



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 699 13 150 T2 2004.08.26**

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 099 143 B1**

(51) Int Cl.7: **G05D 1/02**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **699 13 150.2**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US99/16078**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **99 934 085.4**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 00/04430**

(86) PCT-Anmeldetag: **16.07.1999**

(87) Veröffentlichungstag  
der PCT-Anmeldung: **27.01.2000**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **16.05.2001**

(97) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung beim EPA: **26.11.2003**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **26.08.2004**

(30) Unionspriorität:  
**98305761 20.07.1998 EP**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT,  
LI, LU, NL, PT, SE**

(73) Patentinhaber:  
**The Procter & Gamble Company, Cincinnati, Ohio,  
US**

(72) Erfinder:  
**BOTTOMLEY, Ian, Alnwick, Northumberland NE66  
1UZ, GB; COATES, David, Shilbottle,  
Northumberland NE66 2HF, GB; GRAYDON,  
Russell, Andrew, Wills Oval, Newcastle-upon-Tyne  
NE7 7RW, GB; Jamieson, David McCrory,  
Northumberland NE61 6TH, GB**

(74) Vertreter:  
**TER MEER STEINMEISTER & Partner GbR  
Patentanwälte, 81679 München**

(54) Bezeichnung: **ROBOTERSYSTEM**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

## Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft Robotersysteme und insbesondere ein bewegliches Robotersystem, das sich über eine Oberfläche bewegen und die Oberfläche behandeln kann.

[0002] Herkömmliche Robotersysteme oder Roboter dieses Typs können als halbselbstständig beschrieben werden, d. h. sie werden selbstständig angetrieben, sie sind jedoch für die Navigationsführung auf Sender, Empfänger und Sensoren angewiesen, um ein Koordinatensystem herzustellen, durch das der Roboter navigiert, wobei er die Lage von Hindernissen in seinem Bewegungsfeld lernt. Kürzlich ist vorgeschlagen worden, einem Roboter zu ermöglichen, sich ohne Aufstellen eines Koordinatensystems zu bewegen, anstatt auf das Erfassen von aktuellen Reizen angewiesen zu sein, um den Roboter zu befähigen, um Hindernisse zu navigieren. Es ist z. B. vorgeschlagen worden, einen Roboter-Staubsauger zu schaffen, der nach diesen Vorgaben arbeitet. Selbst navigierende Robotersysteme dieses Typs werden als selbstständige Roboter bezeichnet.

[0003] Roboter dieses Typs sind jedoch häufig für einen Betrieb in einer privaten Umgebung vorgesehen, benötigen ein Steuerungssystem, das eine sichere Bewegung des Roboters in seiner Umgebung ermöglichen kann, und benötigen deswegen eine Art Kollisionserfassungssystem, das in der Lage ist, Informationen über Kollisionen oder drohende Kollisionen an ein Steuerungssystem zu liefern, das sehr schnell reagieren kann, um die Kollision zu verhindern oder andernfalls den Aufprall minimal zu machen, und eine Kollisionsvermeidung durch Neuorientierung des Roboters vor einer weiteren Bewegung auszuführen. Leider ist die eingebaute Verarbeitungsleistung insbesondere durch Kostenbeschränkungen unvermeidlich begrenzt und deswegen besitzen gegenwärtige Systeme zur Vermeidung unangemessener Kosten verhältnismäßig begrenzte Navigationsfähigkeiten, die im Gebrauch zur Folge haben, dass der Roboter einen Weg abfährt, der das mehrfache Passieren der gleichen Bereiche auf der Oberfläche beinhaltet. Während das z. B. bei einem Staubsauger möglicherweise nicht problematisch ist, kann eine derartige redundante Bewegung dann, wenn der Roboter die Funktion zur Behandlung der Oberfläche auf andere Art besitzt, zu einer Überbehandlung der Oberfläche führen, die nicht nur das für die Behandlung verwendete Produkt verschwendet (ein ernsthaftes Problem, wenn die Nutzlast begrenzt ist), sondern außerdem die Oberfläche beschädigen oder in anderer Weise tatsächlich gefährlich sein kann.

[0004] Die vorliegende Erfindung zielt darauf, einen Roboter mit Eigenantrieb zu schaffen, der derartige Probleme überwinden kann.

[0005] DE-A-3 536 974 (D1) beschreibt einen Roboter, der Streifen aus einer Flüssigkeit oder aus einem pulverförmigen Feststoff ablegt, wobei die Streifen

anschließend als eine "Führungsbahn" für die Maschine wirken. Der Roboter von US-A-5.613.261 ist außerdem so beschaffen, dass er sich längs im Allgemeinen paralleler Arbeitslinien bewegt. In diesem Fall legt der Roboter den Verschmutzungsgrad des Bodens anhand des Reflexionsvermögens der Oberfläche fest, wobei er dann entweder Bereiche der Oberfläche, die als sauber betrachtet werden, überquert oder Bereiche der Oberfläche, die als verschmutzt betrachtet werden, reinigt.

[0006] Gemäß der vorliegenden Erfindung wird ein selbstständiger Roboter mit Eigenantrieb geschaffen, der sich über eine zu behandelnde Oberfläche bewegen kann, wobei der Roboter umfasst:

eine Leistungsversorgung;

einen Fortbewegungsmechanismus, der Leistung von der Leistungsversorgung empfängt und den Roboter über die Oberfläche bewegt;

einen Mechanismus, der auf der Oberfläche ein flüssiges Material steuerbar ablagert;

mehrere Navigationssensoren, die Signale bereitstellen, um den Roboter in die Lage zu versetzen, über die Oberfläche zu navigieren;

einen oder mehrere Detektoren, die das Vorhandensein des Materials auf der Oberfläche erfassen und Signale, die dies angeben, bereitstellen können; und

ein Steuersystem, das die Signale von den Sensoren und von den Detektoren empfängt und den Fortbewegungsmechanismus und den Ablagerungsmechanismus in Abhängigkeit von den von den Sensoren und den Detektoren empfangenen Signalen steuert. Das Steuersystem arbeitet in der Weise, dass es die Ablagerung des flüssigen Materials durch eine Kombination von Strategien steuert, die eine Navigationsstrategie und eine Ablagerungsraten-Steuerstrategie umfassen, die nachfolgend beschrieben werden.

[0007] Durch das Erfassen der Ablagerung des flüssigen Materials, das ein flüssiges oder gasförmiges Fluid oder andernfalls ein fließfähiges Pulver sein kann, kann die übermäßige Ablagerung von Material vermieden oder minimal gemacht werden, entweder indem der Roboter um bereits behandelte Bereiche navigiert wird und/oder indem der Ablagerungsmechanismus so gesteuert wird, dass die Ablagerung von Material über derartigen bereits behandelten Bereichen angehalten wird.

[0008] Das Material für die Behandlung ist vorzugsweise in einem Vorratsbehälter an dem Roboter enthalten und kann ein geeignetes Mittel für die Behandlung von Fußböden, Teppichen oder anderen Bodenbelägen umfassen. Der Roboter kann bei Bedarf außerdem Mittel zum Reinigen des Bodens oder der Bodenbeläge vor der Behandlung, z. B. in Form einer Unterdruckreinigungsvorrichtung enthalten.

