



(10) **DE 10 2017 121 127 A1** 2019.03.14

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2017 121 127.6**

(22) Anmeldetag: **12.09.2017**

(43) Offenlegungstag: **14.03.2019**

(51) Int Cl.: **G05D 1/02 (2006.01)**

(71) Anmelder:
Robart GmbH, Linz, AT

(74) Vertreter:
Westphal, Mussgnug & Partner Patentanwälte mit beschränkter Berufshaftung, 81541 München, DE

(72) Erfinder:
Artes, Harold, Linz, AT; Seethaler, Dominik, Linz, AT

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	10 2010 017 689	A1
DE	10 2015 119 501	A1
EP	2 287 697	A2

HASTIE, Trevor; TIBSHIRANI, Robert; FRIEDMAN, Jerome: The elements of statistical learning - Data mining, inference, and prediction. 2. ed. New York: Springer, [2016] (Springer series in statistics). Deckblatt und Inhaltsverzeichnis. - ISBN 978-0-387-84857-0 (P); 978-0-387-84858-7 (E). DOI: 10.1007/978-0-387-84858-7. URL: <https://rd.springer.com/content/pdf/bfm%3A978-0-387-84858-7%2F1.pdf> [abgerufen am 2017-10-09]

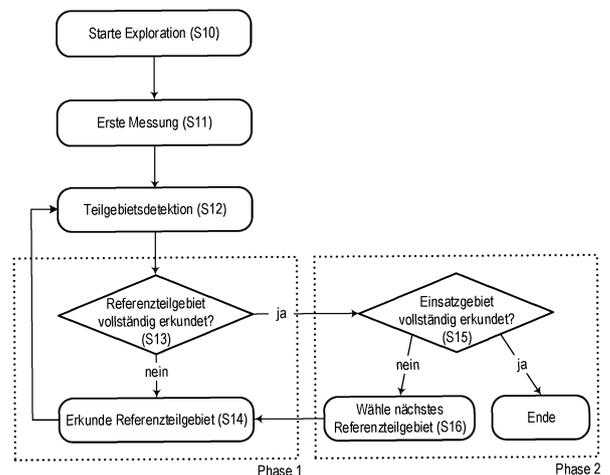
LEE, David: The map-building and exploration strategies of a simple sonar-equipped robot - An experimental, quantitative evaluation. Cambridge: Cambridge University Press, 1996 (Distinguished dissertations in computer science). Deckblatt und Inhaltsverzeichnis. - ISBN 0-521-57331-9. - Zugl.: London, Univ., Diss., 1995

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Exploration einer unbekanntenen Umgebung durch einen autonomen mobilen Roboter**

(57) Zusammenfassung: Es wird ein Verfahren zur Erkundung eines Robotereinsatzgebietes durch einen autonomen mobilen Roboter beschrieben. Gemäß einem Ausführungsbeispiel umfasst das Verfahren das Starten einer Erkundungsfahrt, wobei der der Roboter während der Erkundungsfahrt Objekte in seiner Umgebung detektiert und detektierte Objekte als Kartendaten in einer Karte speichert, während der Roboter sich durch das Robotereinsatzgebiet bewegt. Während der Erkundungsfahrt führt der Roboter Teilgebietsdetektion basierend auf den gespeicherten Kartendaten durch, wobei zumindest ein Referenzteilgebiet detektiert wird. Anschließend wird geprüft, ob das Referenzteilgebiet vollständig erkundet ist. Der Roboter wiederholt die Teilgebietsdetektion, um das Referenzteilgebiet zu aktualisieren, und prüft erneut, ob das (aktualisierte) Referenzteilgebiet vollständig erkundet ist. Die Erkundung des Referenzteilgebiets wird fortgesetzt, bis dass die Prüfung ergibt, dass das Referenzteilgebiet vollständig erkundet ist. Anschließend wird der Roboter die Erkundungsfahrt in einem weiteren Teilgebiet fortsetzen, sofern ein weiteres Teilgebiet detektiert wurde, wobei das weitere Teilgebiet als Referenzteilgebiet verwendet wird.



Beschreibung

TECHNISCHES GEBIET

[0001] Die Beschreibung betrifft das Gebiet der autonomen mobilen Roboter, insbesondere Methoden zur Exploration einer für den autonomen mobilen Roboter noch unbekanntem Umgebung in einem Robotereinsatzgebiet.

HINERGRUND

[0002] Zahlreiche autonome mobile Roboter sind für verschiedenste private oder gewerbliche Anwendungen erhältlich, beispielsweise die Bearbeitung oder Reinigung von Bodenflächen, der Transport von Gegenständen oder die Inspektion einer Umgebung. Einfache Geräte kommen ohne die Erstellung und Nutzung einer Karte des Robotereinsatzgebietes aus, indem sie sich beispielsweise zufällig über eine zu reinigende Bodenfläche bewegen (vgl. z.B. Publikation EP 2287697 A2 von iRobot Corp.). Komplexe Roboter nutzen eine Karte des Robotereinsatzgebietes, welche sie selber erstellen oder in elektronischer Form zur Verfügung gestellt bekommen.

[0003] Bevor die Karte für eine Pfadplanung (und andere Zwecke) genutzt werden kann, muss der Roboter seine Umgebung in dem Robotereinsatzgebiet erkunden, um eine Karte zu erstellen. Es sind Methoden für die Exploration einer für den Roboter unbekanntem Umgebung bekannt. Beispielsweise können Techniken wie z.B. die „simultane Lokalisierung und Kartenerstellung“ (Simultaneous Localization and Mapping, SLAM) in einer Explorationsphase eines Robotereinsatzes verwendet werden. Die Erfinder haben sich die Aufgabe gestellt, den Vorgang der Exploration einer für den Roboter noch unbekanntem Umgebung innerhalb eines Robotereinsatzgebietes zu verbessern.

ZUSAMMENFASSUNG

[0004] Die oben genannte Aufgabe kann mit einem Verfahren gemäß Anspruch 1 oder 16 sowie mit einer Robotersteuerung gemäß Anspruch 19 gelöst werden. Unterschiedliche Ausführungsbeispiele und Weiterentwicklungen sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche.

[0005] Es wird ein Verfahren zur Erkundung eines Robotereinsatzgebietes durch einen autonomen mobilen Roboter beschrieben. Gemäß einem Ausführungsbeispiel umfasst das Verfahren das Starten einer Erkundungsfahrt, wobei der Roboter während der Erkundungsfahrt Objekte in seiner Umgebung detektiert und detektierte Objekte als Kartendaten in einer Karte speichert, während der Roboter sich durch das Robotereinsatzgebiet bewegt. Während der Erkundungsfahrt führt der Roboter Teilge-

bietsdetektion basierend auf den gespeicherten Kartendaten durch, wobei zumindest ein Referenzteilgebiet detektiert wird. Anschließend wird geprüft, ob das Referenzteilgebiet vollständig erkundet ist. Der Roboter wiederholt die Teilgebietsdetektion, um das Referenzteilgebiet zu aktualisieren, und prüft erneut, ob das (aktualisierte) Referenzteilgebiet vollständig erkundet ist. Die Erkundung des Referenzteilgebietes wird fortgesetzt, bis dass die Prüfung ergibt, dass das Referenzteilgebiet vollständig erkundet ist. Anschließend wird der Roboter die Erkundungsfahrt in einem weiteren Teilgebiet fortsetzen, sofern ein weiteres Teilgebiet detektiert wurde, wobei das weitere Teilgebiet als Referenzteilgebiet verwendet wird.

[0006] Gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel umfasst das Verfahren das Starten einer Erkundungsfahrt in einem ersten von mehreren Räumen des Robotereinsatzgebietes, welche durch Türdurchgänge verbunden sind. Während der Erkundungsfahrt detektiert der Roboter Objekte in seiner Umgebung und speichert detektierte Objekte als Kartendaten in einer Karte, während der Roboter sich durch das Robotereinsatzgebiet bewegt. Des Weiteren detektiert der Roboter während der Erkundungsfahrt einen oder mehrere Türdurchgänge und prüft, ob der erste Raum bereits vollständig erkundet ist. Die Erkundungsfahrt wird im ersten Raum fortgesetzt, bis dass die Prüfung ergibt, dass der erste Raum vollständig erkundet ist. Anschließend kann die Erkundungsfahrt in einem weiteren Raum fortgesetzt werden.

Figurenliste

[0007] Verschiedene Ausführungsbeispiele werden nachfolgend anhand von Abbildungen näher erläutert. Die Darstellungen sind nicht zwangsläufig maßstabsgetreu und die Erfindung beschränkt sich nicht nur auf die dargestellten Aspekte. Vielmehr wird Wert darauf gelegt, die zugrunde liegenden Prinzipien darzustellen. In den Abbildungen zeigt:

Fig. 1 illustriert einen autonomen mobilen Roboter in einem Robotereinsatzgebiet.

Fig. 2 illustriert anhand eines Blockdiagramms exemplarisch den Aufbau eines autonomen mobilen Roboters.

Fig. 3 zeigt eine von einem mobilen Roboter automatisiert erzeugte Karte seines Robotereinsatzgebietes (einer Wohnung) mit einer Vielzahl von Begrenzungslinien.

Fig. 4 zeigt exemplarisch das Ergebnis einer automatisierten Aufteilung des Robotereinsatzgebietes in Teilgebiete.

Fig. 5 illustriert anhand eines Flussdiagramms ein Beispiel eines Verfahrens zur vollständigen Exploration eines Robotereinsatzgebietes.

Fig. 6 illustriert die Kartierung von Hindernissen durch den Roboter.

Fig. 7 illustriert die Bewegung des Roboters durch ein zu erkundendes Einsatzgebiet.

Fig. 8-13 illustrieren schrittweise die Erkundung eines Robotereinsatzgebietes mit mehreren Zimmern.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG

[0008] **Fig. 1** illustriert exemplarisch einen Reinigungsroboter **100** als Beispiel für einen autonomen mobilen Roboter. Andere Beispiele für autonomen mobile Roboter sind u.a. Serviceroboter, Überwachungsroboter, Telepräsenzroboter, etc. Moderne autonome mobile Roboter navigieren kartenbasiert, d.h. sie verfügen über eine elektronische Karte des Robotereinsatzgebietes. In manchen Situationen hat der Roboter jedoch keine oder keine aktuelle Karte des Robotereinsatzgebietes und er muss seine (ihm unbekannt) Umgebung erkunden und kartieren. Dieser Prozess wird auch als „Exploration“ bezeichnet. Dabei detektiert der Roboter Hindernisse, während er sich durch das Robotereinsatzgebiet bewegt. In dem dargestellten Beispiel hat der Roboter **100** bereits Teile der Wände **W1** und **W2** eines Raumes erkannt. Verfahren zur Exploration der Umgebung eines autonomen mobilen Roboters sind an sich bekannt. Eine häufig eingesetzte Methode ist wie erwähnt SLAM.

[0009] Des Weiteren ist die Unterteilung der vom Roboter erstellten Karte in Teilgebiete an sich bekannt (vgl. z.B. DE 10 2010 017 689 A1). Dabei unterteilt der Roboter seine Karte anhand vorgegebener Kriterien wie z.B. mittels Sensoren detektierter Türrdurchgänge, detektierter Bodenbeläge, etc. Zweck der Unterteilung des Robotereinsatzgebietes in mehrere Teilgebiete ist es, die Möglichkeit zu schaffen unterschiedliche Gebiete (z.B. Zimmer einer Wohnung) individuell zu behandeln. Im Falle eines Reinigungsroboters können unterschiedliche Teilgebiete z.B. unterschiedlich häufig, unterschiedlich intensiv, zu definierten Uhrzeiten, mit bestimmten Werkzeugen oder Reinigungsmitteln, etc. gereinigt werden. Solange der Roboter seine Umgebung nicht (im Wesentlichen vollständig erkundet hat, ist eine endgültige Aufteilung der Karte in Teilgebiete jedoch noch nicht möglich. Es existieren verschieden Strategien zur Exploration eines Robotereinsatzgebiets. Beispiele hierfür sind zufälliges Fahren, Fahrten entlang von Hindernissen (um insbesondere die Außenkontur abzufahren) bis hin zu komplexen Verfahren, die einen nächsten Explorationspunkt bestimmen, den der Roboter anfahren kann und hierbei einen maximalen Explorationsgewinn macht (vgl. z.B. D. Lee: The Map-Building and Exploration Strategies of a Simple Sonar-Equipped Mobile Robot (Cambridge University Press, 1996)). Jedoch gibt es kein Verfahren, dass

die besonderen Gegebenheiten von Wohnumgebungen mit einzelnen Räumen berücksichtigt. Die Räume sind in der Regel durch Türrdurchgänge verbunden und somit klar voneinander abgegrenzt. Gleichzeitig kann ein Raum zumindest aus Sicht des Roboters auf Grund der Einrichtung (Hindernisse) sehr komplex sein. Dies führt dazu, dass bei übliche Strategien zur Exploration der Roboter sehr oft zwischen den Räumen hin und her fährt, was viel Zeit und Energie kostet. Die zugrundeliegende Idee der Erfindung ist, einen Raum vollständig zu erkunden (zu explorieren) bevor der Roboter in den nächsten Raum wechselt. Hierzu führt der Roboter während der Exploration eine Aufteilung der Karte in Teilgebiete aus, um beispielsweise einen Raum als sinnvolles Teilgebiet zu erkennen. Der Roboter kann dieses Teilgebiet erkunden und feststellen, wann dieses Teilgebiet (und somit der Raum) vollständig erkundet ist.

[0010] Bevor auf die Exploration der Umgebung des Roboters genauer eingegangen wird, soll zunächst der Aufbau eines autonomen mobilen Roboters kurz beschrieben werden. **Fig. 2** zeigt beispielhaft anhand eines Blockdiagramms verschiedene Einheiten (Module) eines autonomen mobilen Roboters **100**. Eine Einheit bzw. ein Modul kann dabei eine eigenständige Baugruppe oder ein Teil einer Software zur Steuerung des Roboters sein. Eine Einheit kann mehrere Untereinheiten aufweisen. Die für das Verhalten des Roboters **100** zuständige Software kann von der Steuereinheit **150** des Roboters **100** ausgeführt werden. In dem dargestellten Beispiel beinhaltet die Steuereinheit **150** einen Prozessor **155**, der dazu ausgebildet ist, in einem Speicher **156** enthaltene Software-Instruktionen auszuführen. Einige Funktionen der Steuereinheit **150** können zumindest teilweise auch mit Hilfe eines externen Rechners durchgeführt werden. Das heißt, die von der Steuereinheit **150** benötigte Rechenleistung kann zumindest teilweise auf einen externen Rechner ausgelagert sein, welcher beispielsweise über ein Heimnetzwerk oder über das Internet (Cloud) erreichbar sein kann.

