten berücksichtigt werden. Die Wahrscheinlichkeit w_h einer hypothetischen Position hängt von den RichtigkeitsWahrscheinlichkeiten w_e der einzelnen Erfassungen der einzelnen Merkmale aus der jeweiligen hypothetischen Position heraus ab. Die RichtigkeitsWahrscheinlichkeiten w_e der einzelnen Erfassungen **47** können dabei auch vom Unterschied des hypothetisch erfassten Abstands bei **47** zum real erfassten Abstand bei **46** abhängen. Die Abhängigkeit kann so sein, dass die Relevanz/Gewichtung umso geringer wird, je größer der Unterschied ist. Es kann hier eine Gaußverteilung um den real gemessenen Abstand herum angenommen werden mit einer geeignet gewählten Standardabweichung σ . Die Gewichtung w_e einer einzelnen Erfassung eines Merkmals i aus der Perspektive eines einzelnen Partikels i gesehen aus einer hypothetischen Position **45** heraus kann demnach mit folgender Formel bestimmt werden:

$$w_e(i, 45a) = p_1 * e^{-\exp}$$

mit

$$\exp = p_2 * (d_h(i, 45a) - d_r(i))^2 / (2\sigma^2)$$

$w_e(i, 45a)$ ist die Wahrscheinlichkeit der Richtigkeit einer Erfassung eines Merkmals i aus einer hypothetischen Position **45a** heraus. $d_r(i)$ ist der real gemessene Abstand zum Merkmal i , $d_h(i, 45a)$ ist der hypothetisch ermittelte Abstand zwischen Merkmal i und Partikel **45a**, σ ist die Standardabweichung.

[0121] Mit p_1 und p_2 sind Platzhalter angesprochen, an deren Stelle der jeweilige Zuverlässigkeitswert Z_i des erfassten Merkmals i einfließen kann. Der Wert Z_i kann bei p_1 multiplikativ zur Gewichtung der Richtigkeitswahrscheinlichkeit einfließen, oder er kann bei p_2 multiplikativ in den Exponenten einfließen. Bei p_1 und p_2 kann auch die Vorhandenseinswahrscheinlichkeit/Belegungswahrscheinlichkeit V des jeweils betrachteten Merkmals/der betrachteten Kachel einfließen.

[0122] Auf diese Weise werden für eine hypothetische Position **45a** mehrere/viele Wahrscheinlichkeiten $w_e(i, 45a)$ einzelner Erfassungen einzelner Merkmale/Kacheln aus der hypothetischen Perspektive der jeweils hypothetischen Position erhalten.

[0123] Um für eine hypothetische Position (beispielsweise **45a**) einen Gesamtwert der Wahrscheinlichkeit ihrer Richtigkeit zu erhalten, können dann

die einzelnen Wahrscheinlichkeiten $w_e(i, 45a)$ verknüpft werden, beispielsweise multiplikativ. Hier wird wie schon gesagt davon ausgegangen, dass die Normierungen entsprechend der stochastischen Rechnung erfolgen, also die Werte von $w_e(i, 45a) < 1$ sind. Wenn die hypothetische Vermessung aus der hypothetischen Position **45a** heraus beispielsweise 100 Merkmale erfasst (also $1 \leq i \leq 100$), werden 100 jeweils zugeordnete Werte von $w_e(i, 45a)$ erhalten. Diese können über alle i hinweg multipliziert oder im Logarithmischen addiert werden. Es kann auch an dieser Stelle die Zuverlässigkeit mit eingearbeitet werden, wenn sie nicht schon vorher berücksichtigt worden ist, etwa indem sie bei dieser Gesamtproduktbildung (oder logarithmischen Summenbildung) mit hineingerechnet (multipliziert, addiert) wird. Auf diese Weise wird eine Wahrscheinlichkeit w_h (**45a**) der Richtigkeit einer bestimmten hypothetischen Position **45a** erhalten.

[0124] Das obige Vorgehen wird für alle betrachteten hypothetischen Positionen **45** (Partikel) durchgeführt. Deren Anzahl kann größer 10, 20, 50 oder 100 sein. Damit numerische Vergleichbarkeit vorliegt, müssen bei der Bildung der Gesamtwahrscheinlichkeit w_h für die jeweiligen hypothetischen Positionen **45** (Partikel) die Anzahl der betrachteten Einzelerfassungen $w_e(i, 45a)$ gleich sein.

[0125] Anhand der so gewonnenen Vielzahl von Werten von Gesamtwahrscheinlichkeiten w_h der einzelnen hypothetischen Positionen **45** kann dann die tatsächliche Position des Fahrzeugs **50** ermittelt werden. Eine Herangehensweise hierfür ist es, die Position mit der besten/höchsten Wahrscheinlichkeit zu wählen. Eine andere Möglichkeit ist es, aus einer Anzahl von relativ guten Wahrscheinlichkeiten oder aus einer vorgegebenen Anzahl von Wahrscheinlichkeiten eine entsprechend den jeweiligen Wahrscheinlichkeiten w_h gewichtete Mittelwertbildung der jeweiligen Positionen in x und in y (und gegebenenfalls in z) vorzunehmen und diese Mittelwerte als neue Position zu nehmen.

[0126] In die so ermittelte Position ist der Zuverlässigkeitswert der Merkmale bei der Gewichtung einzelner Messergebnisse eingegangen. Zuverlässige Merkmale gingen stärker gewichtet ein als weniger zuverlässige, so dass das Gesamtergebnis mit höherer Wahrscheinlichkeit näher am richtigen Ergebnis liegt.