[0009] Ein Verfahren zum Behandeln einer Oberfläche unter Verwendung eines Roboters in der oben beschriebenen Weise wird außerdem beschrieben. Das Behandlungsverfahren kann für verschiedene Anwendungen auf Teppichen und anderen Bodenbe-

lägen verwendet werden, wie etwa Reinigen, Schutzbehandlung z. B. für der Schutz gegen Ablagerungen und Schmutz, Brandschutz, UV-Schutz, Abnutzungsschutz, Schutz gegen Staubmilben, Antimikrobenbehandlung und dergleichen, sowie eine Behandlung, um einen ästhetischen Nutzen zu erzielen, wie etwa eine Odorisierung/Desodorierung. Das Behandlungsverfahren kann außerdem auf anderen Oberflächen, wie etwa synthetischen Bodenbelägen, Keramik oder Holz, eine Anwendung finden. Neben dem Polieren von harten Oberflächen kann der Roboter außerdem verwendet werden, um Beschichtungen aufzubringen, die entweder die Ästhetik verbessern oder als eine Schutzschicht wirken.

[0010] Somit wird ein Verfahren zum gesteuerten Ablagern eines flüssigen Materials auf Böden, Teppichen und anderen Bodenbelägen unter Verwendung des selbstständigen Roboters mit Eigenantrieb, der Ablagerungen erfasst, geschaffen. Das abgelagerte Material kann z. B. ein Teppichreinigungsmittel, ein Mittel zum Reinigen harter Oberflächen oder eines von mehreren Mitteln sein, die gleichzeitig oder nacheinander aufgebracht werden, und kann einen Markierungsstoff enthalten, dessen Vorhandensein erfasst werden kann, um eine Erfassung des Umfangs der Ablagerung des Behandlungsmaterials zu schaffen. Ein derartiger Markierungsstoff kann eine begrenzte Lebensdauer von z. B. 12, 24 oder 48 Stunden besitzen.

[0011] Durch den erfindungsgemäßen Roboter kann außerdem eine unsichtbare Behandlung geschaffen werden, z. B. zur Duftsteuerung oder zur antibakteriellen Wirkung gegen Staubmilben.

[0012] Der Roboter umfasst mehrere Navigationssensoren, die Signale bereitstellen, um den Roboter in die Lage zu versetzen, über die Oberfläche zu navigieren, und einen oder mehrere Detektoren, die das Vorhandensein des Materials auf der Oberfläche erfassen und Signale, die dies angeben, bereitstellen können. Die Navigationssensoren können einen oder mehrere Kollisionssensoren und/oder Annäherungssensoren enthalten. Die Kollisionssensoren können einen oder mehrere Querverlagerungssensoren, die an einem Umfangssensoring angeordnet sind, um eine Kollisionserfassung zu schaffen, und/oder einen oder mehrere Vertikalverlagerungssensoren enthalten.

[0013] Die Verwendung einer im Allgemeinen kreisförmigen Form gemeinsam mit einem Steuerungsregime, das nach der besten Fluchtrichtung abtastet, nachdem der Roboter (z. B. in einer Ecke) blockiert wurde, ist besonders vorteilhaft. Es kann außerdem vorteilhaft sein, den Winkel jeder Kollision zu erfassen, um den nachfolgenden Bewegungswinkel des Roboters weg von dem Hindernis zu optimieren.

[0014] Der Fortbewegungsmechanismus enthält vorzugsweise linke und rechte, koaxial angebrachte Antriebsräder mit entsprechenden Antriebsmotoren, die vorzugsweise mit impulsbreitenmodulierten Antriebsignalen versorgt werden.

[0015] Zum Ablagern von Material auf der Oberfläche kann sich eine Anordnung von Abgabeöffnungen, z. B. Sprühdüsen, im Allgemeinen parallel mit der Antriebsradachse erstrecken, die sich vorzugsweise in dem gleichen Umfang wie die Ablagerungsdetektoren seitlich erstreckt.

[0016] Die Detektoren können einen oder mehrere Sensoren umfassen, die so angeordnet sind, dass sie die Kante eines Abschnitts eines zuvor abgelagerten Produkts erfassen. Geeignete Ablagerungsdetektoren enthalten eine oder mehrere Strahlungsquellen und/oder -detektoren, Feuchtigkeitsdetektoren, Reflexionsvermögenmesser, Leitfähigkeitsmesser usw. Detektoren können seitlich von den Antriebsrädern und vorzugsweise vor diesen angeordnet sein.

[0017] Der Roboter umfasst ferner ein Steuersystem, das die Ablagerung des Materials in Abhängigkeit von den von dem einen oder von den mehreren Detektoren und Sensoren empfangenen Signalen steuert. Das Steuersystem arbeitet, um die Ablagerung des Materials (z. B. um eine übermäßige Ablagerung zu vermeiden oder minimal zu machen) durch eine Kombination von Strategien zu steuern, die umfassen a) das Navigieren des Roboters um bereits behandelte Bereiche der Oberfläche (was hier nachfolgend als "Navigationsstrategie" bezeichnet wird); und b) das Steuern des Ablagerungsmechanismus in der Weise, dass er die Ablagerung des flüssigen Materials auf der Oberfläche anhält oder verringert, wenn sich der Roboter über solche bereits behandelte Bereiche bewegt (was hier nachfolgend als "Ablagerungsraten-Steuerstrategie" bezeichnet wird). In der Praxis entscheidet das Steuersystem zwischen den beiden Strategien in Abhängigkeit von den von den Navigationssensoren und Ablagerungsdetektoren empfangenen Signalen. Die Fähigkeit des Steuersystems, zwischen den beiden Strategien zu entscheiden, um z. B. eine rasche Entscheidung zu treffen, ob Bereiche überquert werden oder um bereits behandelte Bereiche navigiert wird und die Ablagerung dementsprechend beibehalten, verringert oder angehalten wird, ist ein wichtiges Merkmal zum Sicherstellen einer gesteuerten Ablagerung im Kontext eines vollständig selbstständigen Roboters, der geschaffen wurde, um in der ungeordneten, nicht strukturierten Umgebung ohne Führungsschienen betrieben zu werden, die typischerweise in Wohnungen und Behörden angetroffen wird.

[0018] Das Steuersystem besitzt vorzugsweise eine hierarchische Architektur und enthält einen oder mehrere Mikroprozessor-Controller oder Mikrocontroller zur Steuerung Funktionen höherer Ebene und zum Bereitstellen Befehle höherer Ebene und mehrerer Funktionsmodule niedrigerer Ebene, die geeignet sind, Signale von den Sensoren und Detektoren zu empfangen und in Reaktion darauf Steuersignale bereitzustellen. Die Steuersignale des Fortbewegungsmechanismus und für die Produktabgabe werden vorzugsweise an einen Fortbewegungsmechanis-

mus-Controller und an einen Produktabgabe-Controller über einen Verteiler oder einen Bus ausgegeben, der so beschaffen ist, dass er Signaleingänge von dem Mikroprozessor und mehreren Unter-Prozessoren empfängt, wovon jeder einem entsprechenden Navigationssensor oder dergleichen entspricht. Dadurch kann ein verteiltes Verarbeitungssystem verwendet werden, um einen hohen Grad der Flexibilität bei der Steuerstrategie zu schaffen, während eine einfache Verbindung zwischen den Unter-Prozessoren ermöglicht ist, um dadurch die Komplexität und die Kosten des Steuersystems zu verringern. Die verschiedenen Prozessoren enthalten vorzugsweise eine Funktionalität eines neuronalen Netzes, um Verhaltenseigenschaften bereitzustellen, die für die gewählte Aufgabe des Roboters geeignet sind, wobei die Verhaltenseigenschaften der Prozessoren vorzugsweise durch eine Gruppe generischer Moderatoren moderiert werden, die eine notwendige Entscheidung zwischen den Steuerbefehlen von den verschiedenen Prozessoren bereitstellen. Die Funktionen höherer Ebene enthalten vorzugsweise eine oder mehrere Funktionen, die aus der Bestimmung, dass der Roboter blockiert ist, der Raumgrößenabschätzung, der Bestimmung des Störsignalpegels und der Batterieüberwachung ausgewählt sind. Module niedrigerer Ebene sind vorzugsweise analoge neuronale Netze, die z. B. Kantenverfolgungs- und Abgabesteuerungsfunktionen vorzugsweise gemeinsam mit Klippenerfassungs-, Kollisionserfassungs-, Geschwindigkeitsverringereungs- und Zufallsbewegungsfunktionen bereitstellen.