[0011] Der autonome mobile Roboter **100** umfasst eine Antriebseinheit **170**, welche beispielsweise Elektromotoren, Getriebe und Räder aufweisen kann, wodurch der Roboter **100** - zumindest theoretisch - jeden Punkt eines Einsatzgebiets anfahren kann. Die Antriebseinheit **170** ist dazu ausgebildet, von der Steuereinheit **150** empfangene Kommandos oder Signale in eine Bewegung des Roboters **100** umzusetzen

[0012] Der autonome mobile Roboter **100** umfasst des Weiteren eine Kommunikationseinheit **140**, um eine Kommunikationsverbindung **145** zu einer Mensch-Maschine-Schnittstelle (HMI) **200** und/oder anderen externen Geräten **300** herzustellen. Die Kommunikationsverbindung **145** ist beispielsweise eine direkte drahtlose Verbindung (z. B. Bluetooth),

eine lokale drahtlose Netzwerkverbindung (z. B. WLAN oder ZigBee) oder eine Internetverbindung (z. B. zu einem Cloud-Service). Die Mensch-Maschine-Schnittstelle **200** kann einem Nutzer Informationen über den autonomen mobilen Roboter **100** beispielsweise in visueller oder auch akustischer Form ausgeben (z. B. Batteriestatus, aktueller Arbeitsauftrag, Karteninformationen wie eine Reinigungskarte, etc.) und Nutzerkommandos für einen Arbeitsauftrag des autonomen mobilen Roboters **100** entgegennehmen. Beispiele für eine HMI **200** sind Tablet-PC, Smartphone, Smartwatch und andere Wearables, Computer, Smart-TV, oder Head-Mounted Displays, usw. Eine HMI **200** kann zusätzlich oder alternativ direkt in den Roboter integriert sein, wodurch der Roboter **100** beispielsweise über Tasten, Gesten und/oder Sprach-ein- und -ausgabe bedient werden kann.

[0013] Beispiele für externe Geräte **300** sind Computer und Server, auf denen Berechnungen und/oder Daten ausgelagert werden, externe Sensoren, die zusätzliche Informationen liefern, oder andere Haushaltsgeräte (z.B. andere autonome mobile Roboter), mit denen der autonome mobile Roboter **100** zusammenarbeiten und/oder Informationen austauschen kann.

[0014] Der autonome mobile Roboter **100** kann eine Arbeitseinheit **160** aufweisen, wie beispielsweise eine Bearbeitungseinheit zur Bearbeitung einer Bodenfläche und insbesondere zur Reinigung einer Bodenfläche (z. B. Bürste, Saugvorrichtung) oder ein Greifarm zum Fassen und Transportieren von Gegenständen.

[0015] In einigen Fällen wie beispielsweise bei einem Telepräsenz-Roboter oder einem Überwachungsroboter wird eine andere Baueinheit zur Erfüllung der vorgesehenen Aufgaben genutzt und es ist keine Arbeitseinheit **160** notwendig. So kann ein Telepräsenz-Roboter eine mit der HMI gekoppelte Kommunikationseinheit **140** aufweisen, die beispielsweise mit einer Multimediaeinheit ausgestattet sein kann, welche z.B. Mikrofon, Kamera und Bildschirm umfasst, um die Kommunikation zwischen mehreren räumlich weit entfernten Personen zu ermöglichen. Ein Überwachungsroboter ermittelt auf Kontrollfahrten mit Hilfe seiner Sensoren ungewöhnliche Ereignisse (z. B. Feuer, Licht, unautorisierte Personen, etc.) und informiert beispielsweise eine Kontrollstelle hierüber. In diesem Fall ist statt der Arbeitseinheit **160** eine Überwachungseinheit mit Sensoren zur Überwachung des Robotereinsatzgebietes vorgesehen.

[0016] Der autonome mobile Roboter **100** umfasst eine Sensoreinheit **120** mit verschiedenen Sensoren, beispielsweise einen oder mehrere Sensoren zur Erfassung von Informationen über die Umgebung (environment) des Roboters in seinem Einsatzgebiet, wie z.B. die Position und Ausdehnung von Hindernis-

sen oder anderen Landmarken (landmarks) im Einsatzgebiet. Sensoren zur Erfassung von Informationen über die Umgebung sind beispielsweise Sensoren zur Messung von Abständen zu Objekten (z.B. Wänden oder anderen Hindernissen, etc.) in der Umgebung des Roboters wie beispielsweise einen optischen und/oder akustischen Sensor, der mittels Triangulation oder Laufzeitmessung eines ausgesandten Signals Abstände messen kann (Triangulations-sensor, 3D-Kamera, Laserscanner, Ultraschallsensoren, etc.). Alternativ oder zusätzlich kann eine Kamera genutzt werden, um Informationen über die Umgebung zu sammeln. Insbesondere bei Betrachtung eines Objekts von zwei oder mehr Positionen aus, kann ebenfalls die Position und Ausdehnung eines Objekts bestimmt werden.

[0017] Zusätzlich kann der Roboter Sensoren besitzen, um einen (zumeist unbeabsichtigten) Kontakt (bzw. Kollision) mit einem Hindernis zu detektieren. Dies kann durch Beschleunigungsmesser (die z.B. die Geschwindigkeitsänderung des Roboters bei einer Kollision detektieren), Kontaktschalter, kapazitive Sensoren oder andere taktile bzw. berührungsempfindliche Sensoren realisiert werden. Zusätzlich kann der Roboter Bodensensoren besitzen, um eine Kante im Boden, beispielsweise einer Treppenstufe, zu erkennen. Weitere übliche Sensoren im Bereich autonomer mobiler Roboter sind Sensoren zur Bestimmung der Geschwindigkeit und/oder des zurückgelegten Weges des Roboters wie z.B. Odometer bzw. Inertialsensoren (Beschleunigungssensor, Drehratensensor) zur Bestimmung von Lage- und Bewegungsänderung des Roboters sowie Radkontaktschalter, um einen Kontakt zwischen Rad und Boden zu detektieren.

[0018] Der autonome mobile Roboter **100** kann einer Basisstation **110** zugeordnet sein, an welcher er beispielsweise seine Energiespeicher (Batterien) laden kann. Zu dieser Basisstation **110** kann der Roboter **100** nach Abschluss einer Aufgabe zurückkehren. Wenn der Roboter keine Aufgabe mehr zu bearbeiten hat, kann er in der Basisstation **110** auf einen neuen Einsatz warten.

[0019] Die Steuereinheit **150** kann dazu ausgebildet sein, alle Funktionen bereit zu stellen, die der Roboter benötigt, um sich selbstständig in seinem Einsatzgebiet zu bewegen und eine Aufgabe zu verrichten. Hierzu umfasst die Steuereinheit **150** beispielsweise den Prozessor **155** und das Speichermodul **156**, um eine Software auszuführen. Die Steuereinheit **150** kann basierend auf den von der Sensoreinheit **120** und der Kommunikationseinheit **140** erhaltenen Informationen Steuerkommandos (z. B. Steuersignale) für die Arbeitseinheit **160** und die Antriebseinheit **170** erzeugen. Die Antriebseinheit **170** kann wie bereits erwähnt diese Steuersignale bzw. Steuerkommandos in eine Bewegung des Roboters umsetzen.

Auch die in dem Speicher **156** enthaltene Software kann modular ausgebildet sein. Ein Navigationsmodul **152** stellt beispielsweise Funktionen zum automatischen Erstellen einer Karte des Robotereinsatzgebietes, sowie zur Bewegungsplanung des Roboters **100** bereit. Das Steuermodul **151** stellt z.B. allgemeine (globale) Steuerfunktionen bereit und kann eine Schnittstelle zwischen den einzelnen Modulen bilden.

[0020] Damit der Roboter autonom eine Aufgabe (task) verrichten kann, kann die Steuereinheit **150** Funktionen zur Navigation des Roboters in seinem Einsatzgebiet umfassen, die von dem oben erwähnten Navigationsmodul **152** bereitgestellt werden. Diese Funktionen sind an sich bekannt und können unter anderem eine der folgenden umfassen:

- das Erstellen von (elektronischen) Karten durch Sammeln von Informationen über die Umgebung mit Hilfe der Sensoreinheit **120**, beispielsweise aber nicht ausschließlich mittels SLAM-Verfahren,
- das Management von einer oder mehreren Karten zu einem oder mehreren den Karten zugeordneten Einsatzgebieten des Roboters,
- das Bestimmen der Position und Orientierung (Pose) des Roboters in einer Karte basierend auf den mit den Sensoren der Sensoreinheit **120** ermittelten Informationen der Umgebung,
- eine kartenbasierte Pfadplanung (Trajektorienplanung) von einer aktuellen Pose des Roboters (Startpunkt) zu einem Zielpunkt,
- ein Konturfolgemodus, in dem der Roboter (**100**) sich entlang der Kontur eines oder mehrerer Hindernisse (z.B. einer Wand) in einem im Wesentlichen konstanten Abstand d zur dieser Kontur bewegt,
- eine Teilgebietserkennung, bei der die Karte analysiert und in Teilgebiete zerlegt wird, wobei beispielsweise Raumgrenzen wie Wände und Türdurchgänge identifiziert werden, wodurch die Teilgebiete die Räume einer Wohnung und/oder sinnvolle Teilbereiche dieser Räume beschreiben.

[0021] Die Steuereinheit **150** kann mit Hilfe des Navigationsmoduls **152** und basierend auf den Informationen der Sensoreinheit **120** beispielsweise während des Betriebs des Roboters laufend eine Karte des Robotereinsatzgebietes aktualisieren z.B. wenn die Umgebung des Roboters sich verändert (Hindernis wird verschoben, Tür wird geöffnet, etc.). Eine aktuelle Karte kann dann von der Steuereinheit **150** zur kurz- und/oder langfristigen Bewegungsplanung für den Roboter verwendet werden. Als Planungshorizont wird jener Weg bezeichnet, den die Steuereinheit **150** eine (Soll-) Bewegung des Roboters vorher-

berechnet, bevor diese tatsächlich ausgeführt wird. Die hier beschriebenen Ausführungsbeispiele betreffen unter anderem verschiedene Ansätze und Strategien für die Bewegungsplanung in bestimmten Situationen, z.B. in Situationen, in denen bestimmte Manöver durch Hindernisse blockiert sind und daher nicht durchgeführt werden können.

[0022] Im Allgemeinen ist eine vom Roboter **100** verwendbare (elektronische) Karte eine Sammlung von Kartendaten (z.B. eine Datenbank) zur Speicherung von ortsbezogenen Informationen über ein Einsatzgebiet des Roboters und die für den Roboter relevante Umgebung in diesem Einsatzgebiet. In diesem Zusammenhang bedeutet „ortsbezogen“, dass die gespeicherten Informationen jeweils einer Position oder einer Pose in einer Karte zugeordnet sind. Eine Karte repräsentiert also eine Vielzahl von Datensätzen mit Kartendaten, und die Kartendaten können beliebige ortsbezogene Informationen enthalten. Hierbei können die ortsbezogenen Informationen in unterschiedlichen Detail- und Abstraktionsgrad gespeichert sein, wobei dieser an eine spezifische Funktion angepasst sein kann. Insbesondere können einzelne Informationen redundant gespeichert sein. Häufig wird eine Zusammenstellung mehrerer Karten, die das gleiche Gebiet betreffen, jedoch in unterschiedlicher Form (Datenstruktur) gespeichert sind, ebenfalls als „eine Karte“ bezeichnet.

[0023] Ein technisches Gerät ist für einen menschlichen Nutzer im täglichen Leben am nützlichsten, wenn einerseits das Verhalten des Geräts für den Nutzer nachvollziehbar und verständlich ist und andererseits die Bedienung intuitiv möglich ist. Es ist in der Regel wünschenswert, dass ein autonomer mobiler Roboter (z.B. ein Bodenreinigungsroboter) ein für einen menschlichen Nutzer intuitiv nachvollziehbares und praktisches Verhalten an den Tag legt. Dazu muss der Roboter sein Einsatzgebiet durch technische Verfahren ähnlich interpretieren und in Teilgebiete aufteilen wie dies ein menschlicher Nutzer tun würde (z.B. Wohnzimmer, Schlafzimmer, Flur, Küche, Essbereich, etc.). Dies ermöglicht eine einfache Kommunikation zwischen Nutzer und Roboter, beispielsweise in Form einfacher Kommandos an den Roboter (z.B. „Reinige das Schlafzimmer“) und/oder in Form von Benachrichtigungen an den Nutzer (z.B. „Reinigung des Schlafzimmers abgeschlossen“). Darüber hinaus können die erwähnten Teilgebiete für die Anzeige einer Karte des Robotereinsatzgebietes und die Bedienung des Roboters mittels dieser Karte genutzt werden.

[0024] Nun kann eine Aufteilung des Robotereinsatzgebietes in Teilgebiete durch einen Nutzer zum Einen nach anerkannten Konvention und zum Anderen nach persönlichen Vorlieben (und somit benutzerspezifisch, z.B. Essbereich, Kinderspielecke, etc.) vorgenommen werden. Ein Beispiel einer be-

kannten Konvention ist die Unterteilung einer Wohnung in verschiedene Zimmer wie z.B. Schlafzimmer, Wohnzimmer und Flur. Gemäß einer beispielhaften benutzerspezifischen Unterteilung könnte ein Wohnzimmer z.B. in einen Kochbereich, eine Essecke oder Bereiche vor und neben dem Sofa eingeteilt werden. Die Grenzen zwischen diesen Bereichen können mitunter sehr „unscharf“ definiert sein und unterliegen im Allgemeinen der Interpretation des Nutzers. Ein Kochbereich könnte beispielsweise durch einen Fliesenboden gekennzeichnet sein, während der Essbereich lediglich durch die Anwesenheit eines Tisches mit Stühlen gekennzeichnet ist. Die Anpassung an den menschlichen Nutzer kann für einen Roboter eine sehr schwierige Aufgabe sein und häufig kann eine Roboter-Nutzer-Interaktion notwendig sein, um die Aufteilung des Robotereinsatzgebietes korrekt vorzunehmen. Um diese Roboter-Nutzer-Interaktion einfach und verständlich zu gestalten müssen die Kartendaten und die bereits automatisch vorgenommene Aufteilung vom Gerät interpretiert und aufbereitet werden. Des Weiteren erwartet sich der menschliche Nutzer ein an die vorgenommene Aufteilung angepasstes Verhalten des autonomen mobilen Roboters. Deshalb kann es gewünscht sein, dass die Teilgebiete vom Benutzer oder automatisch durch den Roboter mit Attributen versehen werden können, die das Verhalten des Roboters beeinflussen.