[0127] Der beschriebene Algorithmus ist auch als „Monte-Carlo-Lokalisierung“ bekannt. Es ist aber auch möglich, andere Lokalisierungsverfahren um die Berücksichtigung von Zuverlässigkeitswerten der erfassten Merkmale zu erweitern. Beispielsweise kann ein Kalman-Filter um die Berücksichtigung von Zuverlässigkeitswerten erweitert werden.

[0128] Die ermittelten Zuverlässigkeitswerte können auch zur Wegplanung für ein bewegliches Objekt in einer Umgebung herangezogen werden. Es wird hierbei zunächst eine digitale Repräsentation der Umgebung bereitgestellt, die mehrere Umgebungsmerkmale repräsentiert und für wenigstens einige dieser Merkmale auch jeweils Zuverlässigkeitswerte angibt oder deren Herleitung erlaubt. Diese Zuverlässigkeitswerte können wie oben beschrieben gestaltet und ermittelt sein und können neben Belegungswahrscheinlichkeiten/ Vorhandenseinwahrscheinlichkeiten kachelweise/merkmalsweise räumlich aufgelöst vorliegen. Es wird dann ein Wegpunkt als erster Punkt eines zu planendes Weges gesetzt. Am Anfang des Verfahrens kann der erste Punkt die momentane eigene Position sein. Im weiteren Verlauf kann der erste Punkt ein zuletzt gewählter Punkt des Weges sein. Es wird dann ein dem ersten Punkt folgender und von diesem räumlich beabstandeter zweiter Punkt mit einem Wegfindungsverfahren oder Routing-Algorithmus festgelegt, das bzw. der hier nicht konkreter Gegenstand des Interesses ist.

[0129] Als Nächstes kann der zweite Punkt unter Verwendung der digitalen Repräsentation einschließlich der angegebenen Zuverlässigkeitswerte auf Brauchbarkeit / Befahrbarkeit überprüft werden. Je nach Abstand des zweiten Punkts vom ersten Punkt können hierbei auch zwischen beiden liegende Punkte auf Befahrbarkeit überprüft werden, wie angegeben. Wenn die Überprüfung ein vorgegebenes Kriterium erfüllt, insbesondere Befahrbarkeit des zweiten Wegpunkts und gegebenenfalls dazwischenliegender Wegpunkte zeigt, wird der zweite Punkt als weiterer Wegpunkt des zu planenden Weges gespeichert und als neuer erster Punkt zum Fortsetzen des Verfahrens mit der Wahl eines diesem neuen ersten Punkt folgenden zweiten Punktes verwendet. Wenn das vorgegebene Kriterium nicht erfüllt ist, wird ein anderer, dem ersten Punkt folgender zweiter Punkt gewählt und dieser wiederum gegebenenfalls mit weiteren dazwischenliegenden Punkten auf Befahrbarkeit und Verwendung der digitalen Repräsentation einschließlich der angegebenen Zuverlässigkeitswerte überprüft.

[0130] Auf diese Weise arbeitet sich das Verfahren iterativ voran, bis ein Weg hin zum gewünschten Ziel gefunden ist. Auch hier werden zur Beurteilung der Brauchbarkeit der hypothetischen neuen Wegpunkte Zuverlässigkeitswerte eingebunden, um reale Gegebenheiten besser als im Stand der Technik in die Wegfindung einfließen lassen zu können.

[0131] Allgemein sollen in dieser Beschreibung Merkmale auch dann als miteinander kombinierbar angesehen werden, wenn diese Kombination nicht ausdrücklich angesprochen ist, soweit die Kombination technisch möglich ist. Merkmale, die in einem bestimmten Kontext oder Zusammenhang oder Pa-

tentanspruch beschrieben sind, sollen auch aus diesem Kontext, Zusammenhang oder Patentanspruch heraus lösbar verstanden werden und mit anderen Kontexten, Zusammenhängen und Patentansprüchen kombinierbar angesehen werden. Verfahrensmerkmale sollen auch als Offenbarung für solche Verfahrensmerkmale implementierende Vorrichtungen verstanden werden, und umgekehrt.

[0132] Merkmalskombinationen K1 bis K21 betreffend die Umgebungsrepräsentation können wie folgt aufgezählt werden:

K1. Umgebungsrepräsentationsvorrichtung (**50**) mit einem Datenträger (**51**) und einem damit verbundenen Schnittstellengerät (**52**), wobei der Datenträger Daten trägt, die eine Umgebung repräsentieren, mit a. Kartendatenteilen (**51a**), die ortsauflösend Merkmale einer Umgebung angeben oder die Herleitung solcher Merkmalsangaben erlauben, und b. Zuverlässigkeitsdatenteilen (**51b**), die ortsauflösend Zuverlässigkeitsdaten von Merkmalen einer Umgebung angeben oder die Herleitung solcher Zuverlässigkeitsdaten erlauben und die ortsauflösend angeben, als wie zuverlässig erfassbar die jeweils repräsentierten Merkmale eingeschätzt wurden, und wobei das Schnittstellengerät Kartendaten und Zuverlässigkeitsdaten einander ortsauflösend zugeordnet zugänglich macht.