[0019] Ein Beispiel eines Roboters mit Eigenantrieb, der gemäß der vorliegenden Erfindung aufgebaut ist, und sein Betriebsverfahren werden nun unter Bezugnahme auf die beigefügte Zeichnung beschrieben, in der:

[0020] **Fig. 1** eine Unteransicht des Roboters ist;

[0021] **Fig. 2** ein Funktionsplan des Roboters ist; und

[0022] die **Fig. 3A–C** Aspekte des neuronalen Netzes eines Teils des Steuersystems des Roboters veranschaulichen.

[0023] Aus **Fig. 1** ist ersichtlich, dass der Roboter der vorliegenden Erfindung in einer Gesamtdraufsicht im Wesentlichen kreisförmig ist. Ein einfaches plattenähnliches Fahrgestell **1** trägt sowohl die mechanischen als auch die elektrischen Komponenten des Roboters. Das plattenähnliche Fahrgestell **1** trägt den Körper **2** des Roboters auf elastischen Gummihalfterungen **3**, die eine Bewegung des Körpers relativ zu dem Fahrgestell ermöglichen, wenn eine Kraft, z. B. durch eine Kollision mit einem Objekt, auf einen Sensorring **20**, der um den Umfang des Körpers angeordnet ist, ausgeübt wird. Vier Verlagerungssensoren **4**, die in 90°-Intervallen um den Roboter angebracht sind, messen die Seitenverlagerung des Körpers **2** relativ zu dem Fahrgestell **1** und informieren das Steuersystem über den Kontakt mit einem externen Objekt. Die Verlagerungssensoren **4** basieren

auf Vorrichtungen des linearen Hall-Effekts, die eine Spannung erzeugen, die der Stärke des Magnetfelds, in das sie eingetaucht sind, proportional ist. Jeder Sensor enthält einen kleinen Permanentmagneten, der an dem Körperhüllen-Unterstützungsring **20** angebracht ist, und eine Hall-Effekt-Vorrichtung, die an dem Hauptchassis **1** angebracht ist. Wenn sich der Körper relativ zu dem Chassis bewegt (was während einer Kollision vorkommt), ändert sich die von der Hall-Effekt-Vorrichtung erzeugte Spannung und kann verwendet werden, um dem Steuersystem anzuzeigen, dass ein Objekt getroffen wurde. Durch Überprüfen aller Signale von allen vier Sensoren können der Winkel und die Stärke der Kollision abgeleitet werden. Diese Sensoren ermöglichen, dass Verlagerungen in der Größenordnung von 0,1 mm zuverlässig erfasst werden können. Ein fünfter Sensor **18** des gleichen Typs wie die Verlagerungssensoren **4** misst die vertikale Verlagerung der Körperhülle, um durch Objekte erzeugte Kräfte aufzunehmen, die ausreichend groß sind, um eine seitliche Körperbewegung zu bewirken. In einem alternativen Aufbau können diese Sensoren durch einen einzigen kundenspezifischen eingebauten Sensor ersetzt sein, der eine seitliche und eine vertikale Verlagerung gleichzeitig messen kann. Ein solcher integrierter Sensor kann ein optischer Sensor sein, der eine Anordnung von Photodetektoren, die auf dem Fahrgestell angebracht sind, und eine Lichtquelle, die auf dem Körperunterstützungsring angebracht ist, verwendet.

[0024] Ein einzelner, nach vorne weisender Fahrzeug-Ultraschallsensor **13** ist an der Vorderseite des Roboters angebracht und wird verwendet, damit der Roboter mehr Informationen in Bezug auf seine Umgebung erlangen kann als das lediglich durch die Verlagerungssensoren **4** möglich ist. Dieser Ultraschallsensor **13** basiert auf einer sonarbetriebenen Vermessungsvorrichtung mit einem Polaroid®-Vermessungsmodul der Polaroid-Serie 6500, Polaroid-Referenznummer 615077, deren Daten durch eine spezielle Einheit **5**, auf welcher der Sensor angeordnet ist, vorverarbeitet werden. Eine Ultraschallsensoreinheit **5**, die den eigentlichen Ultraschallsensor **13** enthält, und eine geeignete elektronische Schnittstelle sind auf dem Körper angebracht, um Nahbereichsinformationen an das Steuersystem des Roboters bereitzustellen.

[0025] Linke und rechte Motoren **6, 7** sind vorgesehen, um entsprechende linke bzw. rechte Räder **8, 9**, die jeweils einen weichen Gummireifen aufweisen, über ein integriertes Untersetzungsgetriebe anzutreiben, um den Roboter mit Bewegungsenergie zu versorgen. Eine einzelne Schwenkrolle **10**, die an der Rückseite des Roboters angebracht ist, vervollständigt das Antriebs/Bewegungssystem und ermöglicht dem Fahrgestell, sich vor und zurück zu bewegen und auf der Stelle zu drehen. Eine Änderung der Drehzahl der linken und rechten Motoren **6, 7** ermöglicht, dass der Roboter in jede Richtung gelenkt wird. Die Drehzahl der Motoren wird gesteuert, indem die

an die Motoren angelegte Spannung impulsbreitenmoduliert wird. Das schließt das sehr schnelle Ein- und Ausschalten des Motorstroms (100000 mal pro Sekunde) und das Verändern des Tastverhältnisses zwischen eingeschaltetem und ausgeschaltetem Zustand ein. Das ist eine sehr wirkungsvolle Art, die an die Motoren gelieferte Leistung und somit ihre Drehzahl zu steuern.

[0026] Leistung für den Roboter, einschließlich für die Motoren **6**, **7** und das Steuersystem wird von einem Batteriepack **11**, der an dem Fahrgestell angebracht ist, bereitgestellt. Um die Komponenten des Roboters gegen Diebstahl und vor Beschädigung zu schützen, ist an dem Körper **2** eine (nicht gezeigte) Abdeckung oder ein Gehäuse befestigt, um die Roboterkomponenten aufzunehmen. In der bevorzugten Ausführungsform besitzt dieses Gehäuse eine kugelabschnittförmige oder kuppelähnliche Form.