[0025] Eine technische Voraussetzung hierfür ist, dass der autonome mobile Roboter eine Karte seines Einsatzgebietes besitzt, um sich in diesem anhand der Karte zu orientieren. Diese Karte wird beispielsweise von dem Roboter selbsttätig aufgebaut und permanent gespeichert. Um das Ziel einer für den Nutzer intuitiven Aufteilung des Robotereinsatzgebietes zu erreichen, werden technische Verfahren benötigt, die (1) selbsttätig eine Aufteilung der Karte des Robotereinsatzgebietes wie beispielsweise einer Wohnung nach vorgegebenen Regeln vornehmen, (2) eine einfache Interaktion mit dem Benutzer zulassen, um sich den a-priori nicht bekannten Benutzerwünschen bei der Aufteilung anzupassen, (3) die automatisch generierte Aufteilung vorverarbeiten, um sie dem Benutzer einfach und verständlich in einer Karte darzustellen, und (4) aus der so erstellten Aufteilung möglichst selbsttätig gewisse Eigenschaften ableiten können, die geeignet sind, ein vom Nutzer erwartetes Verhalten zu erreichen.

[0026] Fig. 3 zeigt eine mögliche Darstellung einer Karte eines Robotereinsatzgebietes, wie sie vom Roboter, z.B. mittels Sensoren und eines SLAM-Algorithmus aufgebaut wird. Beispielsweise misst der Roboter mittels eines Abstandssensors den Abstand zu Hindernissen (z.B. eine Wand, ein Möbelstück, eine Tür, etc.) und berechnet aus den Messdaten (üblicherweise eine Punktwolke) Liniensegmente, welche die Grenzen seines Einsatzgebietes definieren. Das Einsatzgebiet des Roboters kann beispielswei-

se durch eine geschlossene Kette von Liniensegmenten (meist ein konkaver, einfacher Polygonzug) definiert werden, wobei jedes Liniensegment einen Startpunkt, einen Endpunkt und folglich auch eine Richtung aufweist. Die Richtung des Liniensegmentes zeigt an, welche Seite des Liniensegmentes ins Innere des Einsatzgebietes zeigt, bzw. von welcher Seite der Roboter das Hindernis, welches durch ein bestimmtes Liniensegment angezeigt wird, „gesehen“ hat. Das in Fig. 3 dargestellte Polygon beschreibt für den Roboter das Einsatzgebiet vollständig, ist jedoch für eine Roboter-Nutzer-Kommunikation nur sehr schlecht geeignet. Ein menschlicher Nutzer wird unter Umständen Schwierigkeiten haben, seine eigene Wohnung wiederzuerkennen und sich darin zu orientieren. Eine Alternative zu der genannten Kette von Liniensegmenten ist eine Rasterkarte, bei der ein Raster von z.B. 10×10cm über das Robotereinsatzgebiet gelegt wird, und jede Zelle (d.h. 10×10cm-Box) markiert wird, sofern Sie von einem Hindernis belegt ist. Auch solche Rasterkarten sind für einen menschlichen Nutzer nur schwer interpretierbar.

[0027] Nicht nur um die Interaktion mit einem menschlichen Nutzer zu vereinfachen, sondern auch, um das Einsatzgebiet in (aus Sicht des Nutzers) sinnvollerweise „abzuarbeiten“ soll der Roboter zunächst automatisiert sein Robotereinsatzgebiet in Teilgebiete unterteilen (also eine Teilgebietsdetektion durchführen). Eine solche Unterteilung in Teilgebiete ermöglicht dem Roboter, seine Aufgabe in seinem Einsatzgebiet leichter, systematischer, differenzierter, (aus Sicht des Nutzers) „logischer“, etc. auszuführen und die Interaktion mit dem Nutzer zu verbessern. Um eine sinnvolle Unterteilung zu erhalten, muss der Roboter verschiedene Sensordaten gegeneinander abwägen. Insbesondere kann er Informationen über die Befahrbarkeit (schwierig/leicht) eines Bereichs seines Einsatzgebietes nutzen, um ein Teilgebiet zu definieren. Des Weiteren kann der Roboter von der (widerlegbaren) Annahme ausgehen, dass Räume in der Regel rechteckig sind. Der Roboter kann lernen, dass einige Änderungen der Aufteilung zu sinnvolleren Ergebnissen führt (so dass z.B. bestimmte Hindernisse mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit in einem bestimmten Teilgebiet liegen).

[0028] Wie in Fig. 3 dargestellt, ist ein Roboter üblicherweise in der Lage, Hindernisse mittels Sensoren (z.B. Laser-Abstandssensoren, Triangulations-Sensoren, Ultraschall-Abstandssensoren, Kollisionssensoren oder eine Kombination der genannten) zu erkennen und die Grenzen seines Einsatzgebietes in Form von Begrenzungslinien in einer Karte einzuzichnen. Allerdings ermöglicht die beschränkte Sensorik eines Roboters im Allgemeinen kein eindeutiges Erkennen einer für einen menschlichen Nutzer selbstverständlichen Unterteilung des Einsatzgebietes in unterschiedliche Räume (z.B. Schlafzimmer, Wohnzimmer, Flur, etc). Selbst die Entscheidung, ob

die in der Karte enthaltenen Begrenzungslinien (beispielsweise die Linie zwischen den Punkten J und K in **Fig. 3**) zu einer Wand oder zu einem Möbelstück gehören, ist nicht ohne weiteres automatisiert möglich. Auch die „Grenze“ zwischen zwei Räumen ist für einen Roboter nicht ohne weiteres erkennbar.

[0029] Um die erwähnten Probleme zu lösen und eine Unterteilung des Robotereinsatzgebietes in unterschiedliche Teilgebiete (z.B. Zimmer) automatisiert zu ermöglichen, stellt der Roboter basierend auf den Sensordaten „Hypothesen“ betreffend die Umgebung des Roboters auf, welche mittels unterschiedlicher Verfahren getestet werden. Kann eine Hypothese falsifiziert werden, wird sie verworfen. Sind zwei Begrenzungslinien (z.B. die Linien A-A' und O-O' in **Fig. 3**) annähernd parallel und in einem Abstand, der der üblichen lichten Breite (hierfür gibt es standardisierte Größen) eines Türdurchgangs entspricht, kann der Roboter die Hypothese „Türdurchgang“ aufstellen und daraus schließen, dass dieser zwei unterschiedliche Zimmer trennt. Im einfachsten Fall kann eine automatisiert aufgestellte Hypothese getestet werden, indem der Roboter den Nutzer „befragt“, d.h. Feedback des Nutzers einfordert. Der Nutzer kann die Hypothese dann entweder bestätigen oder verwerfen. Eine Hypothese kann jedoch automatisiert getestet werden, in dem die aus der Hypothese resultierenden Schlussfolgerungen im Hinblick auf Ihre Plausibilität geprüft werden. Wenn die vom Roboter erkannten Räume (z.B. mittels Erkennung der Türschwelle) einen zentralen Raum umfassen, der z.B. kleiner ist als ein Quadratmeter, ist die Hypothese, die letztendlich zu diesem kleinen zentralen Raum geführt hat, wahrscheinlich falsch. Ein weiterer automatisierter Test kann darin bestehen, zu prüfen, ob sich die aus zwei Hypothesen abgeleiteten Schlussfolgerungen widersprechen oder nicht. Wenn beispielsweise sechs Hypothesen betreffend eine Tür aufgestellt werden können und nur bei fünf vermeintlichen Türen kann der Roboter eine Türschwelle (eine kleine Stufe) detektieren, so kann dies ein Indiz dafür sein, dass die Hypothese betreffend die Tür ohne Türschwelle falsch ist.

[0030] Bei der Erstellung einer Hypothese durch den Roboter werden verschiedenen Sensormessungen kombiniert. Für einen Türdurchgang sind dies beispielsweise die Durchgangsbreite, Durchgangstiefe (gegeben durch Wanddicke), die Existenz einer Wand rechts und links des Durchgangs oder eine in den Raum ragende Tür. Diese Informationen können beispielsweise mit einem Abstandssensor durch den Roboter ermittelt werden. Mittels eines Beschleunigungssensors oder eines Lagesensors (z.B. ein gyroskopischer Sensor) kann eine möglicherweise vorhandene Türschwelle, welche der Roboter überfährt, detektiert werden. Durch Bildverarbeitung und eine Vermessung der Deckenhöhe können zusätzliche Informationen ermittelt werden.

[0031] Ein weiteres Beispiel für eine mögliche Hypothese ist der Verlauf von Wänden im Robotereinsatzgebiet. Diese sind unter anderem durch zwei parallele Linien gekennzeichnet, welche einen Abstand einer typischen Wanddicke (siehe **Fig. 3**, Dicke dw) haben und vom Roboter aus zwei entgegengesetzten Richtungen gesehen wurden (z.B. die Linien K-L und L'-K' in **Fig. 3**). Vor einer Wand können jedoch weitere Objekte (Hindernisse) wie beispielsweise Schränke, Regale, Blumentöpfe, etc., stehen, welche ebenfalls mit Hilfe von Hypothesen identifiziert werden können. Eine Hypothese kann auch auf einer anderen Hypothese beruhen. So ist beispielsweise eine Tür eine Unterbrechung einer Wand. Wenn also eine zuverlässige Hypothese über den Verlauf von Wänden im Einsatzgebiet des Roboters gemacht werden können, so können diese das Erkennen von Türen und somit die automatisierte Unterteilung des Robotereinsatzgebietes erleichtern.

[0032] Um Hypothesen zu testen und zu bewerten, kann ihnen ein Maß an Plausibilität zugeordnet werden. In einem einfachen Ausführungsbeispiel wird einer Hypothese für jede bestätigende Sensormessung ein vordefinierter Punktwert gutgeschrieben. Wenn auf diese Weise eine bestimmte Hypothese eine Mindestpunktzahl erreicht, so wird sie als plausibel angesehen. Eine negative Punktzahl könnte zum Verwerfen der Hypothese führen. In einem weiter entwickelten Ausführungsbeispiel wird einer bestimmten Hypothese eine Wahrscheinlichkeit für ihr Zutreffen zugeordnet. Dies erfordert ein Wahrscheinlichkeitsmodell, welches Korrelationen zwischen verschiedenen Sensormessungen berücksichtigt, ermöglicht aber auch komplexe Wahrscheinlichkeitsaussagen mit Hilfe stochastischer Rechenmodelle und somit eine verlässlichere Vorhersage der Erwartungen des Benutzers. Beispielsweise können in gewissen Regionen (z.B. Ländern), in denen der Roboter zum Einsatz kommt, die Türbreiten standardisiert sein. Misst der Roboter eine solche standardisierte Breite, handelt es sich mit hoher Wahrscheinlichkeit um eine Tür. Abweichungen von den Standardbreiten reduzieren die Wahrscheinlichkeit, dass es sich um eine Tür handelt. Hierfür kann beispielsweise ein Wahrscheinlichkeitsmodell basierend auf einer Normalverteilung verwendet werden. Eine weitere Möglichkeit zur Erstellung und Bewertung von Hypothesen ist die Nutzung von „maschinellern Lernen“, um geeignete Modelle und Maßfunktionen zu erstellen (siehe z.B. Trevor Hastie, Robert Tibshirani, Jerome Friedman: „The Elements of Statistical Learning“, 2. Auflage. Springer-Verlag, 2008). Hierzu werden beispielsweise Kartendaten in verschiedenen Wohnumgebungen durch einen oder mehr Roboter aufgenommen. Diese können dann mit Grundrissen oder durch einen Nutzer eingegebene Daten (z.B. betreffend den Verlauf von Wänden oder Türdurchgängen oder über eine gewünschte Aufteilung) ergänzt werden und von einem Lern-Algorithmus ausgewertet werden.

[0033] Eine weitere Methode, die alternativ oder zusätzlich zu der Verwendung der oben erläuterten Hypothesen verwendet werden kann, ist die Unterteilung eines Robotereinsatzgebietes (z.B. eine Wohnung) in mehrere rechteckige Bereiche (z.B. Zimmer). Dieser Ansatz basiert auf der Annahme, dass Zimmer in der Regel rechteckig sind oder aus mehreren Rechtecken zusammengesetzt werden können. In einer von einem Roboter erstellten Karte ist diese rechteckige Form der Zimmer im Allgemeinen nicht zu erkennen, da in den Zimmern zahlreiche Hindernisse mit komplexen Begrenzungen wie z.B. Möbel das Einsatzgebiet des Roboters einschränken.

[0034] Basierend auf der Annahme rechteckiger Zimmer wird das Robotereinsatzgebiet mit Rechtecken unterschiedlicher Größe überdeckt, welche die Zimmer wiedergeben sollen. Insbesondere werden die Rechtecke so gewählt, dass jedem für den Roboter zugänglichen Punkt in der Karte des Robotereinsatzgebietes eindeutig ein Rechteck zugeordnet werden kann. Das heißt, die Rechtecke überlappen sich in der Regel nicht. Dabei wird nicht ausgeschlossen, dass ein Rechteck Punkte enthält, die für den Roboter nicht zugänglich sind (z.B. weil Möbel die Zugänglichkeit ausschließen). Das durch die Rechtecke beschriebene Gebiet kann also größer und von geometrisch einfacherer Gestalt sein als das tatsächliche Robotereinsatzgebiet. Um die Orientierung und Größe der einzelnen Rechtecke zu bestimmen, werden beispielsweise lange gerade Begrenzungslinien in der Karte des Robotereinsatzgebietes genutzt, wie sie z.B. entlang von Wänden auftreten (siehe z.B. **Fig. 3**, Gerade durch die Punkte L' und K', Gerade durch die Punkte P und P' sowie P'' und P'''). Zur Auswahl der zu verwendenden Begrenzungslinien werden verschiedene Kriterien verwendet. Ein Kriterium kann z.B. sein, dass die betreffenden Begrenzungslinien zu einer Vielzahl anderer Begrenzungslinien annähernd parallel oder orthogonal sind. Ein weiteres Kriterium kann sein, dass die betreffenden Begrenzungslinien annähernd auf einer Geraden liegen und/oder vergleichsweise (d.h. in der Größenordnung der Außenabmessungen des Robotereinsatzgebietes) lang sind. Andere Kriterien zur Wahl der Orientierung und Größe der Rechtecke sind beispielsweise erkannte Türdurchgänge oder Bodenbelagsgrenzen. Diese und andere Kriterien können zu ihrer Beurteilung in eine oder in mehreren Bewertungsfunktionen (analog zu dem Maß an Plausibilität einer Hypothese, z.B. dem Zuordnen eines Punktwertes für eine Hypothese) verwendet werden, um die konkrete Form und Lage der Rechtecke zu ermitteln. Beispielsweise werden den Begrenzungslinien Punkte für erfüllte Kriterien gegeben. Die Begrenzungslinie mit dem höchsten Punktwert wird als Grenze zwischen zwei Rechtecken genutzt.