K2. Vorrichtung nach K1, bei der die Kartendatenteile Vorhandenseinwahrscheinlichkeiten darstellen, die ortsauflösend Vorhandenseinwahrscheinlichkeiten von Merkmalen einer Umgebung angeben oder die Herleitung solcher Vorhandenseinwahrscheinlichkeiten erlauben und die ortsauflösend angeben, als wie wahrscheinlich vorhanden ein repräsentiertes Merkmal eingeschätzt wurde.

K3. Vorrichtung nach K1 oder K2, wobei der Datenträger Historiedatenteile (**51c**) trägt, die ortsauflösend Erfassungshistorien von Merkmalen einer Umgebung angeben oder die Herleitung solcher Erfassungshistorien erlauben, und wobei das Schnittstellengerät auch die Historiedaten den anderen Daten ortsauflösend zugeordnet zugänglich macht.

K4. Vorrichtung nach K1, K2 oder K3, wobei der Datenträger Markierungsdatenteile (**51d**) trägt, die ortsauflösend markieren, welche der Zuverlässigkeitsdaten und/oder der Kartendaten im Laufe der Zeit änderbar sein sollen und welche nicht, und wobei das Schnittstellengerät auch die Markierungsdaten den anderen Daten ortsauflösend zugeordnet zugänglich macht.

K5. Verfahren zur Bestimmung einer elektronisch nutzbaren Repräsentation einer Umgebung, wobei in der Umgebung Merkmalen vorhanden sind, mit den Schritten

- Bereitstellen von Kartendaten (**31**), die ortsauflösend Merkmale der Umgebung angeben oder die Herleitung solcher Merkmalsangaben erlauben,

- Ermitteln von Zuverlässigkeitsdaten (**32**) einzelner Merkmalsangaben, die von den bereitgestellten Kartendaten erfasst sind, wobei die Zuverlässigkeitsdaten ortsauflösend angeben, als wie zuverlässig erfassbar die jeweils angegebenen Merkmale angesehen werden können, und

- Speichern der Kartendaten und der Zuverlässigkeitsdaten in ortsauflösend einander zugeordneter oder zuordenbarer Weise als Umgebungsrepräsentation (**10**).

K6. Verfahren nach K5, bei dem die Zuverlässigkeitsdaten einzelner Merkmalsbereiche anhand von Streuungen von zeitnah zueinander ermittelten Messwerten gleicher Kartenbereiche bestimmt werden.

K7. Verfahren nach K5 oder K6, bei dem die Zuverlässigkeitsdaten einzelner Merkmalsbereiche anhand des Alters von früher ermittelten Messwerten gleicher Kartenbereiche bestimmt werden.

K8. Verfahren nach einer der K5 bis K7, bei dem die Zuverlässigkeitsdaten einzelner Kartenbereiche manuell eingegeben und/oder verändert werden, vorzugsweise über eine graphische Benutzeroberfläche.

K9. Verfahren nach einer der K5 bis K8, bei dem die Zuverlässigkeitsdaten während der Nutzung einer Umgebungsrepräsentation nach Maßgabe aktueller Messwerte eines die Umgebungsrepräsentation nutzenden Geräts oder Fahrzeugs und nach Maßgabe von Historiedaten ermittelt und/oder verändert werden.

K10. Verfahren nach einer der K5 bis K9, bei dem die Merkmalsdaten der Kartendaten ortsauflösend eine Vorhandenseinswahrscheinlichkeit eines Merkmals angeben.

K11. Verfahren nach K10, bei dem die ortsaufgelösten Vorhandenseinswahrscheinlichkeitswerte und die ortsaufgelösten Zuverlässigkeitswert getrennt gespeichert und/oder zu einem ortsaufgelösten gemeinsamen Parameter verrechnet werden.

K12. Verfahren nach einer der K5 bis K11, dadurch gekennzeichnet, dass die Umgebungsrepräsentation eine zweidimensionale Fläche oder ein dreidimensionales Volumen beschreibt.

K13. Verfahren nach einer der vorherigen K, dadurch gekennzeichnet, dass für einzelne Kartenbereiche deren Zuverlässigkeitsdaten als unveränderlich gekennzeichnet werden, vorzugswei-

se über eine graphische Benutzerschnittstelle, und sie deshalb nicht verändert werden.

K14. Verfahren nach einer der vorherigen K, bei dem die repräsentierte Umgebung logisch in eine Vielzahl von Kacheln (**21**) unterteilt ist, wobei die Kartendaten und die Zuverlässigkeitsdaten kachelweise aufgelöst oder auflösbar oder interpolierbar sind, wobei einer Kachel ein Datentupel zugeordnet oder zuordenbar sein kann, das für diese Kachel mindestens eine Vorhandenseinswahrscheinlichkeit und einen Zuverlässigkeitswert aufweist und optional auch eine Unveränderlichkeitskennzeichnung nach K13.

K15. Verfahren nach einer der K5 bis K13, bei dem in der repräsentierten Umgebung mehrere bekannte Reflektorpunkte angebracht sind, wobei die Kartendaten und die Zuverlässigkeitsdaten reflektorpunktweise aufgelöst oder auflösbar gespeichert werden, wobei einem Reflektorpunkt optional auch eine Unveränderlichkeitskennzeichnung nach K13 zugeordnet oder zuordenbar ist.

K16. Verfahren nach K14 oder K15, bei dem einer Kachel bzw. einem Reflektorpunkt historische Daten zugeordnet oder zuordenbar sind, insbesondere einer oder mehrere der folgenden Werte

- Zahl der Erfassungen eines Merkmals an der Kachel
- Zahl der Nichterfassung eines Merkmals an der Kachel,
- Zahl der Änderungen der Erfassung eines Merkmals,
- Datum der letzten Erfassung,
- Datum der ersten Erfassung.