[0027] Eine Reihe von Sprühdüsen **16** und eine Pumpe **15** (in **Fig. 1** nicht gezeigt) schaffen ein Mittel zum Abgeben von Behandlungsfluid auf die zu behandelnde Oberfläche und Detektoren **14**, **15**, **17** sind vorgesehen, um das Vorhandensein des Behandlungsfluids (oder eines geeigneten zusätzlichen Markierungsfluids) zu erfassen. Die drei Sensoreinheiten **14**, **15**, **17**, wovon jeweils eine Einheit vor jedem der Antriebsräder und die dritte Einheit **17** mittig angeordnet sind, senden Licht bei einer Wellenlänge aus, die einen fluoreszierenden Farbstoff in dem zu erfassenden Produkt anregt. Diese Sensoren enthalten ein Paar lichtempfindliche Vorrichtungen, die unter einem Winkel von 90° zur Bewegungsrichtung des Roboters und um 20 mm voneinander beabstandet angeordnet sind und von dem fluoreszierenden Farbstoff erzeugtes Licht erfassen können. Durch Prüfen der Intensität des Lichts, das durch diese Vorrichtungen erfasst wird, kann die Kante eines Abschnitts eines bereits abgelagerten Produkts erfasst und somit verfolgt werden. Bei einem alternativen Aufbau leiten die drei Sensoreinheiten **14**, **15**, **17** einen kleinen elektrischen Strom durch die Bodenbeläge mit Hilfe einer Anordnung aus Kontakten aus rostfreiem Stahl, die geeignet sind, über die den Boden bedeckende Oberfläche zu gleiten. Die Leitfähigkeit des Bodenbelags schwankt in Abhängigkeit davon, ob er kürzlich mit dem Produkt besprüht wurde oder nicht. Durch Prüfen der Leitfähigkeit des Bodenbelags kann die Kante des bereits abgelagerten Produkts erfasst und somit verfolgt werden.

[0028] Bei einem alternativen Aufbau, bei dem ein Fluid an eine Kante oder Ecke abgegeben werden soll, ist die Positionierung des Sprühnebels modifiziert. Die Modifikation ist derart, dass der Sprühnebel an der Kante des Roboters oder darüber hinaus abgegeben werden kann, entweder indem z. B. Düsen am äußersten Umfang der Unterseite positioniert werden, oder durch zusätzliche Düsen, die von dem Gehäuse vorstehen und so gerichtet sind, dass sie über den Umfang des Roboters hinaus sprühen.

[0029] Das Steuersystem des Roboters umfasst

verschiedene Leiterplatten und Komponenten, die in **Fig. 1** nicht im Einzelnen gezeigt sind, die jedoch in **Fig. 1** durch das Bezugszeichen **12** allgemein angegeben sind.

[0030] Das Steuersystem wird nun genauer beschrieben.

[0031] Zwei Zwecke des Steuersystem eines selbstständigen mobilen Roboters, wie etwa der Zweck des Beispiels, bestehen darin, dass sich der Roboter in einer physikalischen Umgebung sicher bewegen kann und in der Lage ist, nützliche Aufgaben zu erfüllen. Dazu muss sich der Roboter seiner unmittelbaren Umgebung bewusst sein und muss in der Lage sein, auf bestimmte Umstände auf bestimmte Arten zu reagieren. Ein Roboter, der für eine uneingeschränkte häusliche Umgebung vorgesehen ist, muss bestimmte Grundfertigkeiten aufweisen, wie etwa eine Fertigkeit zur Kollisionserfassung, die bewirken könnten, dass er bei der Kollision mit einem Objekt anhält und dann eine ausweichende Aktion ausführt, bevor seine vorherige Aktivität wieder aufnimmt.

[0032] Bei der Kollisionserfassung werden die Sensoren **4**, **18**, **13**, die das Anstoßen an Objekte und die Nähe zu Objekten erfassen, das Steuersystem über den Winkel des Anstoßes und über seine Kraft informieren. Das Steuersystem muss auf diesen Reiz sehr schnell reagieren und jede weitere Bewegung in diese Richtung verhindern. Ein herkömmlicher Lösungsansatz dieses Problems würde darin bestehen, dass ein Computer die Kollisionssensoren überwacht und auf die Daten reagiert, um die Motoren anzuhalten, und dann eine bestimmte Art von Ausweichmanöver ausführt. Das ist perfekt machbar, wenn jedoch der gleiche Computer gleichzeitig andere Aufgaben ausführen muss, wie etwa in dem vorliegenden Fall die Überwachung anderer Sensoren und die Ausführung von Navigationsberechnungen, wird schnell ein Punkt erreicht, an dem die Geschwindigkeit und die Leistung des Computers, der sich an Bord befinden muss, unbezahlbar teuer wird, wenn die Reaktionszeiten annehmbar sein müssen.

[0033] Die in der vorliegenden Erfindung realisierte Alternative besteht darin, diskrete Module zu verwenden, die Funktionen in einer Weise ausführen, die den Reflexen eines biologischen Organismus analog ist. Der Vorteil dieses Systems ist offensichtlich: Der Hauptprozessor kann lediglich Befehle höherer Ebene, wie etwa für eine Bewegung oder Drehung, ausgeben und ist davon befreit, andere abstrakte Aufgaben auszuführen.

[0034] Diese Alternative ist eine Form der hierarchisch verteilten Verarbeitung und ermöglicht, dass das Steuersystem einzelne Module enthält, die gemeinsam schnellere Reaktionszeiten erreichen als ein nicht verteiltes System bei gleichen Kosten. Ein weiterer wesentlicher Vorteil der verteilten Verarbeitung ist ihre inhärente Robustheit. Wenn ein System, das eine herkömmliche Einzelprozessorkonstruktion verwendet, einen Ausfall erleidet, bleibt das System

möglicherweise in einem unsicheren Zustand, wobei es dann möglich sein könnte, dass ein Roboter mit Objekten oder Personen zusammenstößt. Die verteilte Lösung kann so beschaffen sein, dass eine viel größere Fehlertoleranz vorhanden ist, wodurch das Auftreten eines vollständigen Systemausfalls viel weniger wahrscheinlich wird.

[0035] Eine verteilte Verarbeitung kann unter Verwendung herkömmlicher Computer implementiert werden, die untereinander durch eine Form eines Netzes verbunden sind, wobei dieser Aufbau und diese Implementierung teuer sind. Die in der vorliegenden Erfindung verwendete Lösung besteht darin, biologische neuronale Netze in einer realen analogen Hardware zu simulieren, um ein System zu schaffen, das Verhaltensmodule enthält, die zum Ausführen individueller Aufgaben aufgebaut sind. Diese Verhaltensweisen werden durch einen einfachen Mikrocontroller verwaltet, der Aufgaben höherer Ebene, wie etwa mathematische Funktionen, ausführt, um eine Raumgröße abzuschätzen oder eine Strategie für einen Fluchtweg von einer Stelle unter einem Tisch zu entwickeln.

[0036] Das Steuersystem **100** wird nun unter Bezugnahme auf die **Fig. 2** und **3** beschrieben. **Fig. 2** veranschaulicht die funktionelle Beziehung zwischen den Komponenten des Steuersystems.

[0037] Die Verhaltenssteuerung, die bei dem Roboter verwendet wird, kann in zwei Basistypen unterteilt werden, die Verhaltensweisen höherer Ebene und die Verhaltensweisen niedrigerer Ebene. Verhaltensweisen höherer Ebene sind in der Hardware als diskrete neuronale Blöcke oder Module **101–105** implementiert, während Verhaltensweisen niedrigerer Ebene Software-Algorithmen sind, die auf einem Mikrocontroller **106** ablaufen.