[0035] Basierend auf der Annahme, dass Räume im Wesentlichen rechteckig sind, kann der Roboter aus

der Karte der Begrenzungslinien (siehe **Fig. 3**) die äußersten Begrenzungslinien zu einem rechtwinkligen Polygon (rectilinear polygon) vervollständigen. Ein mögliches Ergebnis einer Unterteilung einer Karte in Teilgebiete ist exemplarisch in **Fig. 4** dargestellt. Demnach wurde die Wohnung in verschiedene Zimmer unterteilt (z.B. Schlafzimmer **10** mit Bett, Flur **20**, Wohnzimmer mit offenem Küchenbereich **30**). Die Unterteilung der Wohnung in Teilgebiete **10**, **20**, **30** (Zimmer) wurde z.B. aufgrund detektierter Türdurchgänge vorgenommen. Von dem Teilgebiet **30** (Wohnzimmer mit offenem Küchenbereich) wurde basierend auf erkannten Bodenbelägen weiter die Teilgebiete **31** (Küchenbereich, gefliester Boden) und **32** (Teppichboden) abgeteilt (der verbleibende Teilgebiet **30** hat z.B. einen Parkettboden).

[0036] Wie bereits erwähnt wird in der Regel eine im Wesentlichen vollständige Karte des Robotereinsatzgebietes benötigt, bevor der Roboter eine sinnvolle automatische Unterteilung einer Karte in Teilgebiete (z.B. Zimmer) vornehmen kann. Bis dahin bewegt sich der Roboter durch das Roboter Einsatzgebiet, ohne Teilgebietsgrenzen beachten zu können. Dies kann zu ineffizienten und für einem Nutzer schwer nachvollziehbaren Verhalten des Roboters in der „Explorationsphase“ führen. Beispielsweise passiert der Roboter einen Türdurchgang und kommt in einen weiteren Raum bevor er einen Raum vollständig erkundet hat, was dazu führen kann, dass der Roboter durch einen großen Teil des Robotereinsatzgebietes (z.B. einer Wohnung) gefahren ist, und dennoch an unterschiedlichen Stellen der Wohnung (in unterschiedlichen Zimmern) „weiße Flecken“ in der Karte bleiben. Der Roboter muss schließlich diese „weißen Flecken“ in der Karte einzeln anfahren, um diese zu erkunden und eine vollständige Karte zu erhalten. Die hier beschriebenen Ausführungsbeispiele betreffen unter anderem ein Verfahren, welches zumindest in einigen Situationen die erwähnte Explorationsphase effizienter gestaltet das Verhalten des Roboters in dieser Explorationsphase für einen Nutzer „logischer“ erscheinen lässt.

[0037] **Fig. 5** illustriert ein exemplarisches Beispiel eines Verfahrens zur Erkundung eines Robotereinsatzgebietes durch einen autonomen mobile Roboter (vgl. **Fig. 1**, Roboter **100**). Eine Erkundungsfahrt kann an einem beliebigen Punkt im Robotereinsatzgebiet gestartet werden (**Fig. 5**, Schritt **S10**), und während der Erkundungsfahrt bewegt sich der Roboter durch das Robotereinsatzgebiet. Der Roboter hat am Anfang der Erkundungsfahrt keine oder nur sehr wenige Informationen über seine Umgebung. Die (elektronische) Karte des Roboters wird neu erstellt und ist somit mit Beginn der Erkundung praktisch leer. Der Roboter **100** führt während der Erkundungsfahrt laufend Messungen durch (**Fig. 5**, Schritt **S11**), um Objekte (z.B. Hindernisse, allgemein auch als Navigationsfeatures bezeichnet) in seiner Umgebung zu de-

tektieren, und speichert detektierte Objekte als Kartendaten in einer Karte. Beispielsweise werden Wände und andere Hindernisse (z.B. Möbel und andere Gegenstände) detektiert und deren Position und Lage in der Karte gespeichert. Die für die Detektion verwendete Sensorik ist an sich bekannt und kann in einer Sensoreinheit **120** des Roboters **100** enthalten sein (vgl. **Fig. 2**). Für die Detektion notwendige Berechnungen können von einem in der Steuereinheit **150** (vgl. **Fig. 2**) des Roboters **100** enthaltenen Prozessor durchgeführt werden.

[0038] Während der Erkundungsfahrt führt der Roboter **100** basierend auf den aktuellen Kartendaten eine Teilgebietsdetektion durch (siehe **Fig. 5**, Schritt **S12**), wobei zumindest ein Referenzteilgebiet detektiert wird (z.B. ein Teil des Robotereinsatzgebietes, in dem der Roboter sich aktuell befindet). Des Weiteren wird geprüft, ob das Referenzteilgebiet vollständig erkundet ist (siehe **Fig. 5**, Schritt **S13**). Solange das nicht der Fall ist, erkundet der Roboter weiter (nur) das Referenzteilgebiet (siehe **Fig. 5**, Schritt **S14**), indem laufend Messungen durchgeführt werden, um Objekte in der Umgebung des Roboters zu detektieren und detektierte Objekte in der Karte zu speichern. Die Teilgebietsdetektion wird fortlaufend und/oder nach vorgebbaren Regeln wiederholt, um die Festlegung des Referenzteilgebietes zu aktualisieren. Anschließend prüft der Roboter erneut, ob das (aktualisierte) Referenzteilgebiet vollständig erkundet ist (zurück zu Schritt **S13**). Sobald die Prüfung ergibt, dass das (aktualisierte) Referenzteilgebiet vollständig erkundet ist, wird weiter geprüft, ob das Robotereinsatzgebiet schon vollständig erkundet ist (siehe **Fig. 5**, Schritt **S15**). Beispielsweise kann der Roboter bei einer Teilgebietsdetektion ein weiteres Teilgebiet detektiert haben, das noch nicht erkundet wurde. Daraus kann der Roboter schließen, dass die Erkundung des Robotereinsatzgebietes noch nicht vollständig ist und die Erkundung in einem anderen Teilgebiet fortsetzen (**Fig. 5**, Schritt **S16**), welches dann zum Referenzteilgebiet wird. Wenn der Roboter kein weiteres Teilgebiet mehr detektieren kann, welches noch nicht erkundet wurde, ist die Erkundung des Robotereinsatzgebietes abgeschlossen.

[0039] Zur Aktualisierung des Referenzteilgebietes können bei der Teilgebietsdetektion sowohl die aktuellen Kartendaten als auch die bisherigen (d.h. bei einer früheren Teilgebietsdetektion festgelegten) Grenzen des Referenzteilgebietes berücksichtigt werden. Die laufende Aktualisierung des Referenzteilgebietes wird später noch genauer erläutert (vgl. **Fig. 8** bis **Fig. 10**). In einem Ausführungsbeispiel kann zur Aktualisierung des Referenzteilgebietes der bereits erkundete Teil des Robotereinsatzgebietes in ein oder mehrere Teilgebiete gegliedert werden, wobei aus den detektierten Teilgebieten das Referenzteilgebiet nach vordefinierten Kriterien ausgewählt wird. Wird nur ein einziges Teilgebiet detektiert, ist die-

ses das Referenzteilgebiet. Ein Kriterium zur Auswahl des Referenzteilgebietes kann z.B. das Ausmaß der Überlappung mit dem zuvor (bei der vorhergehenden Teilgebietsdetektion) festgelegten Referenzteilgebiet sein. Das heißt, es wird aus den detektierten Teilgebieten jenes als aktuelles Referenzteilgebiet ausgewählt, welches mit dem zuvor ermittelten Referenzteilgebiet die größte Überlappung aufweist.

[0040] Algorithmen zur automatisierten Aufteilung einer Karte in Teilgebiete sind an sich bekannt. Einige dieser Algorithmen funktionieren nur, wenn die Karte vollständig erkundet, also durch Wände und andere Hindernisse vollständig eingeschlossen ist. Diese Algorithmen können für eine nicht-vollständig erkundete Karte genutzt werden, wenn die Karte „künstlich“ abgeschlossen wird. Hierzu kann beispielsweise ein Rahmen (bounding box) um das bereits erkundete Gebiet gelegt werden, und als „virtuelles“ Hindernis berücksichtigt werden. Auch andere Möglichkeiten, eine unvollständig erkundete Karte abzuschließen um die Algorithmen zur automatisierten Aufteilung einer vollständigen Karte zu nutzen, können alternative verwendet werden. In den hier beschriebenen Ausführungsbeispielen können für die Teilgebietsdetektion eine oder mehrere auf Kartendaten basierenden Informationen genutzt werden, beispielsweise die Position von Wänden und/oder anderen Hindernissen, die Position von Türdurchgängen und die Position von Bodenbelagsgrenzen. Zusätzlich oder alternativ können (z.B. in der Karte gespeicherte) Informationen über die Bodenstruktur, die Deckenstruktur und/oder die Wandstruktur berücksichtigt werden. Ein weiteres Kriterium für die Festlegung eines Teilgebiets sind vorgebbare geometrische Eigenschaften von Teilgebieten, wie beispielsweise eine minimale oder eine maximale Größe eines Teilgebiets. Deckenstrukturen und insbesondere die Ecken zwischen Decke und einer Wand können direkt Hinweise über die Form und Größe eines Raumes liefern. Hieraus können beispielsweise Türdurchgänge erkannt werden als Öffnungen in der Wand, die nicht bis an die Decke reichen. Wandstrukturen wie beispielsweise Fenster können Hinweise geben, ob es sich bei der besagten Wand um eine Außenwand handelt. Bodenstrukturen wie insbesondere der Wechsel des Bodenbelags oder eine Türschwelle können Indizien für Raumgrenzen und insbesondere für Türdurchgänge sein.

[0041] Je nach Implementierung der Teilbereichsdetektion können die Begrenzungslinien eines Teilgebietes zumindest teilweise prädiktiv ermittelt werden. In diesem Zusammenhang bedeutet prädiktiv, dass vorhandene, bereits detektierte und in der Karte gespeicherte Konturen (z.B. einer Wand) genutzt werden, um eine Begrenzungslinie eines Teilbereichs vorherzusagen. Beispielsweise kann eine bereits detektierte und in der Karte gespeicherte Kontur einer Wand (virtuell) geradlinig verlängert werden, um die

Begrenzung eines Teilgebiets zu vervollständigen. Gemäß einem anderen Beispiel wird eine Begrenzungslinie eines Teilgebiets parallel oder rechtwinklig zu einer bereits detektierten und in der Karte gespeicherten Kontur einer Wand (oder eines anderen Hindernisses) so festgelegt, dass sie den Rand des bereits erkundeten Bereichs des Robotereinsatzgebietes berührt. Ein Beispiel hierfür wird später anhand **Fig. 9** und **Fig. 10** erläutert.

[0042] Der Roboter verfolgt (tracking) seine eigene Position in der Karte. Nach einer Teilgebietsdetektion prüft kann der Roboter prüfen, ob er sich noch in dem (aktualisierten) Referenzteilgebiet befindet. Falls das nicht der Fall ist und falls das Referenzteilgebiet noch nicht vollständig erkundet ist, fährt der Roboter in das Referenzteilgebiet zurück, um dort die Erkundungsfahrt fortzusetzen. Die Erkundungsfahrt wird außerhalb des Referenzteilgebietes nicht fortgesetzt. Ergibt die Prüfung jedoch, dass das (aktualisierte) Referenzteilgebiet bereits vollständig erkundet wurde (beispielsweise weil es ausschließlich durch Konturen von Hindernissen oder Grenzlinien zu anderen detektierten Teilgebieten begrenzt ist) wird ein anderes Teilgebiet zum Referenzteilgebiet und die Erkundungsfahrt wird dort fortgesetzt.

[0043] Wie erwähnt kann die Teilgebietsdetektion regelmäßig oder als Reaktion auf die Detektion bestimmter Ereignisse wiederholt werden. Eine Wiederholung der Teilgebietsdetektion kann z.B. ausgelöst werden, wenn der Roboter feststellt, dass ein bestimmtes Zeitintervall ist seit der letzten Teilgebietsdetektion abgelaufen ist, dass der Roboter seit der letzten Teilgebietsdetektion eine bestimmte Wegstrecke zurückgelegt hat, dass seit der letzten Teilgebietsdetektion der erkundete Bereich des Robotereinsatzgebietes um eine bestimmte Fläche angewachsen ist oder dass der Aufwand für die weitere Erkundung des Referenzteilgebietes einen bestimmten Wert übersteigt. Der Aufwand kann z.B. mittels einer Kostenfunktion bewertet werden. Eine Wiederholung der Teilgebietsdetektion kann z.B. auch ausgelöst werden, wenn der Roboter einen für die Erkundung ermittelten Zielpunkt erreicht hat. Solch ein Zielpunkt kann beispielsweise auf der Grenze zwischen erkundetem und (noch) nicht-erkundetem Teilgebieten gewählt werden. Während der Roboter auf diesen Punkt zusteuert, kann er mit seinen Sensoren neue Bereiche erfassen und so die Grenzen des erkundeten Gebietes ausdehnen.

[0044] Wenn der Roboter feststellt, dass das Referenzteilgebiet vollständig erkundet wurde, dann wird es gespeichert und seine Grenzen werden später nicht mehr verändert. Solange noch weitere nicht vollständig erkundete Teilgebiete existieren, wählt der Roboter ein weiteres Teilgebiet als Referenzteilgebiet und setzt die Erkundungsfahrt dort fort. Das bisherige Referenzteilgebiet (oder die bisherigen Referenzteilgebiete)

renzteilgebiete) können bei der weiteren Teilgebietsdetektion dahingehend berücksichtigt werden, dass dessen (oder deren) Begrenzungslinien nicht mehr verändert werden und damit auch die Grenzen benachbarter Teilgebiete (zumindest teilweise) festgelegt sind. Das heißt, die Begrenzungslinien der bisherigen Referenzteilgebiete können bei der Ermittlung der Begrenzungslinien weiterer Teilgebiete berücksichtigt werden.

[0045] Falls der Roboter ein Reinigungsroboter ist, kann er - nachdem er ein Referenzteilgebiet vollständig erkundet hat - dieses reinigen, bevor ein weiteres Teilgebiet als Referenzgebiet gewählt und die Erkundungsfahrt dort fortgesetzt wird. Dieses Verhalten kann abhängig von einer Nutzereingabe gemacht werden, was die Flexibilität des Roboters erhöht. Der Roboter kann demnach eine Nutzereingabe entgegennehmen, abhängig von der der Roboter drei Betriebsmodi unterscheidet. Die Nutzereingabe (z.B. „erkunden“, „erkunden und reinigen“, „reinigen“) kann beispielsweise über eine HMI erfolgen (z.B. auf einem portablen externen Gerät oder direkt am Roboter). In einem ersten Betriebsmodus führt der Roboter eine Erkundungsfahrt durch und erkundet der Roboter das Robotereinsatzgebiet und erstellt dabei eine neue Karte. Die Erkundungsfahrt kann gemäß den hier beschriebenen Verfahren implementiert sein. In einem zweiten Betriebsmodus führt der Roboter eine Erkundungsfahrt durch, erstellt dabei eine neue Karte und reinigt dabei auch das Robotereinsatzgebiet. In einem dritten Betriebsmodus wird keine neue Karte erstellt, sondern das Robotereinsatzgebiet basierend auf einer bereits existierenden, gespeicherten Karte gereinigt. Dieses Konzept kann auch auf andere Roboter übertragen werden, die keine Reinigungsroboter sind. In diesem Fall führt der Roboter statt der Reinigung eine andere Tätigkeit aus.