K17. Verfahren nach K9, bei dem die aktuellen Messwerte durch Vermessen der Umgebung aus der Perspektive des beweglichen Objekts gewonnen werden, wobei die Vermessung das Erfassen mehrerer Merkmale der Umgebung aufweist und die Messwerte einer zeitlichen Analyse unterzogen werden.

K18. Verfahren nach einer der vorherigen K, dadurch gekennzeichnet, dass die Zuverlässigkeitsdaten jeweils als Faktor zwischen 0 und 1 ermittelt werden und/oder als dazu logarithmischer Wert zwischen $-\infty$ und 0.

K19. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einer der K5 bis K18.

K20. Vorrichtung nach K19, dadurch gekennzeichnet, dass sie ein verteiltes System mit miteinander mindestens zeitweise vorzugsweise drahtlos verbundenen Rechnern aufweist, wobei mindestens einer der Rechner Teil eines auto-

nom navigierenden Fahrzeugs ist, das Sensorik zur Umgebungserfassung aufweist.

K21. Vorrichtung nach K20, dadurch gekennzeichnet, dass das verteilte System ein peer-to-peer-System oder ein server-client-system ist.

54-55

Schnittstellen

56

Vermessungsvorrichtung

57

Server

58

Antrieb

Bezugszeichenliste

10	Umgebung
10'	Kartierung
11	Wand
11'	Wandkartierung
12	Rolltor
12'	Rolltorkartierung
13	Glastür
13'	Glastürkartierung
14	Regal
14'	Regalkartierung
15	Boden
16	Decke
17	Person
17'	Personenkartierung
30	Datentupel
31	Koordinatendaten
32	Vorhandenseinswahrscheinlichkeit
33	Zuverlässigkeit
34	Markierung (Fixierungsflag)
35-37	Historiedaten
38	Messhistorie
40	Umgebung
41a-z	Merkmale
42a-z	Erfassungen
45, 45a	hypothetische Positionen (Partikel)
46	reale Erfassung
47	hypothetische Erfassung
50	Fahrzeug
50'	weiteres Fahrzeug
51	Speicher
51a-e	Datenteile
52	Schnittstelle
53	Steckverbindung

Patentansprüche

1. Verfahren zur Positionsermittlung eines beweglichen Objekts (50) in einer Umgebung (10, 40), in der elektronisch erfassbare Merkmale (41) vorhanden sind, mit den Schritten

- a. Bereitstellen einer digitalen Repräsentation der Umgebung (10, 40), die mehrere elektronisch erfassbare Umgebungsmerkmale (41) repräsentiert und für wenigstens einige dieser Merkmale (41) auch jeweilige Zuverlässigkeitswerte für deren Erfassung angibt oder deren Herleitung erlaubt,
- b. Vermessen der Umgebung aus der Perspektive des beweglichen Objekts (50), wobei die Vermessung das Erfassen mehrerer der elektronisch erfassbaren Merkmale (41) der Umgebung aufweist,
- c. Bewerten des Vermessungsergebnisses mit aus der Umgebungsrepräsentation hergeleiteten Daten unter Berücksichtigung vorhandener Zuverlässigkeitswerte, und
- d. Ermittlung der Position anhand des Bewertungsergebnisses.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Bewerten mit einem Partikelfilteralgorithmus erfolgt, der folgende Schritte aufweisen kann:

- a. Festlegen einer vermuteten Position des Objekts (50) und mehrerer hypothetischer Positionen (45),
- b. für jede der festgelegten hypothetischen Positionen (45) aus deren jeweiliger Perspektive digitales Ermitteln je einer hypothetischen Vermessungen, wobei die hypothetische Vermessung das hypothetische Erfassen (47) mehrerer der elektronisch erfassbaren Merkmale (41) der Umgebung aus der jeweiligen Perspektive aufweist, und
- c. Ermitteln einer Richtigkeitswahrscheinlichkeit we jeder hypothetischen Position nach Maßgabe des Unterschieds zwischen hypothetisch bestimmtem und real ermitteltem Abstand und nach Maßgabe vorhandener Zuverlässigkeitswerte der hypothetisch erfassten Merkmale (41), wobei die Abstände die zwischen hypothetischer Position und einem erfasstem Merkmal (41) bzw. zwischen der vermuteten Position und einem entsprechenden erfassten Merkmal (41) sind.

3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass dessen Schritt c. für jede hypothetische Position die folgenden Schritte aufweist:

- a. Ermitteln der Richtigkeitswahrscheinlichkeit we jeder einzelnen hypothetischen Merkmalserfassung nach Maßgabe des genannten Unterschieds, und

b. Herleiten eines Gesamtwahrscheinlichkeitswertes w_h der hypothetischen Position aus den einzelnen Richtigkeitswahrscheinlichkeiten w_e der hypothetischen Merkmalerfassungen, wobei die Zuverlässigkeitswerte der erfassten Merkmale im Schritt a. und/oder im Schritt b. berücksichtigt werden.

4. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Bewerten im Schritt c. des Anspruchs 1, insbesondere das Ermitteln im Schritt c. des Anspruchs 2, auch nach Maßgabe einer Vorhandenseinswahrscheinlichkeit eines elektronisch erfassbaren Merkmals (41) erfolgt.

5. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Ermitteln einer Richtigkeitswahrscheinlichkeit w_e jeder einzelnen hypothetischen Erfassung anhand einer Gaußverteilung erfolgt, bei der der genannte Unterschied die Abszisse darstellt und bei der der Zuverlässigkeitswert, der einem hypothetisch erfassten Merkmal zugeordnet ist, als Faktor zwischen 0 und 1 im Exponenten oder an der Gaußverteilung berücksichtigt werden kann.

6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Herleiten des Gesamtwahrscheinlichkeitswertes w_h durch Multiplizieren der einzelnen Bewertungsergebnisse der hypothetischen Erfassungen erfolgt oder durch Summieren entsprechender logarithmischer Werte, wobei die Zuverlässigkeitswerte, die den jeweils hypothetisch erfassten Merkmal zugeordnet sind, als Faktoren zwischen 0 und 1 oder entsprechende logarithmische Werte der Summe berücksichtigt werden.

7. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Positionsermittlung das Wählen der Positionen einer der hypothetischen Positionen nach Maßgabe der ermittelten Wahrscheinlichkeit als Objektposition aufweist.

8. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Positionsermittlung eine gewichtete Verrechnung der Positionen mehrerer der hypothetischen Positionen nach Maßgabe deren ermittelter Wahrscheinlichkeiten umfasst.

9. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Bewerten mit einem Monte-Carlo-Algorithmus erfolgt.

10. Verfahren zur Wegplanung für ein beweglichen Objekts (50) in einer Umgebung (10, 40), mit den Schritten

a. Bereitstellen einer digitalen Repräsentation der Umgebung (10, 40), die mehrere Umgebungsmerkmale (41) repräsentiert und für wenigstens einige dieser Merkmale (41) auch jeweilige Zuverlässigkeitswerte angibt oder deren Herleitung erlaubt,

b. Setzen eines Wegpunktes als ersten Punkt eines zu planenden Wegs,

c. Wählen eines dem ersten Punkt folgenden und von diesem räumlich beabstandeten zweiten Punkt anhand eines Wegfindungskriteriums,

d. Überprüfen des zweiten Punktes und gegebenenfalls weiterer Punkte auf Befahrbarkeit unter Verwendung der digitalen Repräsentation einschließlich der angegebenen Zuverlässigkeitswerte,

e. wenn die Überprüfung ein vorgegebenes Kriterium erfüllt, Setzen des zweiten Punktes als weiteren Wegpunkt und als neuen ersten Punkt und Fortsetzen des Verfahrens bei c, andernfalls Wählen eines anderen dem ersten Punkt folgenden und von diesem räumlich beabstandeten zweiten Punktes anhand eines Wegfindungskriteriums und Fortsetzen des Verfahrens bei d.

11. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der vorherigen Ansprüche.

12. Vorrichtung nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Vorrichtung ein verteiltes System mit miteinander mindestens zeitweise vernetzte drahtlos verbundenen Rechnern aufweist, wobei mindestens einer der Rechner Teil eines autonom navigierenden Fahrzeugs (50) ist, das Sensorik zur Umgebungserfassung aufweist.

13. Vorrichtung nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass das verteilte System ein peer-to-peer-System oder ein server-client-system ist.

14. Datenträger mit Daten darauf, die computer-ausführbaren Code darstellen, der, wenn ausgeführt, ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10 implementiert.