[0038] Die Funktionen der Verhaltensmodule niedrigerer Ebene **101–105** werden anschließend genau beschrieben:

[0039] **Klippe:** Um zu verhindern, dass der Roboter eine Treppe hinunter fällt, ist er mit vier Klippendetektoren **21** ausgestattet, die vor vertikalen Gefahren warnen und Signale an das Klippenverhaltensmodul **101** bereitstellen. Die Klippendetektoren **21** sind aktive Infrarot-Näherungssensoren, die eine modulierte Lichtquelle, die einen Strahl Infrarot-Licht aussendet, der auf das Ziel gerichtet ist (in diesem Fall der Fußboden), sowie einen Infrarot-Detektor, der die Intensität des reflektierten Lichts überwacht, enthalten. Wenn der Sensor über eine Klippe gerichtet ist, verringert sich die Intensität des reflektierten Lichts und der Sensor informiert das Steuersystem über die Gefahr. Diese Verhaltensfunktion besitzt sehr hohe Priorität und wenn sie aktiv ist, wirkt sie, um den Roboter von der Gefahr weg zu manövrieren und ihn auf einen Kurs zurück zu bringen, der so modifiziert ist, dass das Stürzen von Klippen vermieden wird.

[0040] **Kantenverfolgung:** Das Kantenverfolgungsmodul **104** schafft eine Verhaltensfunktion, die Informationen von den Sensoren **14, 15, 17** verwendet,

die es dem Roboter ermöglichen, die Kante eines bereits behandelten Bereichs zu finden (wie oben beschrieben wurde) und sich längs dieser Kante zu bewegen, um eine schnellere Abtastung der Bodenoberfläche zu erreichen.

[0041] **Zufallsfunktion:** Beim Fehlen von Kanten bewegt sich der Roboter in einer willkürlichen Richtung unter der Wirkung eines Zufallsbewegungsmoduls **114**, bis es auf ein Objekt trifft und das Kantenverfolgungsverhalten aktiviert wird.

[0042] **Kollision:** Das Kollisionserfassungsmodul **102** erhält eine Eingabe von den Verlagerungssensoren **4, 18** und wirkt so, dass der Roboter beim Auftreffen auf ein Hindernis anhält, eine kurze Strecke zurück fährt, sich dann weg von dem Objekt in eine Richtung dreht, die von dem Auftreffwinkel abhängt, der aus den Signalen der Verlagerungssensoren **4, 18** bestimmt wird.

[0043] **Geschwindigkeitsreduzierung:** Wenn ein Objekt durch die Ultraschallsensor-Einheit **5** innerhalb einer voreingestellten Bereichsgrenze erfasst wird, wird die Vorwärtsgeschwindigkeit des Roboters durch das Geschwindigkeitsreduzierungsmodul **103** verringert, um die Auftreffkraft minimal zu machen, die erzeugt wird, wenn der Kontakt mit dem Objekt erfolgt.

[0044] **Abgabe:** Ein Abgabesteuerungsmodul **105** erhält Eingaben von einem Fluidpegelsensor **203** und den Sensoren **14, 15, 17** über das Kantenverfolgungsmodul **104**. Wenn die UV-Sensoren **14, 15, 17** unbehandelten Teppich in der Fahrrichtung melden, wird ein Behandlungskemikalie abgegeben, bis behandelte Bereiche angetroffen werden oder der Fluidpegel eine untere Grenze erreicht.

[0045] Verhaltensweisen höherer Ebene sind in dem Mikrocontroller **106** festgelegt und umfassen die folgenden Funktionsmodule:

[0046] **Blockierung:** Eine Routine **107** bestimmt, ob innerhalb einer ausgewählten Zeitperiode mehr als eine gewählte Anzahl von Kollisionen erfolgt sind und bewirkt, dass der Roboter anhält und die Ultraschall-Bereichsfinder **5, 13** verwendet, um den längsten freien Weg zu finden und sich in diese Richtung zu bewegen. Der Roboter dreht sich auf der Stelle, indem die Räder **8, 9** in entgegengesetzte Richtungen betätigt werden, während er nach dem längsten freien Weg sucht. Wenn die beste Richtung entdeckt wurde, bewegt sich der Roboter weiter in diese Richtung.

[0047] **Raumgrößenabschätzung:** Unter Verwendung statistischer Werte, die von dem Ultraschall-Sensor **13** erhalten werden, und durch Messen der Zeit zwischen Kollisionen ist die Routine **108** in der Lage, die Fläche des Raums abzuschätzen. Diese Angabe wird verwendet, um zu bestimmen, wie lange der Roboter braucht, um einen bestimmten Raum zu behandeln.

[0048] **Abschätzen des Störsignalpegels:** Durch Vergleichen der Abschätzungen von Raumgröße mit den Kollisionen pro Minute ist eine Routine **109** in der

Lage, einen Faktor abzuleiten, der die Komplexität des Raums beschreibt. Dieser kann dann verwendet werden, um die Laufzeit zu modifizieren, um sie dem Störsignalpegel anzupassen.

[0049] Batterieüberwachung: Eine Batterieüberwachungsroutine **110** prüft den Zustand der Batterie durch Überwachung der Ausgangsspannung und des Stroms. Sie verwendet diese Informationen, um abzuschätzen, wie lange die Batterie in der Lage sein wird, die Robotersysteme zu unterstützen, bevor ein Wiederaufladen erforderlich ist. Wenn die Überwachungsroutine entscheidet, dass sich der Batteriezustand dem Punkt nähert, an dem ein zuverlässiger Betrieb nicht mehr möglich ist, wird der Benutzer durch das Beleuchten einer Anzeige Batterietiefstand gewarnt. Wenn ein weiterer Betrieb des Roboters ohne Wiederaufladen zugelassen wird, wird die Überwachungsroutine den Roboter in sicherer und kontrollierter Weise abschalten, wenn der Leistungspegel einen vorgegebenen Punkt erreicht. Nickel-Cadmium- oder Nickel-Metallhydrid-Batterien erfordern ein sorgfältiges Aufladen, um eine maximale Kapazität und eine maximale Lebensdauer sicherzustellen, wobei die Überwachungsroutine außerdem den Ladungszyklus der Batterie steuert, um sicherzustellen, dass diese Erfordernisse erfüllt sind.

[0050] Entwickler neuronaler Netze haben traditionell darauf bestanden, dass jedes Neuron in einem Netz mit jedem anderen Neuron in diesem Netz verbunden ist. Obwohl das dem Netz den höchsten Grad der Flexibilität ermöglicht, werden sehr viele (sogar bis zu 90%) dieser Verbindungen niemals verwendet. Die vorliegende Erfindung ermöglicht, dass vorkonfigurierte neuronale Netze in einer viel weniger komplexen Art untereinander verknüpft werden, wodurch möglich ist, das Verhalten des Roboters auf die unmittelbare Umgebung in einer kontinuierlichen Weise dynamisch einzustellen.

[0051] Diese so genannte "Verteiler-Architektur" enthält einen analogen Bus oder einen Verteiler **111**, der alle Verhaltensmodule **101–105** und ihre zugehörigen Aktuatoren untereinander verbindet. Vier generische Moderatoren entscheiden zwischen den Verhaltensweisen und bewirken ein eigenes Prototyp-Verhalten, das die Gesamtaktivität des Roboters über einen Motorcontroller **112** und einen Fluidabgabepumpen-Controller **113**, der die Pumpe **115** antreibt, regelt. Diese generischen Moderatoren summieren alle Anregungs- und Sperreingänge und wenden auf die Ergebnisse eine nicht lineare Funktion an. Die Ausgänge von diesen Moderatoren bilden die Eingänge für die Motorcontroller.