[0046] Der Roboter kann den bereits erkundeten Bereich des Robotereinsatzgebietes als „erkundet“ in der Karte markieren (z.B. durch Setzen eines bestimmten Bits oder einer anderen Markierung, oder durch erfassen, aktualisieren und speichern der Grenze zwischen erkundeten und nicht-erkundeten Bereichen). Beispielsweise können jene Bereiche als erkundet in der Karte markiert werden, die während der Erkundungsfahrt zumindest einmal innerhalb eines Erfassungsbereichs eines Navigationssensors des Roboters gelegen sind (vgl. **Fig. 7**). Der Roboter kann üblicherweise mittels des Navigationssensors innerhalb des Erfassungsbereichs des Navigationssensors Objekte detektieren, beispielsweise indem berührungslos der Abstand zwischen Navigationssensor und mehreren Punkten eines Objekts gemessen wird (vgl. **Fig. 6**).

[0047] Der Roboter kann die Erkundungsfahrt beenden, wenn er feststellt, dass das Einsatzgebiet vollständig erkundet wurde (z.B. weil der als erkundet

markierte Bereich vollständig von Hindernissen begrenzt ist) und/oder falls ein Fortsetzen der Erkundungsfahrt nicht möglich ist, weil kein weiteres (noch nicht vollständig erkundetes) Teilgebiet mehr detektiert wurde. In dieser Situation kann der Roboter erneut eine Teilgebietsdetektion durchführen und dabei die Kartendaten betreffend das vollständig erkundete Robotereinsatzgebiet berücksichtigen. Bei dieser abschließenden Teilbereichsdetektion kann der Roboter andere (z.B. genauere und/oder aufwändigere) Algorithmen verwenden als bei der wiederholt durchgeführten Teilbereichsdetektion während der Erkundungsfahrt. Alternativ kann der gleiche Algorithmus jedoch mit veränderten Parametern verwendet werden. Schließlich kann der Roboter nach Beenden der Erkundungsfahrt zu einem Ausgangspunkt zurückkehren, an dem die Erkundungsfahrt gestartet wurde, oder zu einer Basisstation, die während der Erkundungsfahrt detektiert und in der Karte gespeichert wurde.

[0048] Die Diagramme in **Fig. 6** illustrieren exemplarisch wie ein autonomer mobiler Roboter **100** seine Umgebung erkundet. In dem dargestellten Beispiel weist die Sensoreinheit **120** des Roboters **100** (siehe **Fig. 2**) einen Navigationssensor **121** auf, der einen definierten Erfassungsbereich **Z** (coverage area) abdeckt. Im dargestellten Beispiel hat der Erfassungsbereich **Z** näherungsweise die Form eines Kreissektors mit dem Radius d . Diese Situation ist in Diagramm (a) der **Fig. 6** dargestellt. Der Navigationssensor **121** ist dazu ausgebildet, Objekte (z.B. Hindernisse, Möbel und andere Gegenstände) in der Umgebung des Roboters **100** zu detektieren, indem er den Abstand zur Kontur eines Objekts misst, sobald ein Objekt innerhalb des Erfassungsbereichs **Z** des Sensors **121** liegt. Der Erfassungsbereich **Z** bewegt sich mit dem Roboter mit, und der Erfassungsbereich **Z** kann Objekte überlappen, wenn der Roboter ihnen näher kommt als die Distanz d . Diagramm (b) der **Fig. 6** zeigt eine Situation, in der ein Hindernis **H** sich innerhalb des Erfassungsbereichs **Z** des Navigationssensors **121** des Roboters befindet. Der Roboter kann einen Teil der Kontur des Hindernisses **H** erkennen, im vorliegenden Beispiel ist das die Linie **L** auf der dem Sensor **121** zugewandten Seite des Hindernisses **H**. Die Linie **L** wird in der Karte gespeichert. Im Laufe der Erkundungsfahrt wird der Roboter das Hindernis **H** noch aus anderen Blickrichtungen detektieren, und so die Kontur des Hindernisses in der Karte vervollständigen können. In dem dargestellten Beispiel hat der Erfassungsbereich **Z** der Sensorik ein vergleichsweise kleines Blickfeld. Es gibt jedoch auch Sensoren, welche in der Lage sind, einen Bereich von 360° abzudecken. In diesem Fall, hat der Erfassungsbereich **Z** die Form eines (vollständigen) Kreises. Auch weitere Erfassungsbereiche sind je nach Sensor möglich und an sich bekannt. Insbesondere kann der Erfassungsbereich speziell bei Sensoren

zur dreidimensionalen Erfassung der Umgebung ein Volumen wie beispielsweise ein Öffnungskegel sein.

[0049] Der Roboter **100** kennt in der Regel seine eigene Position in der Karte; Veränderungen seiner Position kann der Roboter **100** beispielsweise mittels Odometrie (z.B. mittels Radsensoren, visueller Odometrie, etc) messen. Somit „weiß“ der Roboter auch, welche Bereiche des Robotereinsatzgebietes er bereits erkundet hat und kann diese erkundeten Bereiche in der Karte als „erkundet“ markieren. In dem in **Fig. 7** dargestellten Beispiel umfasst der erkundete Bereich **E** alle Punkte des Robotereinsatzgebietes, die sich während der Erkundungsfahrt zumindest einmal in dem (mit dem Roboter **100** mitbewegten) Erfassungsbereich **Z** befunden haben. Die nicht als erkundet markierten Bereiche der Karte können als „weiße Flecken“ betrachtet werden, über die dem Roboter (noch) keine Informationen vorliegen. Es sei an dieser Stelle noch angemerkt, dass ein in dem Erfassungsbereich **Z** befindliches Objekt **H** einen Teil des Erfassungsbereichs abschattet und diesen effektiv kleiner machen (siehe Diagramm (b) in **Fig. 6**).

[0050] Die **Fig. 8** bis **Fig. 10** illustrieren die fortschreitende Erkundung eines Robotereinsatzgebietes mit mehreren Zimmern. **Fig. 8** zeigt eine Situation kurz nach dem Beginn einer Erkundungsfahrt. Das dargestellte Robotereinsatzgebiet entspricht dem aus den **Fig. 3** und **Fig. 4**. In dem vorliegenden Beispiel startet die Erkundungsfahrt in dem in der Darstellung oberen Bereich des Schlafzimmers (vgl. **Fig. 4**, Raum **10**). Der einfach halber wird angenommen, dass der Erfassungsbereich **Z** des Navigationssensors **121** 360° abdeckt und daher kreisförmig ist. Der mit **Z** bezeichnete Kreis kennzeichnet den theoretischen maximalen Erfassungsbereich des Sensors **121**. Dementsprechend ist die Begrenzung **EB** des erkundeten Bereichs **E** durch die erkannten Hindernisse um den Roboter herum und zwei Kreisbögen gegeben.

[0051] Der Roboter **100** kann nun eine Teilgebietsdetektion durchführen, um ein erstes Referenzteilgebiet **R** (bzw. dessen Grenzen) festzulegen. Das Referenzteilgebiet **R** ist beispielsweise zum einen durch die erkannten Hindernisse begrenzt. Zum zweiten werden zwei virtuelle vorläufige Begrenzungslinien definiert. Da es für ihre Lage keine weiteren Anhaltspunkte gibt, werden sie beispielsweise als Geraden festgelegt, die orthogonal zu den erkannten Hindernissen liegen, welche die Begrenzung **EB** des erkundeten Bereichs **E** berühren (siehe **Fig. 8**, waagrecht und senkrecht liegende gestrichelte Tangenten an die Kreisbögen **EB**).

[0052] Um das Referenzteilgebiet weiter zu erkunden kann der Roboter beispielsweise versuchen zu einer der Begrenzungslinien des erkundeten Bereichs **EB** hin zu fahren, die nicht durch ein detektier-

tes Hindernis (z.B. Wand, Bett, Kommode, etc.) gebildet werden. Im vorliegenden Beispiel fährt der Roboter nach unten in den auf der Karte unten liegenden Bereich des Zimmers **10** während er weiter laufend Messungen durchführt und Hindernisse in seiner Umgebung detektiert und in seiner Karte speichert. Diese Situation ist in **Fig. 9** dargestellt. Wie man in **Fig. 9** sehen kann, hat sich im vgl. zur **Fig. 8** der erkundete Bereich **E** vergrößert, wobei eine Ecke der Wand links neben dem Roboter das Sichtfeld des Sensors **121** des Roboters **100** teilweise abschattet. In der dargestellten Situation liegt ein Teil eines Türrudgangs (hin zum Flur **20**) bereits in dem erkundeten Gebiet **E**. Bei einer erneuten Teilgebietsdetektion ergeben sich andere Grenzen für das Referenzteilgebiet **R**. Bei der Teilgebietsdetektion können weitere, vordefinierte Annahmen einfließen, beispielsweise die Annahme, dass ein Zimmer eine im Wesentlichen rechteckige Grundfläche aufweist. Gemäß **Fig. 9** werden die Begrenzungslinien so gewählt, dass das Referenzteilgebiet eine im Wesentlichen rechteckige Fläche ist, welche den Großteil des erkundeten Gebiets beinhaltet. Die untere Begrenzungslinie des Referenzteilgebietes **R** (waagrechte gestrichelte Linie in **Fig. 9**) wird beispielsweise generiert, indem die Kontur der Wand verlängert wird. Die linke Begrenzungslinie des Referenzteilgebietes **R** (senkrechte gestrichelte Linie in **Fig. 9**) wird beispielsweise rechtwinklig dazu festgelegt, so dass keine Begrenzungslinie des erkundeten Bereichs **EB** diese schneidet (sondern nur im oberen Bereich berührt).

[0053] Aufgrund der Festlegung des Referenzteilgebietes **R** fährt der Roboter **100** nun nicht durch den Türrudgang in das benachbarte Zimmer, denn damit würde er ja das Referenzteilgebiet verlassen. Stattdessen bleibt der Roboter **100** in dem Referenzteilgebiet **R** und erkundet den zuvor noch nicht erkundeten Bereich (weißer Fleck) links unten (in der Karte) und das erkundete Gebiet **E** wächst weiter an und umfasst nun beinahe das gesamte Zimmer (siehe **Fig. 2**, Schlafzimmer **10**). Diese Situation ist in **Fig. 10** dargestellt. Bei der erneuten Teilgebietsdetektion erkennt der Roboter **100** den Türrudgang zum benachbarten Zimmer (siehe **Fig. 4**, Flur **20**), der als Linie **D** in die Karte eingetragen ist und zur Festlegung einer Begrenzungslinie zwischen zwei Teilgebieten genutzt wird. Deshalb wird der Roboter den bereits erkundeten Bereich auf der anderen Seite der Linie **D** einem weiteren (neuen, bisher noch nicht detektierten) Teilgebiet **T** zuordnen. In der in **Fig. 10** dargestellten Situation liefert die Teilgebietsdetektion also zwei Teilgebiete, das Referenzteilgebiet **R** und das weitere Teilgebiet **T**.

[0054] Ausgehend von der in **Fig. 10** dargestellten Situation wird der Roboter nicht direkt in das nächste Teilgebiet **T** fahren (obwohl es sehr nahe beim Roboter **100** liegt), um dort die Erkundung fortzusetzen, sondern zunächst den im Referenzgebiet **R** noch vor-

handenen „weißen Fleck“ (in der Karte links oben) erkunden. Danach wird der Roboter feststellen, dass das Referenzteilgebiet **R** vollständig erkundet ist, da es ausschließlich von Hindernissen (z.B. Wänden, Möbel, etc.) oder einer Begrenzungslinie zwischen zwei Teilgebieten (der Linie **D**, Türrudgang) begrenzt ist. Erst danach fährt der Roboter in das weitere Teilgebiet **T**, welches als neues Referenzteilgebiet definiert wird, und setzt dort seine Erkundungsfahrt fort.

[0055] **Fig. 11** zeigt den Roboter **100** bei der Erkundung des Teilgebietes **T**, welches nun das Referenzteilgebiet ist. Nachdem der Roboter **100** durch den Türrudgang durchgefahren ist, ist er in dem dargestellten Beispiel links abgebogen und dem Flur (vgl. **Fig. 4**, Flur **20**) in Richtung des Wohnzimmers (vgl. **Fig. 4**, Wohnzimmer **30**) gefolgt. In **Fig. 11** sind wieder die Grenzen **EB** des erkundeten Bereichs **E** dargestellt sowie die bei der Teilbereichsdetektion festgelegten (aktualisierten) Grenzen des Referenzteilgebietes **T**. Die Begrenzungslinien auf der rechten und linken Seite des Referenzteilgebietes **T** sind gerade Linien, welche rechtwinklig zu einer detektierten Wand verlaufen und die Grenzen **EB** des erkundeten Bereichs tangieren. In der Darstellung gemäß **Fig. 11** erstreckt sich der erkundete Bereich **E** bereits in das benachbarte Zimmer (vgl. **Fig. 4**, Wohnzimmer **30**), wobei der Roboter **100** den Türrudgang zum Wohnzimmer noch nicht als solchen erkannt hat. Deshalb setzt der Roboter **100** die Erkundungsfahrt bis in das benachbarte Zimmer hinein fort und kommt in eine Situation, die in **Fig. 11** dargestellt ist.

[0056] In dem in **Fig. 11** dargestellten Beispiel erkennt der Roboter **100** den Türrudgang **D'** erst, nachdem er durch diesen durchgefahren ist. Eine anschließende Teilgebietsdetektion führt (aufgrund des nun erkannten Türrudgangs **D'**) zu der Detektion eines weiteren Teilgebietes **U**. In dieser Situation kann der Roboter erkennen, dass er sich nicht mehr im Referenzteilgebiet **T** befindet, obwohl dieses noch nicht vollständig erkundet ist (links ist das Referenzteilgebiet noch nicht durch ein detektiertes Hindernis oder ein weiteres bereits erkanntes Teilgebiet begrenzt und deshalb unvollständig erkundet). Der Roboter **100** wird also in das Referenzteilgebiet **T** zurückfahren und dieses weiter erkunden.

[0057] In der in **Fig. 13** dargestellten Situation hat der Roboter **100** auch den linken Bereich des Referenzteilgebietes **T** erkundet, und der Roboter wird detektieren, dass das Referenzteilgebiet **T** nun vollständig erkundet ist, da es ausschließlich von detektierten Konturen von Hindernissen (Wänden) und detektierten benachbarten Teilgebieten **R** und **U** begrenzt wird. Ausgehend von der in **Fig. 13** dargestellten Situation wird der Roboter nun das Teilgebiet **U** als neues Referenzteilgebiet wählen (weil dieses noch nicht

vollständig erkundet ist) und die Erkundungsfahrt dort fortsetzen.