Es folgen 6 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig.1

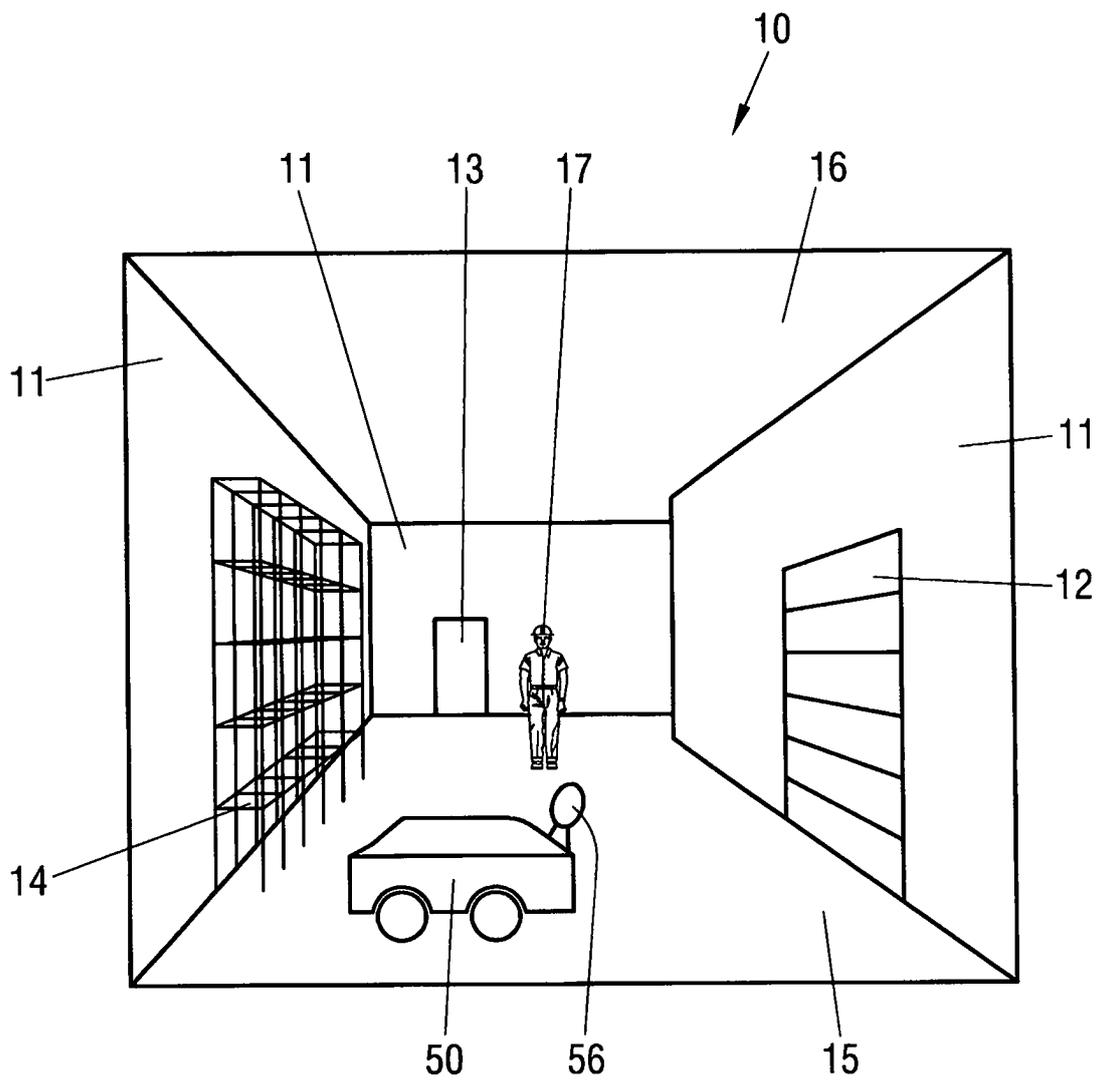


Fig.3

30
↙