[0052] Um die Funktion der Verteiler-Architektur zu erläutern, ist es erforderlich, die grundlegenden neuronalen Aspekte des Steuersystems zu beschreiben. Zu diesem Zweck wird auf die **Fig. 3A–C** Bezug genommen.

[0053] Ein einzelnes Neuron (siehe **Fig. 3A**) besitzt drei Typen von Verbindungen, Anregungseingänge, die bewirken, dass das Neuron "aktiviert" wird, Sper-

reingänge, die eine Aktivität unterdrücken, und den Ausgang, der den Zustand des Neurons repräsentiert. Zusätzliche Neuronen können weitere Eigenschaften besitzen, wie etwa eine Verzögerung, die bewirkt, dass der Ausgang zeitlich langsam abfällt, und ein Schwellenwert, der jeden Ausgang unterdrückt, bis die Summe aller Eingänge einen bestimmten Pegel übersteigt.

[0054] **Fig. 3B** zeigt (beispielhaft) ein vereinfachtes Bild des Kollisionsverhaltens und des Verteilersystems in einer neuronalen Darstellung.

[0055] Die Kollisionssensoren **4** sind in **Fig. 3B** mit den Bezugszeichen **1, 2, 3** und **4** bezeichnet und werden durch die Sensor-Vorprozessoren **5, 6, 7** und **8** gepuffert und normalisiert. Die Ausgänge der Sensor-Vorprozessoren werden jeweils zu einem einzelnen Neuron **9, 10, 11** bzw. **12** geleitet, das jeweils als eine Impulsdehnungseinrichtung mit einer Zeitkonstante von etwa 5 Sekunden konfiguriert ist. Die Ausgänge dieser Neuronen sind mit dem Rest des Netzes, das durch die Neuronen **13** bis **28** gebildet ist, verbunden, wobei das Muster der Verbindungen und die Übertragungseigenschaften der Neuronen das eigentliche Verhalten bestimmen. Die Ausgänge dieses Netzes sind über die Verbindungen **41** bis **48** mit den Verteiler-Summenbildnern (generische Moderatoren) **29** bis **32** verbunden, bei denen die Signale summiert werden, wobei die Ausgänge **37** bis **40** die Eingänge in die linken und rechten Motorcontroller (die in dieser Figur nicht gezeigt sind) bilden. Verbindung von einem anderen nicht spezifizierten Verhalten (von denen viele vorhanden sein können) sind mit den Bezugszeichen **50** bis **57** gezeigt. Die Verbindung **49** ist ein Summierungseingang, der verwendet wird, um das gesamte Verhalten unter der Steuerung der Steuerprogrammsoftware, die auf einem Mikrocontroller läuft, oder eines anderen neuronalen Verhaltens mit hoher Priorität zu sperren. Die Sensorausgänge werden außerdem an den Mikrocontroller bereitgestellt, so dass die Verhaltensweisen höherer Ebene, wie etwa die Abschätzung des Störsignalpegels, einen Zugriff auf alle erzeugten Daten haben können.

[0056] Bei einer direkten Kollision bei Geradeausfahrt gilt das Folgende:

[0057] Der Frontkollisionsdetektor **1** erzeugt einen Impuls, wenn der Kontakt mit einem Hindernis erfolgt. Dieser Impuls wird durch das Vorverarbeitungs-Sensorelement **5** verstärkt und an das Eingangsneuron **9** geleitet. Dieses Neuron ist so konfiguriert, dass es die Breite eines Eingangsimpulses (wenn dieser Impuls einen vorgegebenen Eingangsschwellenwert übersteigt) auf etwa 5 Sekunden dehnt. Der Ausgang des Eingangsneurons **9** wird gleichzeitig zu vier weiteren Neuronen **13, 14, 15** und **16** geleitet. Diese Neuronen der "versteckten Ebene" sind so konfiguriert, dass sie als Dämpfungselemente oder in neuronalen Termen als "Gewichtungen" wirken und somit die Amplitude der angelegten Signale ändern. Die Neuronen **13** und **15** sind so eingestellt, dass die bei

Anregung einen Ausgangspegel von 10 (Maximum) erzeugen und die Ausgänge sind mit den Ausgangsneuronen **22** und **26** verbunden, die bei Anregung Signale an den Verteiler anlegen, die die Motoren anweisen, eine Vorwärtsbewegung anzuhalten. Die Neuronen **14** und **16** sind so eingestellt, dass sie bei Anregung einen Ausgang von 5 (halber Wert) erzeugen und ihre Ausgänge sind mit den Ausgangsneuronen **23** und **27** verbunden, die bei Anregung Signale an den Verteiler anlegen, die die Motoren anweisen, den Roboter rückwärts zu bewegen. Dieser Teil des eigentlichen Verhaltens würde theoretisch dazu führen, dass der Roboter wiederholt mit einem Hindernis kollidiert und von diesem in einer geraden Linie zurücktreten würde, aber inhärente Ungenauigkeiten in dem Steuersystem und in der Antriebsmechanik in Verbindung mit der Tatsache, dass die Wahrscheinlichkeit einer vollkommen mittigen Kollision gering ist, bedeuten, dass andere Kollisionsstrategien, die die linken und rechten Sensoren enthalten, bewirken, dass sich der Roboter dreht, wenn er an einem Hindernis umkehrt, und ein sinnvolles Verhalten erzeugt.

[0058] Die Verteiler-Funktion wird nun unter Bezugnahme auf **Fig. 3C** genau beschrieben. Der Verteiler führt, wie es seine Bezeichnung nahelegt, alle Ausgänge von den verschiedenen neuronalen Verhaltensweisen des Roboters zusammen, addiert sie und liefert die Eingänge an die Motorcontroller. **Fig. 3C** zeigt den Abschnitt, der den rechten Motorcontroller steuert, wobei der linke Abschnitt identisch ist.

[0059] Die Verbindung **41** ist effektiv der Eingang "Gehe vorwärts nach rechts" und **42** ist der Eingang "Gehe nicht vorwärts nach rechts". Diese beiden entgegengesetzten Eingänge werden in den Anregungs- bzw. in den Sperreingang des Neurons **29** geleitet. Wenn die Werte "Gehe vorwärts" **6** und "Gehe nicht vorwärts" **3** gleichzeitig angelegt werden, gibt das Neuron **29** einen Wert **3** aus, wenn die Werte jedoch umgekehrt sind, d. h. "Gehe vorwärts" ist **3** und "Gehe nicht vorwärts" ist **6**, erzeugt das Neuron **29** eine 0. Das ist sehr wichtig, da das ein Verhalten ermöglicht, um eine Bewegung in eine bestimmte Richtung zu sperren, ohne eine Bewegung in die entgegengesetzte Richtung zu bewirken.

[0060] Das Neuron **30** führt die gleiche Aufgabe aus, mit der Ausnahme, dass seine Eingänge "Gehe rückwärts" **43** und "Gehe nicht rückwärts" **44** sind.

[0061] Das Neuron **29** ist mit dem Anregungseingang von **33** verbunden, der wiederum über die Verbindung **37** den Eingang "Gehe vorwärts" des rechten Motorcontrollers ansteuert. Die Neuronen **30** und **34** sind über die Verbindung **38** mit dem Eingang "Gehe rückwärts" des rechten Motorcontrollers verbunden. Die Motorcontroller summiert diese Eingänge, so dass die Werte "Gehe vorwärts" **8** und "Gehe rückwärts" **4**, die gleichzeitig an die Verbindungen **37** und **38** angelegt werden, zur Folge haben, dass sich das rechte Rad bei einer Geschwindigkeit von 4 vorwärts dreht.