[0058] In einer einfachen Variante des hier beschriebenen Verfahrens ist die Teilgebietsdetektion reduziert auf eine Detektion der Türdurchgänge. Die Detektion eines (offenen) Türdurchganges impliziert die Detektion eines benachbarten Raumes. Das heißt, die Teilgebietsdetektion detektiert während der Erkundungsfahrt praktisch nur verschiedene Räume als unterschiedliche Teilgebiete. Im Übrigen ist dieses Ausführungsbeispiel gleich oder ähnlich zu den zuvor beschriebenen Ausführungsbeispielen. Der Roboter wird erst einen Raum vollständig erkunden, bevor er einen Türdurchgang durchfährt, um die Erkundungsfahrt in einem benachbarten Raum fortzusetzen. Sofern der Roboter zufällig in einen Benachbarten Raum fährt, beispielsweise weil ein Türdurchgang erst als solcher erkannt wird, nachdem der Roboter diesen Türdurchgang als solchen detektiert hat, kann der Roboter feststellen, dass er den zuvor erkundeten Raum verlassen hat, obwohl dieser noch nicht vollständig erkundet ist. In dieser Situation wird der Roboter die Erkundungsfahrt in dem Raum, in dem er sich aktuell befindet, beenden und den zuvor zufällig durchfahrenen Türdurchgang nochmal (in die entgegengesetzte Richtung) durchfahren, auf diese Weise in den zuvor erkundeten Raum zurückkehren und dieser weiter erkunden.

[0059] Die hier beschriebenen Verfahren können in Form von Software implementiert sein. Die Software kann auf einem Roboter, auf einem Mensch-Maschine-Schnittstelle (human-machine interface, HMI) und/oder auf einem beliebigen anderen Computer wie insbesondere einem Home-Server oder einem Cloud-Server ausgeführt werden. Insbesondere können einzelne Teile des Verfahrens mittels Software implementiert sein, die in verschiedenen Softwaremodule unterteilt sein kann und die auf verschiedenen Geräten ausgeführt werden können. Wenn der Roboter „etwas macht“ (z.B. einen Verfahrensschritt ausführt) kann dieser Vorgang (z.B. Verfahrensschritt) von der Steuereinheit **150** initiiert worden sein (vgl. **Fig. 2**). Diese Steuereinheit **150** kann (ggf. zusammen mit anderen Einheiten) ein Steuergerät für den autonomen mobilen Roboter bilden, das sämtliche Funktionen und Verhaltensweisen des autonomen und mobilen Roboters steuert (unter anderem mit Hilfe anderer im Roboter vorhandener Einheiten und Module).

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

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

Zitierte Patentliteratur

- EP 2287697 A2 [0002]
- DE 102010017689 A1 [0009]

Patentansprüche

1. Verfahren zur Erkundung eines Robotereinsatzgebietes durch einen autonomen mobilen Roboter, wobei das Verfahren umfasst:

Starten einer Erkundungsfahrt, wobei der Roboter während der Erkundungsfahrt folgendes durchführt:
Detektieren von Objekten in der Umgebung des Roboters und speichern detektierter Objekte als Kartendaten in einer Karte während der Roboter sich durch das Robotereinsatzgebiet bewegt;

Durchführen eine Teilgebietsdetektion basierend auf den gespeicherten Kartendaten, wobei zumindest ein Referenzteilgebiet detektiert wird;

Prüfen, ob das Referenzteilgebiet vollständig erkundet ist;

Wiederholen der Teilgebietsdetektion zur Aktualisierung des Referenzteilgebietes und Wiederholen der Prüfung, ob das Referenzteilgebiet vollständig erkundet ist, und Fortsetzen der Erkundung des Referenzteilgebietes, bis dass die Prüfung ergibt, dass das Referenzteilgebiet vollständig erkundet ist; und anschließend

Fortsetzen der Erkundungsfahrt in einem weiteren Teilgebiet, sofern ein weiteres Teilgebiet detektiert wurde, wobei das weitere Teilgebiet als Referenzteilgebiet verwendet wird.

2. Das Verfahren gemäß Anspruch 1, wobei zur Aktualisierung des Referenzteilgebietes die Teilgebietsdetektion sowohl die aktuellen Kartendaten als auch die bisherigen Grenzen des Referenzteilgebietes berücksichtigt.

3. Das Verfahren gemäß Anspruch 2, wobei zur Aktualisierung des Referenzteilgebietes der Teil des Robotereinsatzgebietes, der bereits erkundet wurde, in ein oder mehrere Teilgebiete gegliedert wird, wobei aus den detektierten Teilgebieten das Referenzteilgebiet nach vordefinierten Kriterien ausgewählt wird.

4. Das Verfahren gemäß Anspruch 3, wobei aus den detektierten Teilgebieten jenes als Referenzteilgebiet ausgewählt wird, welches mit dem zuvor ermittelten Referenzteilgebiet die größte Überlappung aufweist.

5. Das Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei für die Teilgebietsdetektion zumindest eine der folgenden auf den Kartendaten basierenden Informationen genutzt wird: Position von Wänden und/oder anderen Hindernissen, Position von Türräumlichkeiten, Bodenbelagsgrenzen, Bodenstruktur, Deckenstruktur, Wandstruktur, vorgebbare geometrische Eigenschaften eines Teilgebietes, wie beispielsweise eine minimale oder eine maximale Größe eines Teilgebietes.

6. Das Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei bei der Teilgebietsdetektion die Be-

grenzungslinien eines Teilgebietes zumindest teilweise prädiaktiv ermittelt werden, insbesondere indem Konturen bereits erkannter Objekte verlängert und als Begrenzungslinien verwendet werden und/oder indem nach vordefinierten Kriterien ermittelte Geraden als Begrenzungslinien verwendet werden, die jenen Teil des Robotereinsatzgebietes, der bereits erkundet wurde, berühren.

7. Das Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei der Roboter nach einer Teilgebietsdetektion prüft, ob er sich noch in dem Referenzteilgebiet befindet, und, falls nicht, er in dieses zurück fährt.

8. Das Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei das die Teilgebietsdetektion wiederholt wird, wenn der Roboter zumindest eines der folgenden Ereignisse feststellt:

ein bestimmtes Zeitintervall ist seit der letzten Teilgebietsdetektion abgelaufen,

der Roboter hat seit der letzten Teilgebietsdetektion eine bestimmte Wegstrecke zurückgelegt;

seit der letzten Teilgebietsdetektion ist der erkundete Bereich des Robotereinsatzgebietes um eine bestimmte Fläche angewachsen;

der Aufwand für die weitere Erkundung des Referenzteilgebietes übersteigt einen bestimmten Wert, wobei der Aufwand mit einer Kostenfunktion bewertet wird; und

der Roboter hat einen für Erkundung ermittelten Zielpunkt erreicht.

9. Das Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei ein Referenzteilgebiet gespeichert und nicht mehr verändert wird, nachdem der Roboter festgestellt hat, dass es vollständig erkundet ist.

10. Das Verfahren gemäß Anspruch 9, wobei - wenn die Erkundung in einem weiteren Teilgebiet als Referenzteilgebiet fortgesetzt wird - das (die) vorherige(n) Referenzteilgebiet(e) bei der weiteren Teilgebietsdetektion dahingehend berücksichtigt werden, dass dessen (deren) Begrenzungslinien nicht mehr verändert und/oder dass dessen (deren) Begrenzungslinien für die Ermittlung von Begrenzungslinien weiterer Teilgebiete berücksichtigt werden.

11. Das Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 10, wobei der Roboter ein Reinigungsroboter ist, und er ein Referenzteilgebiet reinigt, nachdem er festgestellt hat, dass es vollständig erkundet ist und bevor er die Erkundung in einem weiteren Teilgebiet als Referenzteilgebiet fortsetzt.

12. Das Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 11, wobei der Roboter jene Bereiche des Robotereinsatzgebietes als erkundet in der Karte markiert, welche während der Erkundungsfahrt zumindest einmal innerhalb eines Erfassungsbereichs eines Navigationsensors des Roboters gelegen sind.

13. Das Verfahren gemäß Anspruch 12, wobei der Roboter mittels des Navigationssensors innerhalb des Erfassungsbereichs des Navigationssensors Objekte detektiert, indem berührungslos der Abstand zwischen Navigationssensor und mehreren Punkten eines Objekts gemessen wird.

14. Das Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 13, das weiter umfasst,
Beenden der Erkundungsfahrt, falls ein Fortsetzen der Erkundungsfahrt nicht möglich ist, weil kein weiteres Teilgebiet mehr detektiert wurde; und
erneutes Durchführen einer Teilgebietsdetektion basierend auf den Kartendaten betreffend das vollständig erkundete Robotereinsatzgebiet.

15. Das Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 13, das weiter umfasst,
Beenden der Erkundungsfahrt, falls ein Fortsetzen der Erkundungsfahrt nicht möglich ist, weil kein weiteres Teilgebiet mehr detektiert wurde; und
Zurückkehren zu einem Ausgangspunkt, an dem der Roboter gestartet ist oder Anfahren einer Basisstation, die während der Erkundungsfahrt detektiert wurde.

16. Verfahren zur Erkundung eines Robotereinsatzgebietes durch einen autonomen mobilen Roboter, wobei das Verfahren umfasst:
Starten einer Erkundungsfahrt in einem ersten von mehreren Räumen des Robotereinsatzgebietes, welche durch Türdurchgänge verbunden sind, wobei der Roboter während der Erkundungsfahrt folgendes durchführt:
Detektieren von Objekten in der Umgebung des Roboters und speichern detektierter Objekte als Kartendaten in einer Karte, während der Roboter sich durch das Robotereinsatzgebiet bewegt;
Detektieren eines oder mehrerer Türdurchgänge;
Prüfen, ob der erste Raum bereits vollständig erkundet ist, und Fortsetzen der Erkundungsfahrt im ersten Raum, bis dass die Prüfung ergibt, dass der erste Raum vollständig erkundet ist; und anschließend Fortsetzen der Erkundungsfahrt in einem weiteren Raum.

17. Verfahren gemäß Anspruch 16, wobei ein Türdurchgang detektiert werden kann, bevor, während oder nachdem er durchfahren wurde, und
wobei der Roboter, falls er einen Türdurchgang durchfahren hat, bevor der erste Raum vollständig erkundet wurde, den Türdurchgang in entgegengesetzte Richtung durchfährt, um in den ersten Raum zurückzukehren.

18. Verfahren zum Steuern eines autonomen mobilen Roboters, das folgendes umfasst:
Entgegennehmen einer Nutzereingabe durch den autonomen mobilen Roboter,

Festlegen eines Betriebsmodus nach Maßgabe der Nutzereingabe, wobei der Roboter sich in einem Robotereinsatzgebiet befindet und
in einem ersten Betriebsmodus das Robotereinsatzgebiet gemäß einem Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 17 erkundet und dabei eine Karte neu erstellt,
in einem zweiten Betriebsmodus das Robotereinsatzgebiet gemäß einem Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 17 erkundet, dabei eine Karte neu erstellt und eine Tätigkeit durchführt, insbesondere das Robotereinsatzgebiet reinigt, und
in einem dritten Betriebsmodus in dem Robotereinsatzgebiet eine Tätigkeit durchführt, insbesondere das Robotereinsatzgebiet reinigt, wobei für die Navigation in dem Robotereinsatzgebiet eine zuvor erstellte und gespeicherte Karte verwendet wird.

19. Robotersteuergerät für einen autonomen, mobilen Roboter, die folgendes aufweist:
einen Speicher zum Speichern von Softwareinstruktionen;
mindestens einen Prozessor, der dazu ausgebildet ist, die Softwareinstruktionen auszuführen, wobei der Prozessor, wenn die Softwareinstruktionen ausgeführt werden, das Robotersteuergerät dazu veranlasst, ein Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 17 auszuführen.