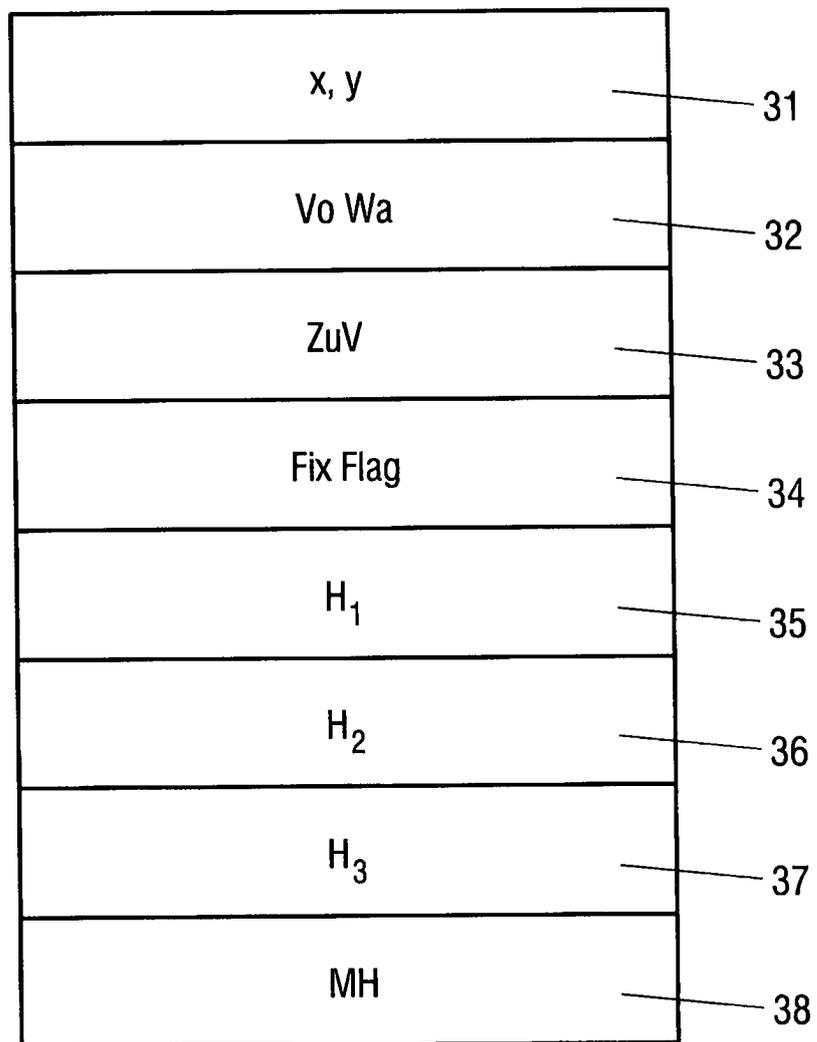


Fig.4a

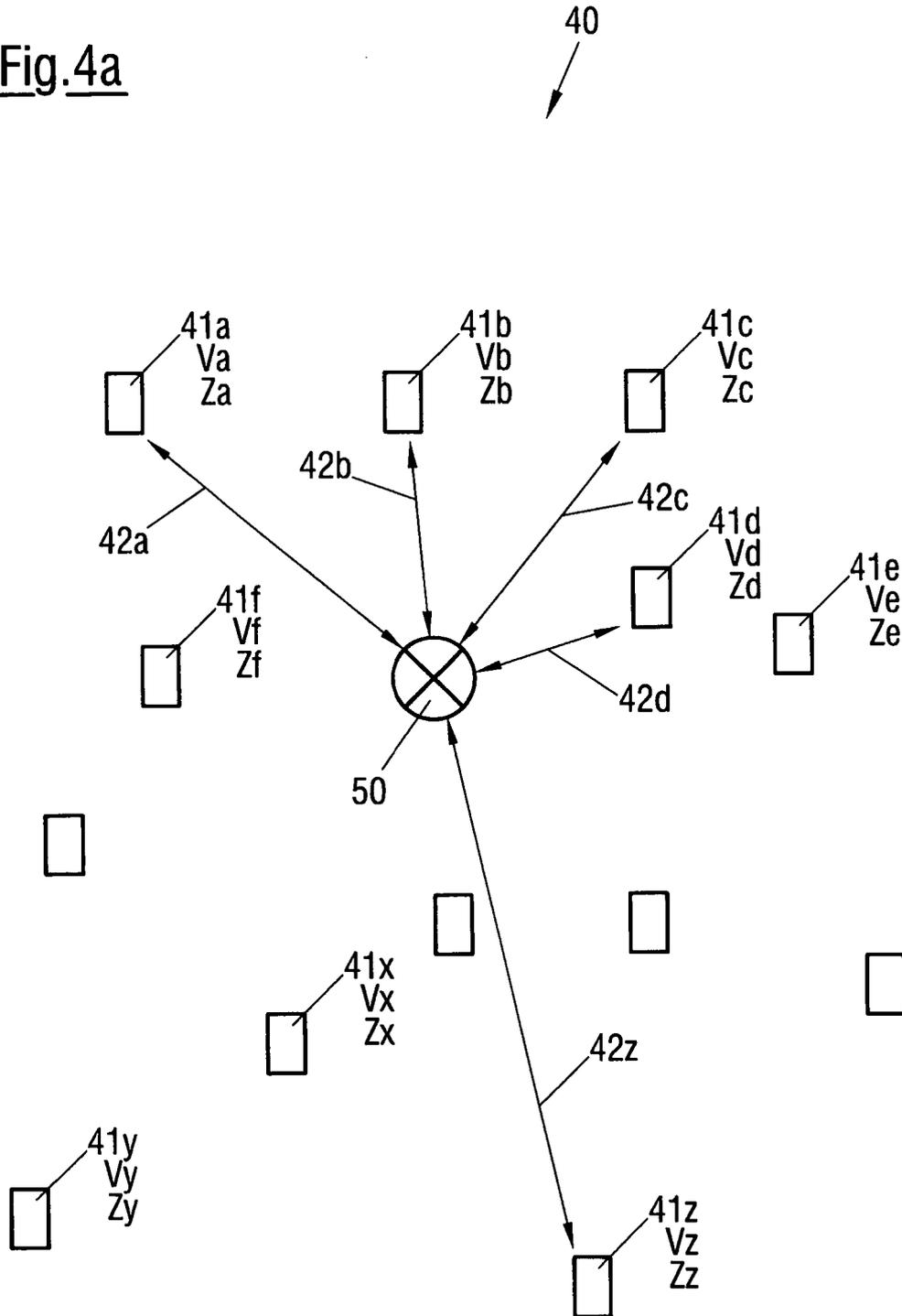
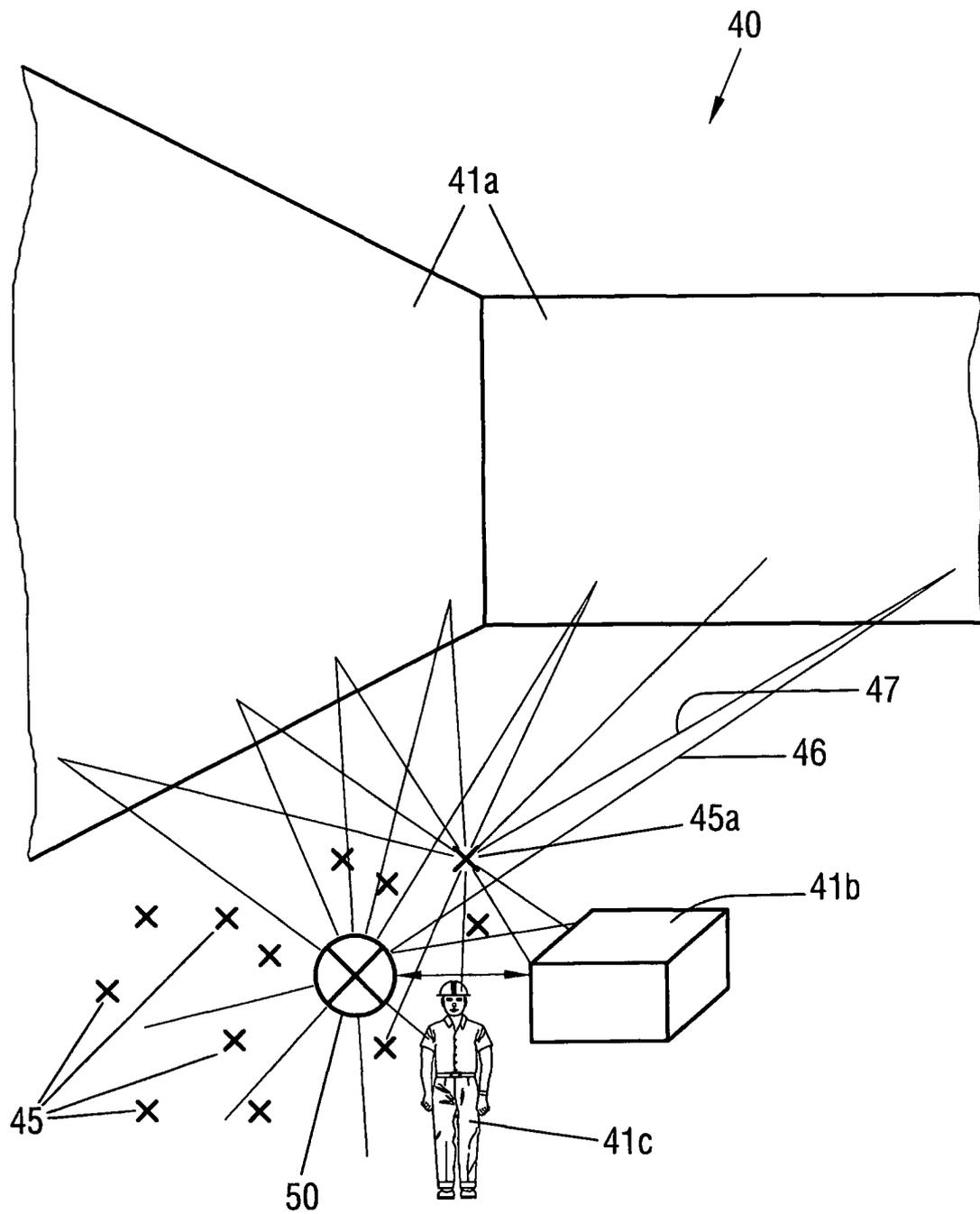