[0062] Die Neuronen **33** und **34** besitzen außerdem

Sperrverbindungen, bei denen der Vorwärts-Signalweg mit dem Rückweg verbunden ist und umgekehrt. Das ermöglicht ein nicht lineares Verhalten des Verteilers und wenn die Stärke dieser Verbindungen verbessert wird, besteht eine geringere Wahrscheinlichkeit, dass der Roboter in einen stabilen Zustand eintritt, in dem keine Bewegung auftritt infolge der Verhaltensweisen mit widersprüchlichen Interessen, die gleichzeitig zugewiesen werden.

[0063] Weitere Einzelheiten von einigen der verschiedenen Sensoren und ihre Funktionsweise werden nun dargestellt:

[0064] Die Ultraschallsensoreinheit **5** besitzt einen Vorprozessor, der den Sensor **13** verwaltet, Taktimpulse bereitstellt usw. und das Verhalten höherer Ebene mit kontinuierlichen Daten "Bereich zum Ziel" und eine einfache Bereichswarnung an das Geschwindigkeitsverringereungs-Verhaltensmodul **103** bereitstellt. Der kontinuierliche Ausgang wird von dem Blockierverhalten-Modul **107** verwendet, das den Roboter um 360° dreht, während es nach einem freien Weg sucht, über den der Roboter entkommen kann, und wird außerdem von den Verhalten-Modulen **109**, **108** der Raumgröße bzw. der Störsignalabschätzung verwendet.

[0065] Um die Aufgabe der Abgabe der Behandlungsmittel (z. B. eine Teppichreinigungslösung, von der an sich bekannt ist, dass sie eine wässrige Lösung eines anionischen Tensids, wahlweise zusammen mit einem Polycarboxylat-Schmutzentfernungsmittel enthält) auf einer Oberfläche auszuführen, sollten die Bereiche der Oberfläche bekannt sein, die bereits behandelt wurden.

[0066] Ein Markierungsmittel, das der fraglichen Lösung zugesetzt wird, besitzt charakteristische Eigenschaften, wie etwa die Absorption oder die Emission von Licht bei einer bekannten Frequenz oder ein Fluoreszenzverhalten, die durch den Roboter erfasst werden können. Beispiele derartiger Markierungsmittel sind Luminal, das veranlasst werden kann, mit Wasserstoffperoxid zu reagieren, um Licht auszusenden, und substituierte Cumarine, wie etwa 7-Hydroxy- oder 4-Methyl-7-Hydroxy-Varianten, die stark fluoreszierend sind, jedoch Reaktionen der Ringöffnung unterzogen werden, damit sie ein nicht fluoreszierendes Derivat bilden.

[0067] Für Erfassungszwecke werden eine Lichtquelle und entsprechende Photodioden-Detektoren **14**, **15**, **17** links und rechts vor den Antriebsrädern **6**, **7** des Roboters angeordnet, um diese Markierungschemikalien zu erfassen und dem Steuersystem zu ermöglichen, die Kante eines vorherigen Durchlaufs zu verfolgen. Auf diese Weise kann ein strukturiertes Abgabemuster hergestellt werden. Darüber hinaus kann der Detektor über ein Gegenkopplungssystem mit der Abgabeanordnung verbunden sein, um dadurch die Ablagerung der Lösung auf einem Bereich zu vermeiden, der bereits behandelt wurde. Wenn kein Bereich des Bodens gefunden wird, der noch nicht behandelt wurde, wird die tatsächlich benötigte

Zeit mit Daten verglichen, die durch das Raumgröße-Verhaltensmodul **108** bereitgestellt werden. und wenn die beiden Werte innerhalb annehmbaren Grenzen liegen, wird die Behandlung des Bodens als abgeschlossen betrachtet. Die charakteristischen Eigenschaften, durch die die Markierung erfasst wird, klingen innerhalb von 24–48 Stunden nach der Aufbringung ab (durch Luftoxidation oder photolytische Zerlegung) oder bei einem zweistufigen Behandlungsverfahren kann eine zweite Chemikalie über der ersten aufgebracht werden, wodurch die charakteristischen Eigenschaften der Markierungschemikalie neutralisiert werden.

[0068] Ein alternatives Mittel zum Erreichen dieses gewünschten Verhaltens besteht darin, eine Feuchtigkeitserfassung zu verwenden, um Bereiche zu identifizieren, die bereits behandelt wurden. Dabei wird die inhärente Feuchtigkeit einer flüssigen Lösung verwendet, um behandelte Oberflächen über Anordnungen zur Feuchtigkeitserfassung zu erfassen, die links und rechts vor den Antriebsrädern **6, 7** des Roboters angeordnet sind. Dieses System kann ebenfalls verwendet werden, um den Roboter zu befähigen, der Kante eines vorherigen Durchlaufs zu folgen.

[0069] Wenn eine harte Bodenoberfläche behandelt wird (z. B. mit einer wässrigen Reinigungslösung, die ein nicht ionisches Tensid mittlerer Kettenlänge mit Carbonatcitrat und Natronlauge enthält), können die Reflexionseigenschaften des Bodens verwendet werden, um zu erfassen, welche Bereiche des Bodens bereits behandelt wurden. Eine Lichtquelle mit hoher Intensität richtet Licht auf den Boden, das nach der Reflexion durch einen Photodioden-Detektor erfasst wird. Diese sind links und rechts vor den Antriebsrädern **6, 7** des Roboters angeordnet. Dieses System kann ebenfalls verwendet werden, um den Roboter zu befähigen, der Kante eines früheren Durchlaufs zu folgen. Dabei wird die Fähigkeit einer Lösung, das Reflexionsvermögen des Bodens zu verringern, ausgenutzt, um ihre Erfassung zu ermöglichen.

### Patentansprüche

1. Selbstständiger Roboter mit Eigenantrieb, der sich über eine zu behandelnde Oberfläche bewegen kann, wobei der Roboter umfasst:  
eine Leistungsversorgung (**11**);  
einen Fortbewegungsmechanismus (**6–9**), der Leistung von der Leistungsversorgung empfängt und den Roboter über die Oberfläche bewegt;  
einen Mechanismus (**16**), der auf der Oberfläche ein flüssiges Material steuerbar ablagert;  
mehrere Navigationssensoren (**4, 13, 18, 21**), die Signale bereitstellen, um den Roboter in die Lage zu versetzen, über die Oberfläche zu navigieren;  
einen oder mehrere Detektoren (**14, 15, 17**), die das Vorhandensein des Materials auf der Oberfläche erfassen und Signale, die dies angeben, bereitstellen

können; und  
ein Steuersystem (**12, 100**), das die Signale von den Sensoren und von den Detektoren empfängt und den Fortbewegungsmechanismus und den Ablagerungsmechanismus in Abhängigkeit von den von den Sensoren und den Detektoren empfangenen Signalen steuert,

**dadurch gekennzeichnet**, dass das Steuersystem (**12, 100**) in der Weise arbeitet, dass es die Ablagerung des flüssigen Materials durch eine Kombination von Strategien steuert, die eine Navigationsstrategie und eine Ablagerungsraten-Steuerstrategie umfassen, wobei die Navigationsstrategie darin besteht, den Roboter um bereits behandelte Bereiche der Oberfläche zu navigieren, und die Ablagerungsraten-Steuerstrategie darin besteht, den Ablagerungsmechanismus (**16**) so zu steuern, dass er die Ablagerung des flüssigen Materials auf der Oberfläche anhält oder verringert, wenn sich der Roboter über solche bereits behandelte Bereiche bewegt, und wobei das Steuersystem in Abhängigkeit von den Signalen, die von den Navigationssensoren (**4, 13, 18, 21**) und von den Ablagerungsdetektoren (**14, 15, 17**) empfangen werden, zwischen den beiden Strategien entscheidet.