Es folgen 7 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

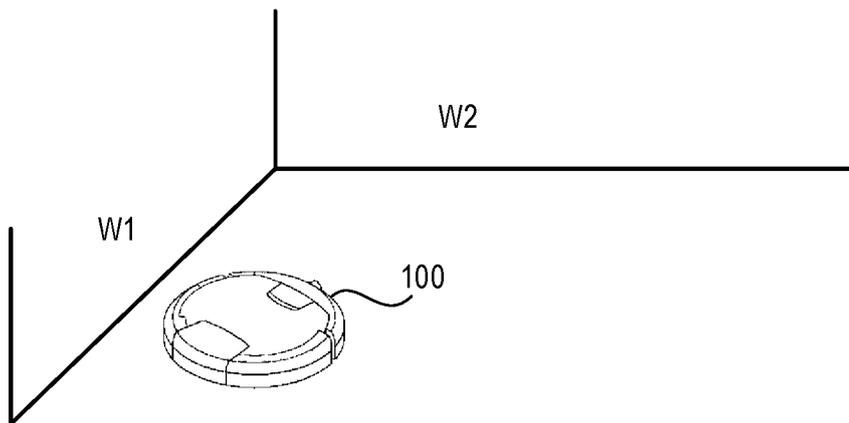


Fig. 1

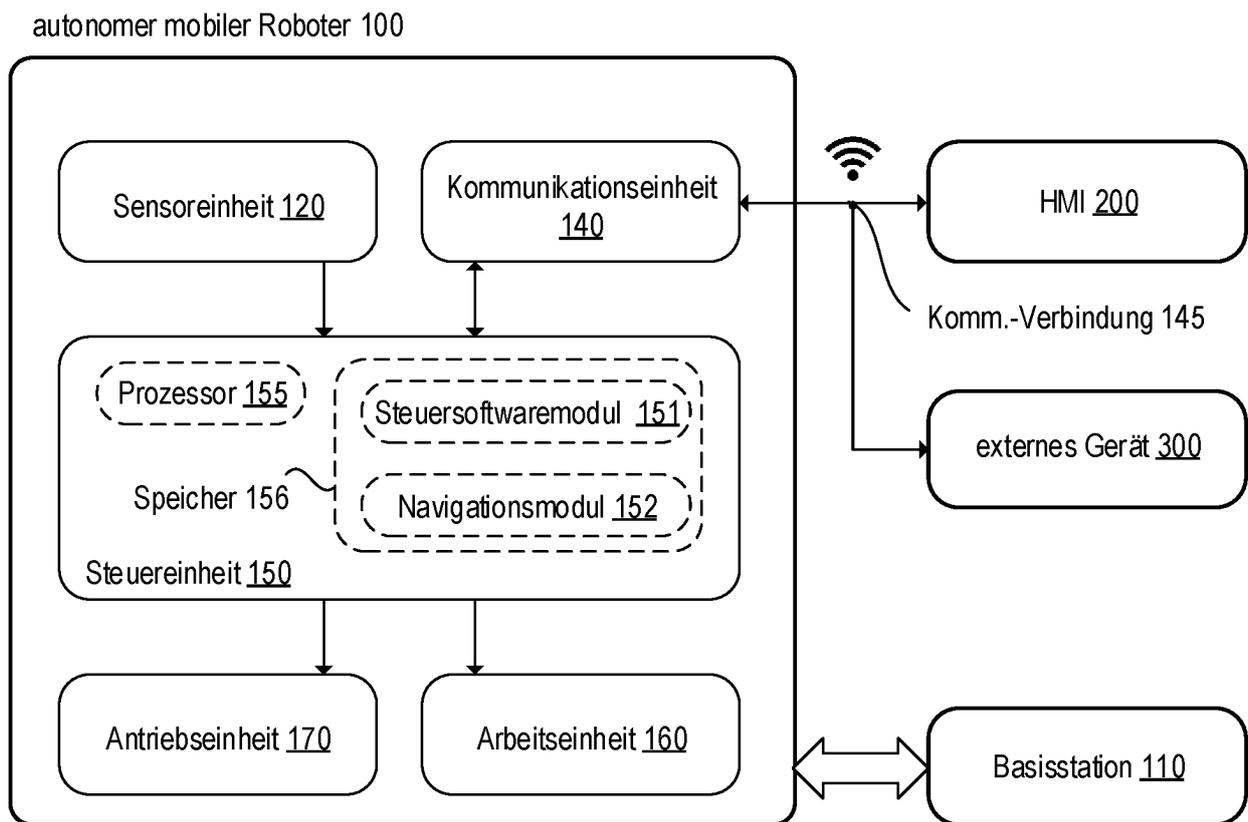


Fig. 2

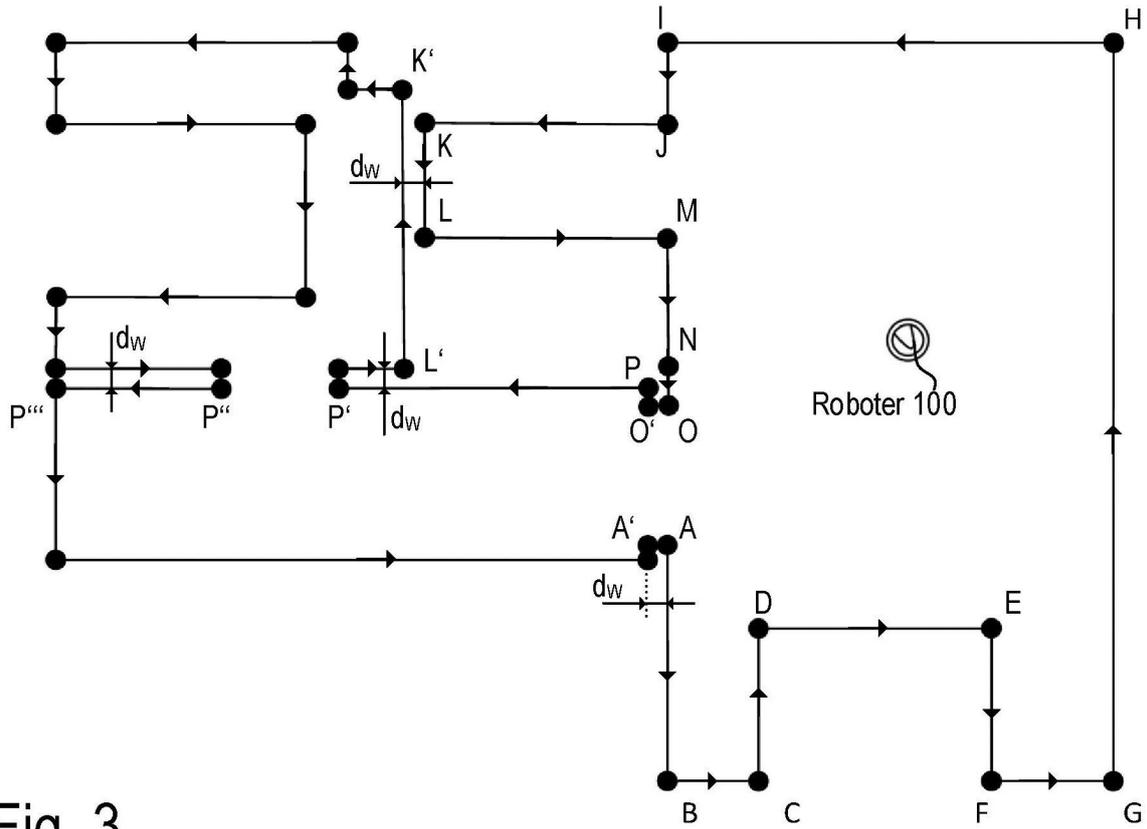


Fig. 3

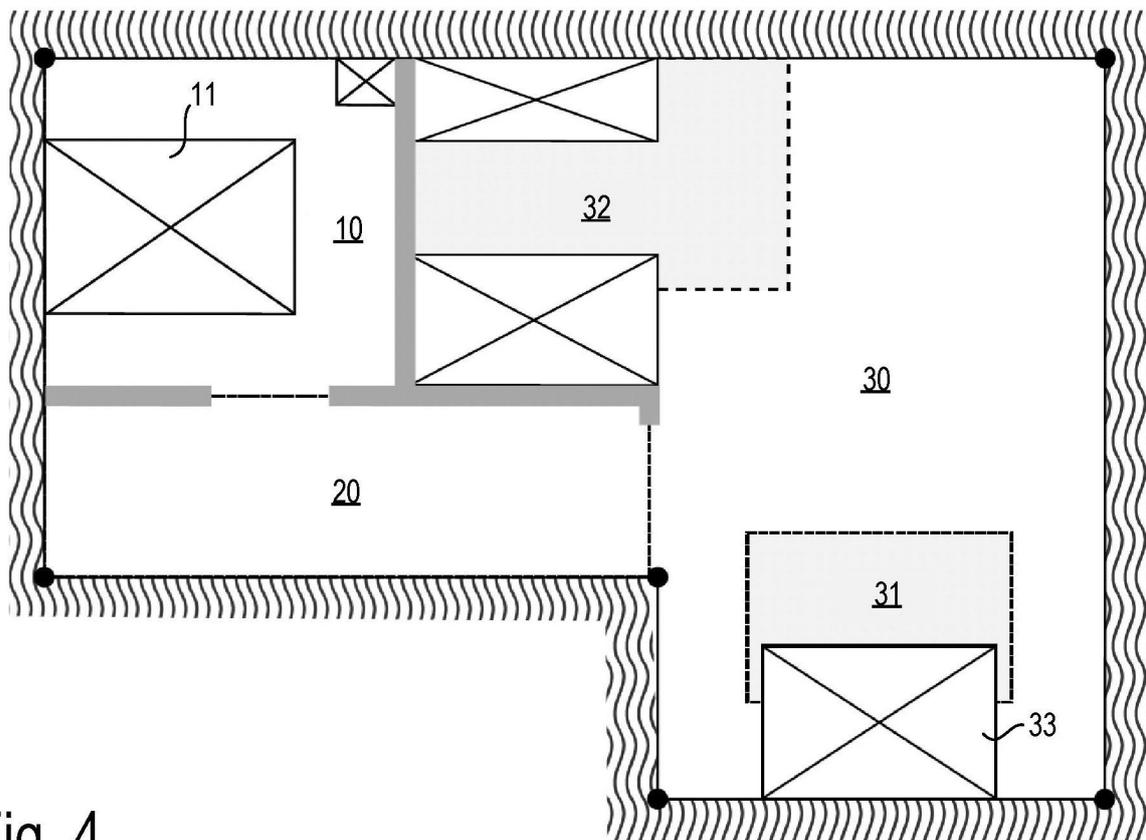


Fig. 4

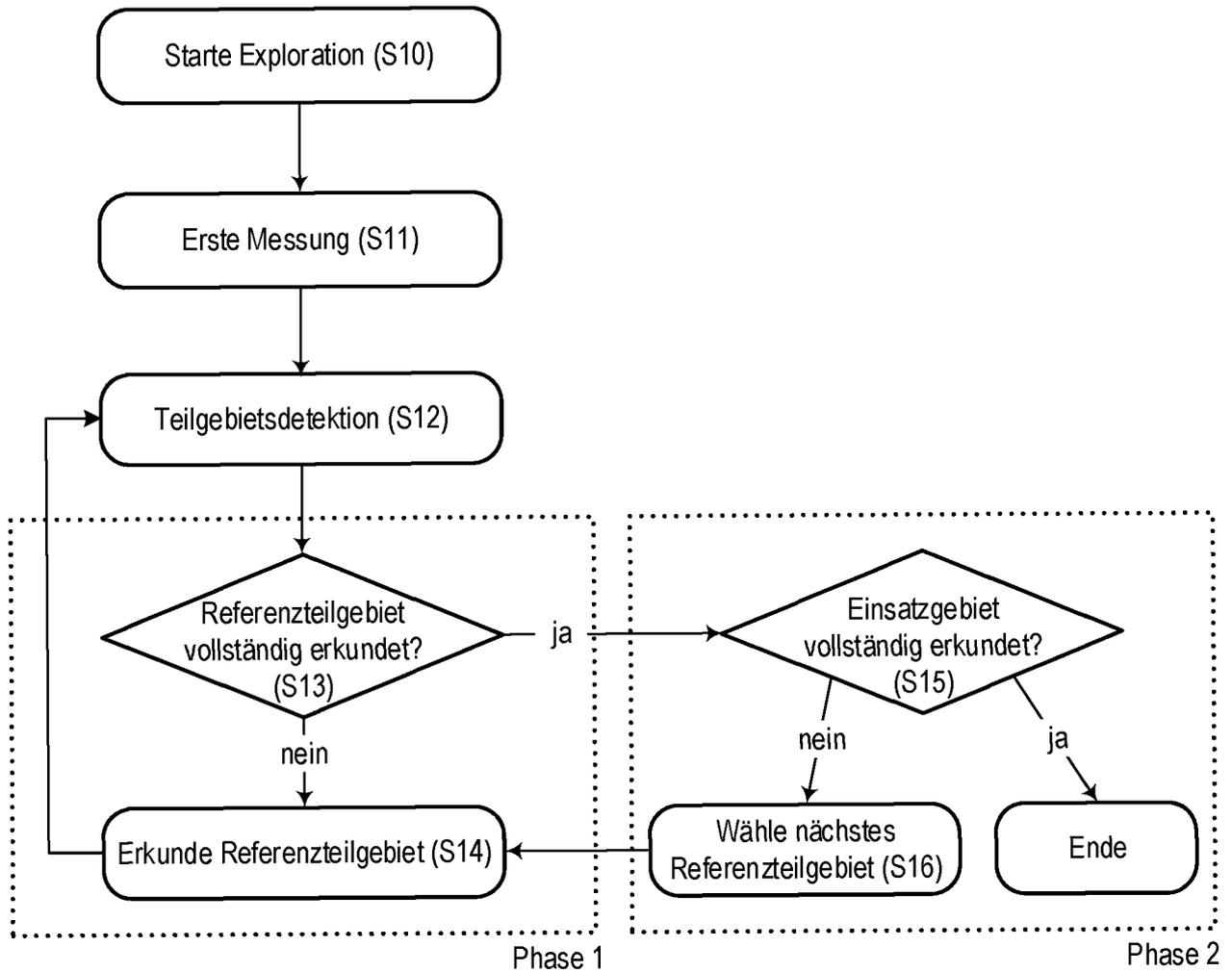


Fig. 5

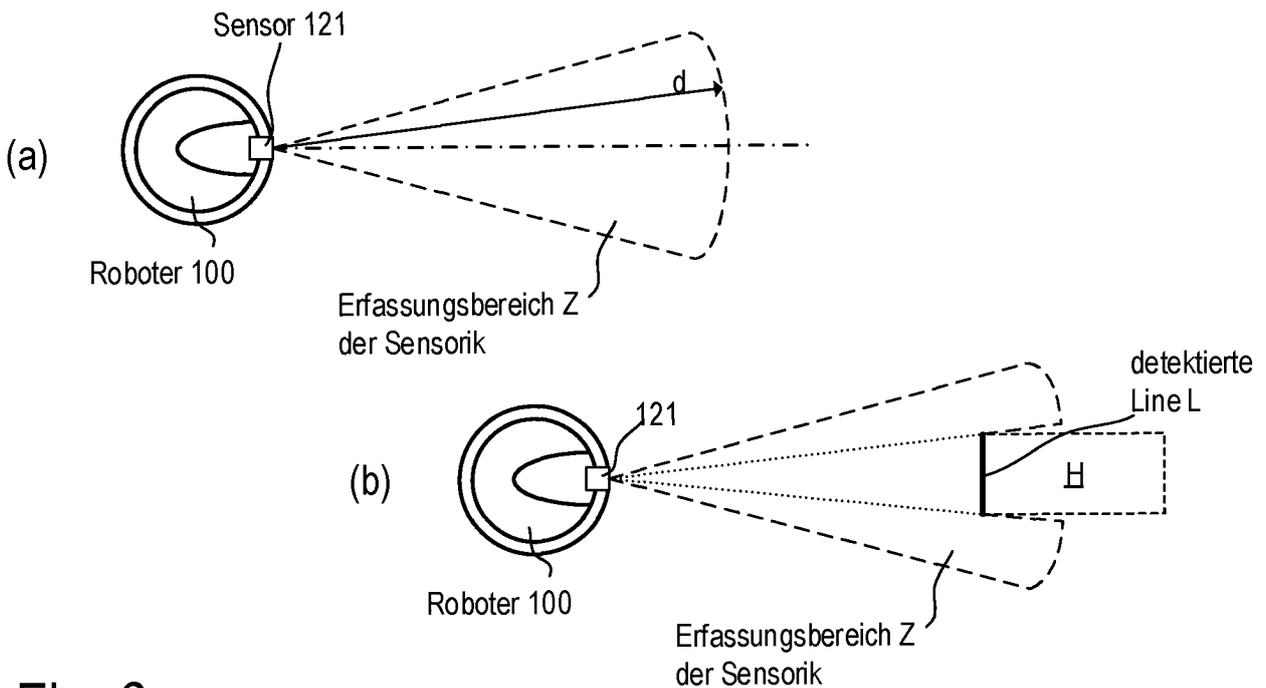