Fig.4b



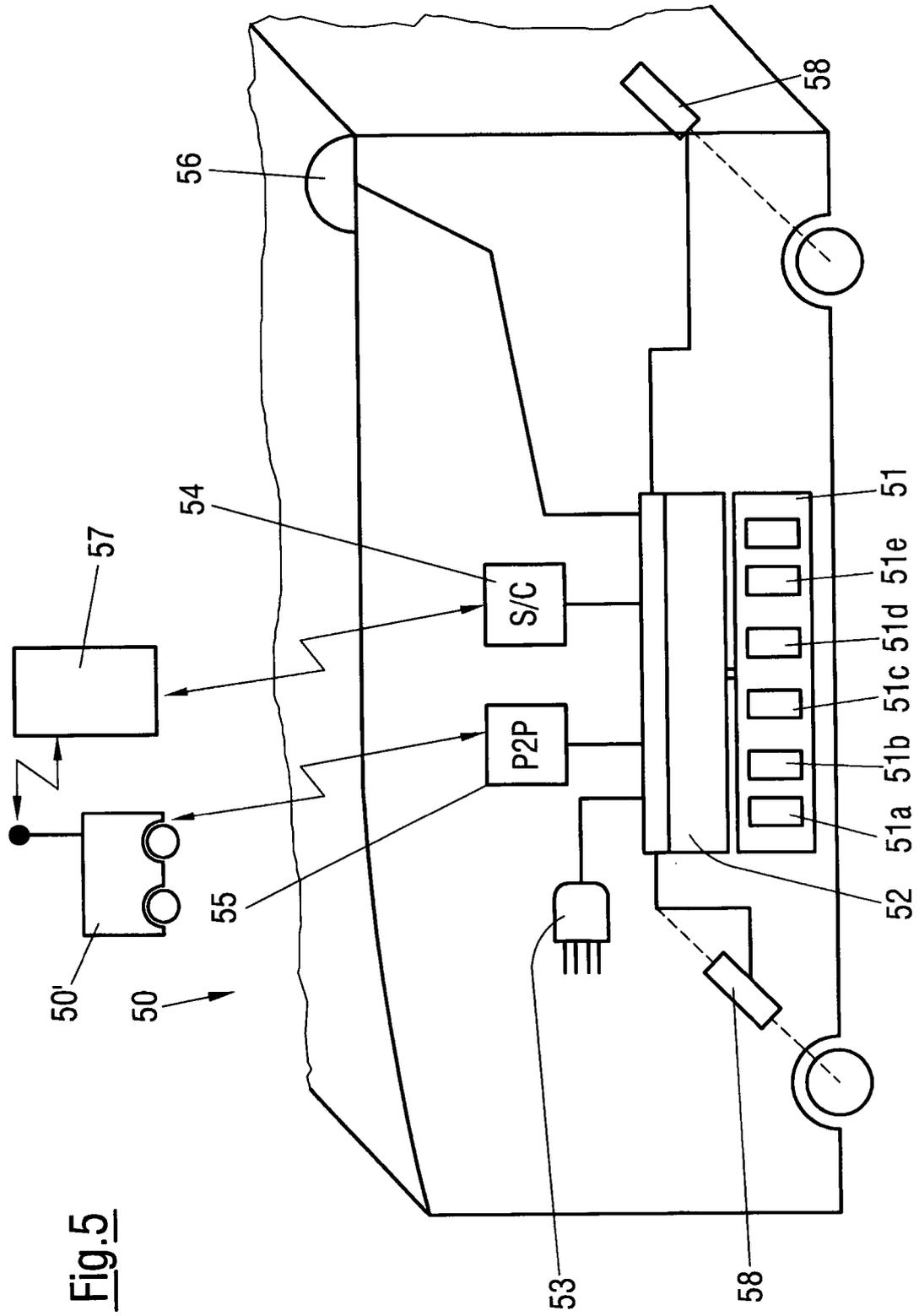


Fig.5