Fig. 6

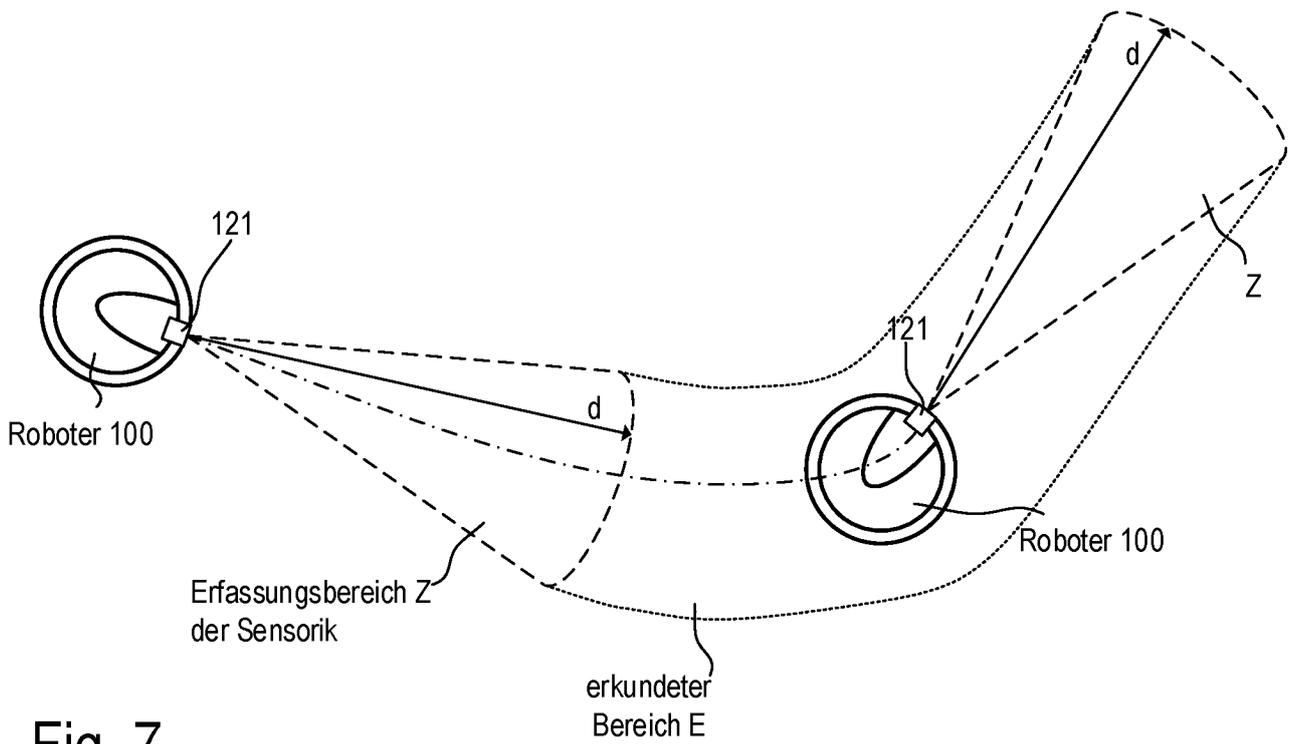


Fig. 7

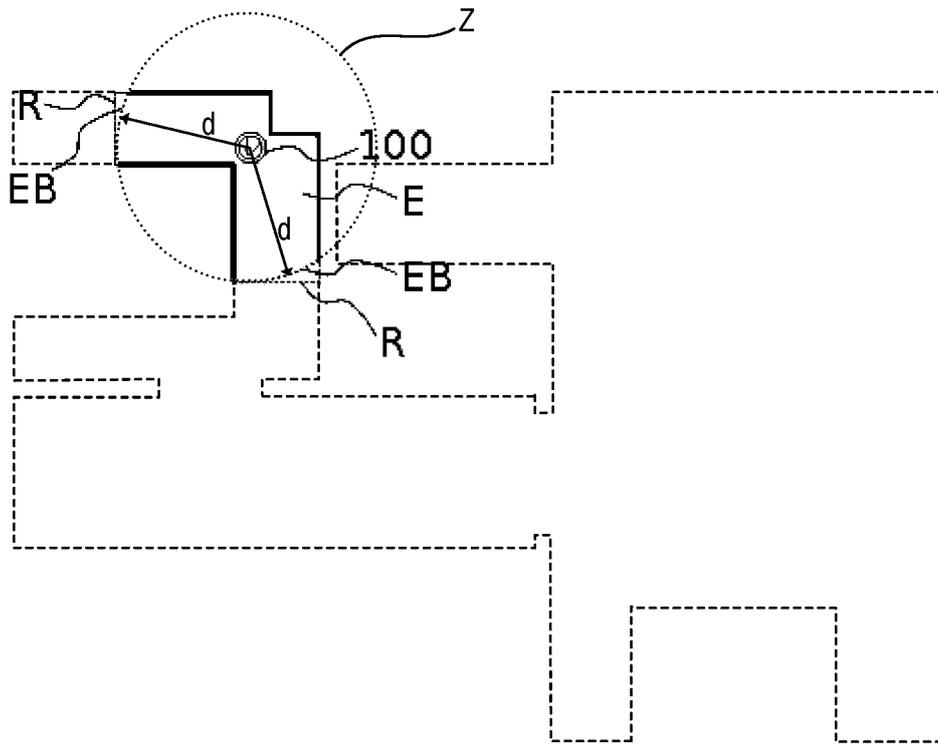


Fig. 8

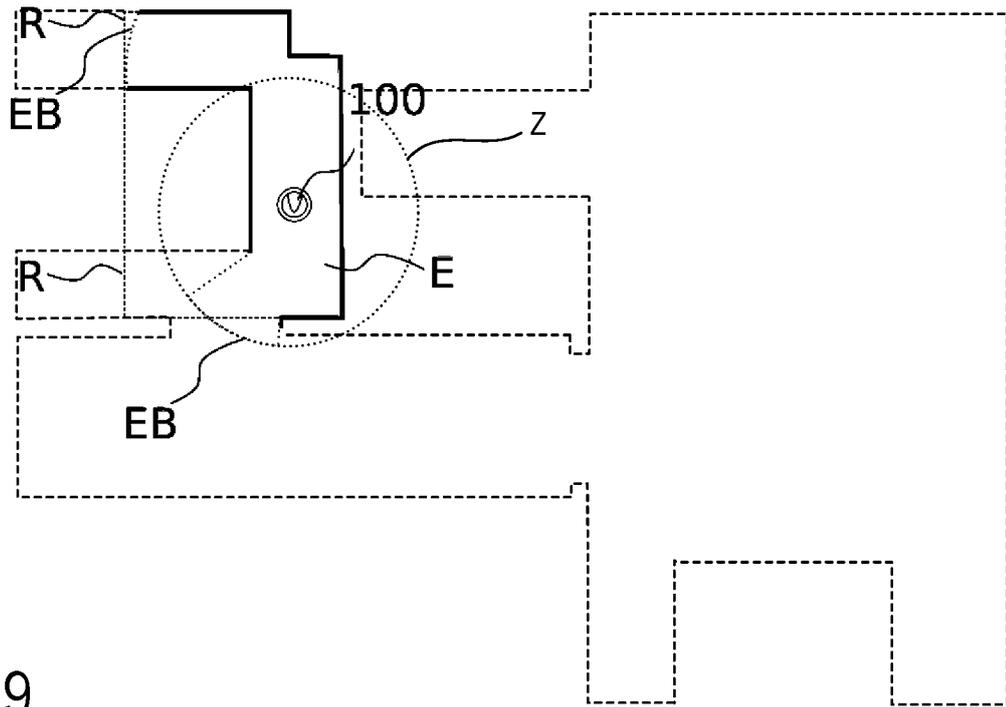


Fig. 9

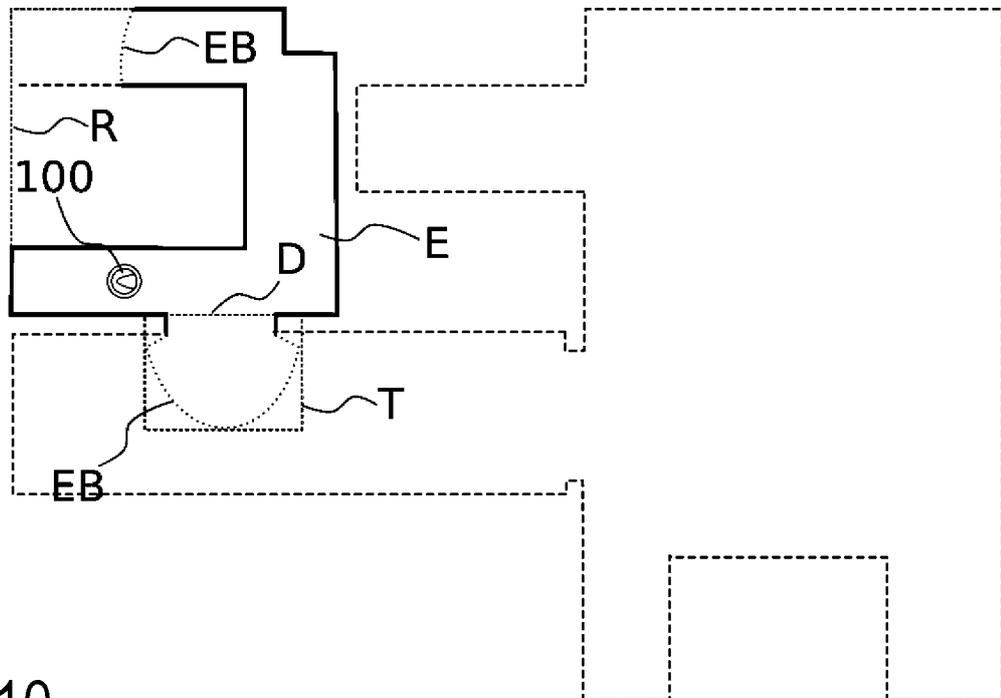


Fig. 10

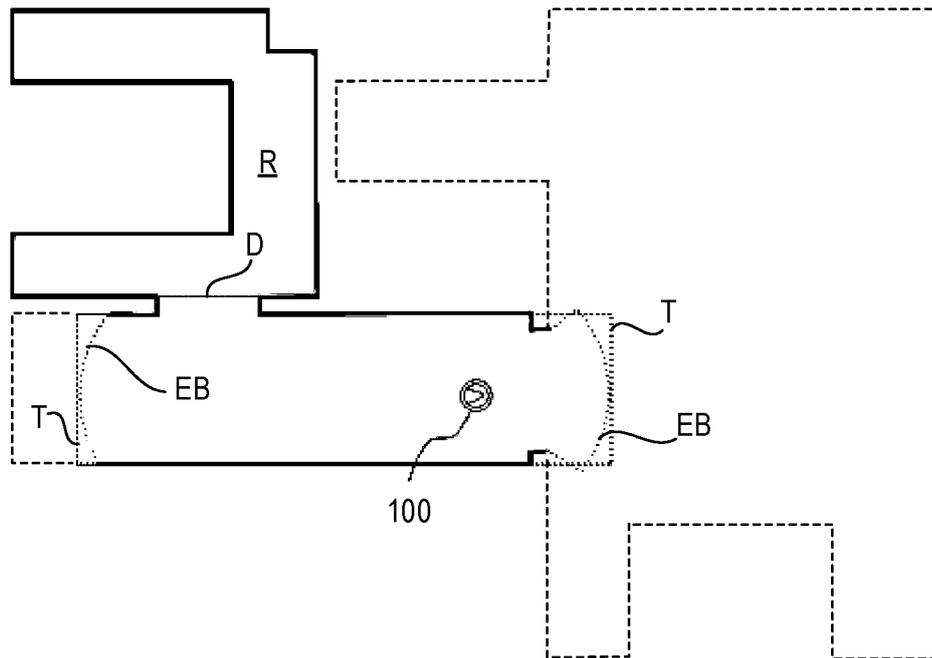


Fig. 11

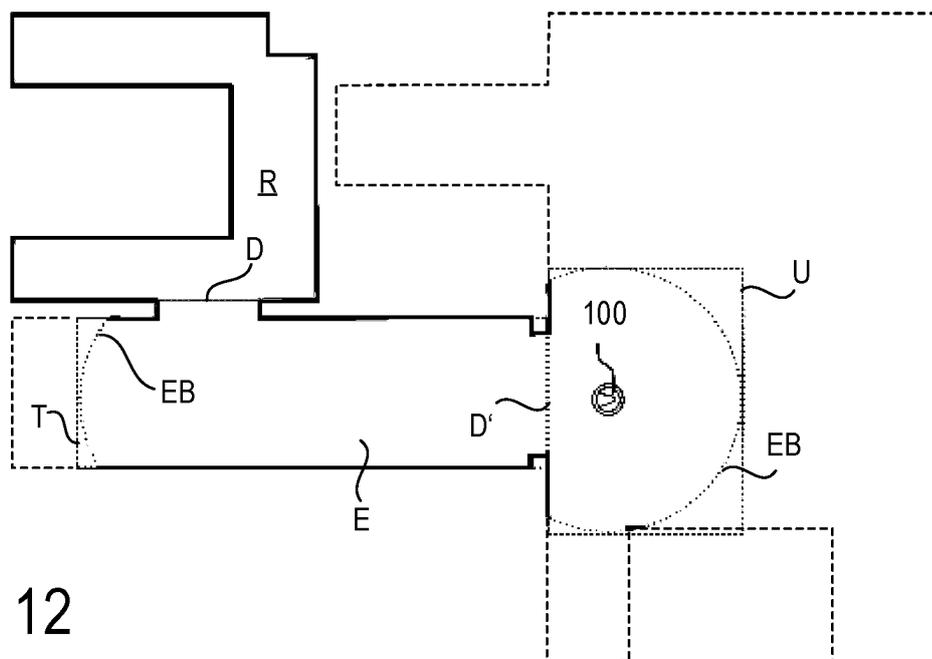


Fig. 12

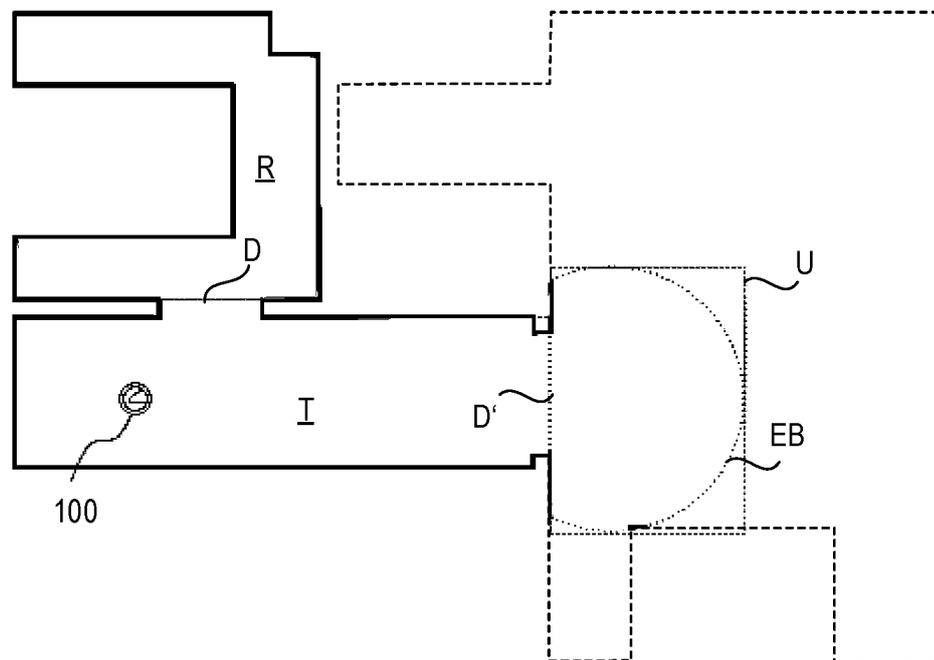


Fig. 13