2. Roboter nach Anspruch 1, bei dem die Navigationssensoren Kollisionssensoren umfassen, die einen oder mehrere Querverlagerungssensoren (**4**), die an einem Umfangssensorring (**20**) angeordnet sind, um eine Kollisionserfassung über 360° zu schaffen, und/oder einen oder mehrere Vertikalverlagerungssensoren (**18**) enthalten.

3. Roboter nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, bei dem die Detektoren einen oder mehrere Sensoren (**14, 15**) umfassen, die so angeordnet sind, dass sie die Kante eines Abschnitts eines vorher abgelagerten Produkts erfassen.

4. Roboter nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei dem die Ablagerungsdetektoren einen oder mehrere Strahlungsquellen und/oder Strahlungsdetektoren, Feuchtigkeitsdetektoren, Reflexionsvermögenmesser und Leitfähigkeitsmesser enthalten.

5. Roboter nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei dem das Steuersystem (**100**) eine hierarchische Architektur besitzt und einen oder mehrere Mikroprozessor-Controller oder Mikrocontroller (**106**), die Funktionen höherer Ebene steuern und Befehle höherer Ebene bereitstellen; und mehrere Funktionsmodule (**101–104, 114**) niedrigerer Ebene, die Signale von den Sensoren und den Detektoren (**4, 13–15, 17, 18, 21**) empfangen können und Prozessoren besitzen, die in Reaktion darauf Steuersignale bereitstellen, umfasst.

6. Roboter nach Anspruch 5, bei dem die Fortbewegungsmechanismus- und Produktabgabe-Steuer-

signale an einen Fortbewegungsmechanismus-Controller (**112**) bzw. an einem Produktabgabe-Controller (**113**) über einen Verteiler oder Bus (**111**) ausgegeben werden, der so beschaffen ist, dass er Signaleingänge von dem (den) Mikroprozessoren) oder dem (den) Mikrocontroller(n) (**106**) und von den Funktionsmodulen (**101–104**) niedrigerer Ebene empfängt.

7. Roboter nach Anspruch 5 oder Anspruch 6, bei dem die Funktionsmodul-Prozessoren (**101–104**, **114**) niedrigerer Ebene eine Funktionalität eines neuronalen Netzes enthalten, um Verhaltenseigenschaften bereitzustellen, die für die gewählte Aufgabe des Roboters geeignet sind, wobei die Verhaltenseigenschaften der Prozessoren durch eine Gruppe generischer Moderatoren (**111**, **29–32**) moderiert werden, die eine Entscheidung zwischen den Steuerbefehlen von den verschiedenen Prozessoren (**101–104**, **114**) bereitstellen.

8. Roboter nach Anspruch 7, bei dem die Module (**101–104**, **114**) niedrigerer Ebene analoge neuronale Netze umfassen, die Funktionen bereitstellen, die aus Kantenerfolgungs- und Abgabesteuerfunktionen, Klippenerfassungs-, Kollisionserfassungs-, Geschwindigkeitsverringereungs- und Zufallsbewegungsfunktionen ausgewählt sind.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

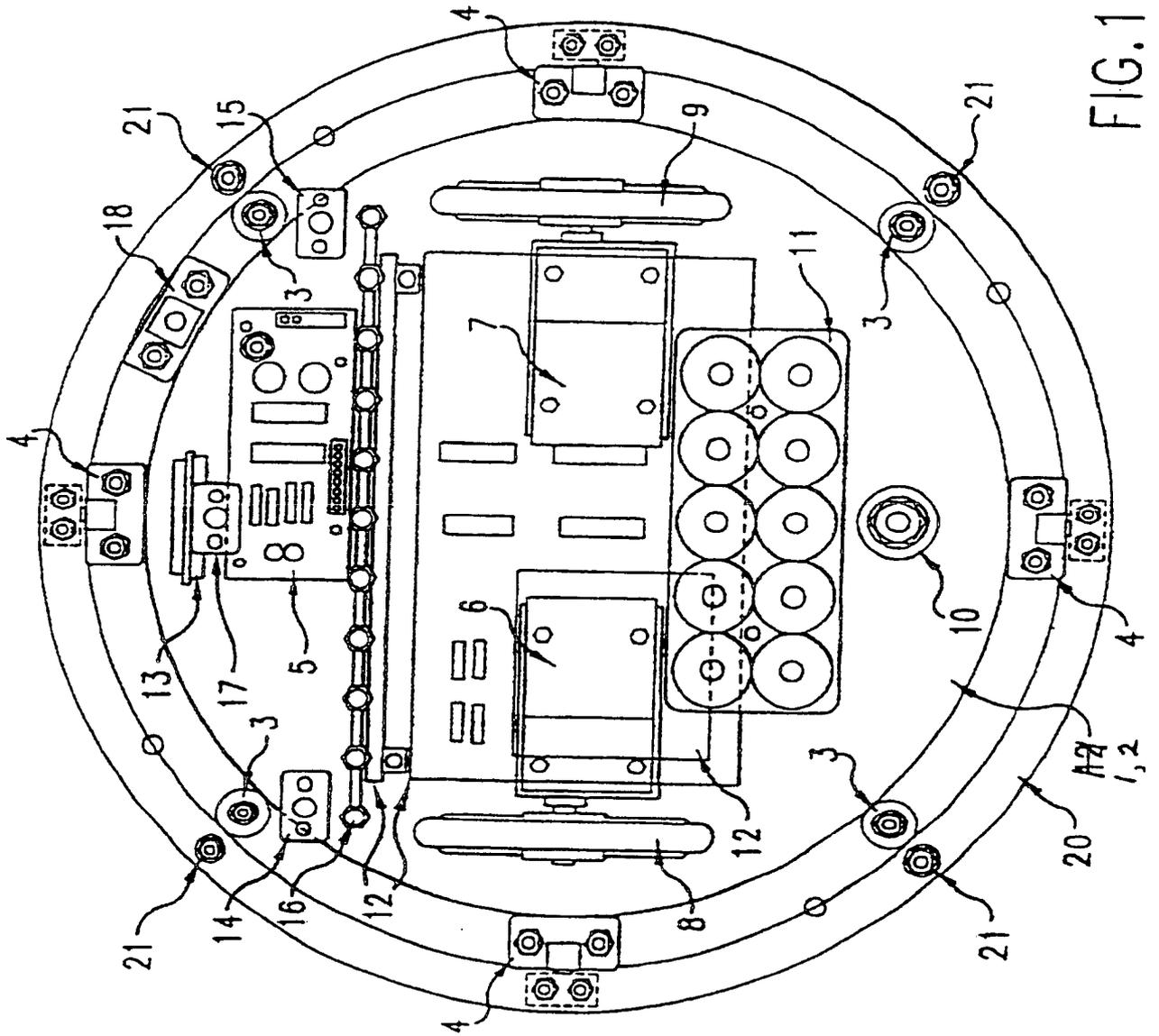


FIG. 1

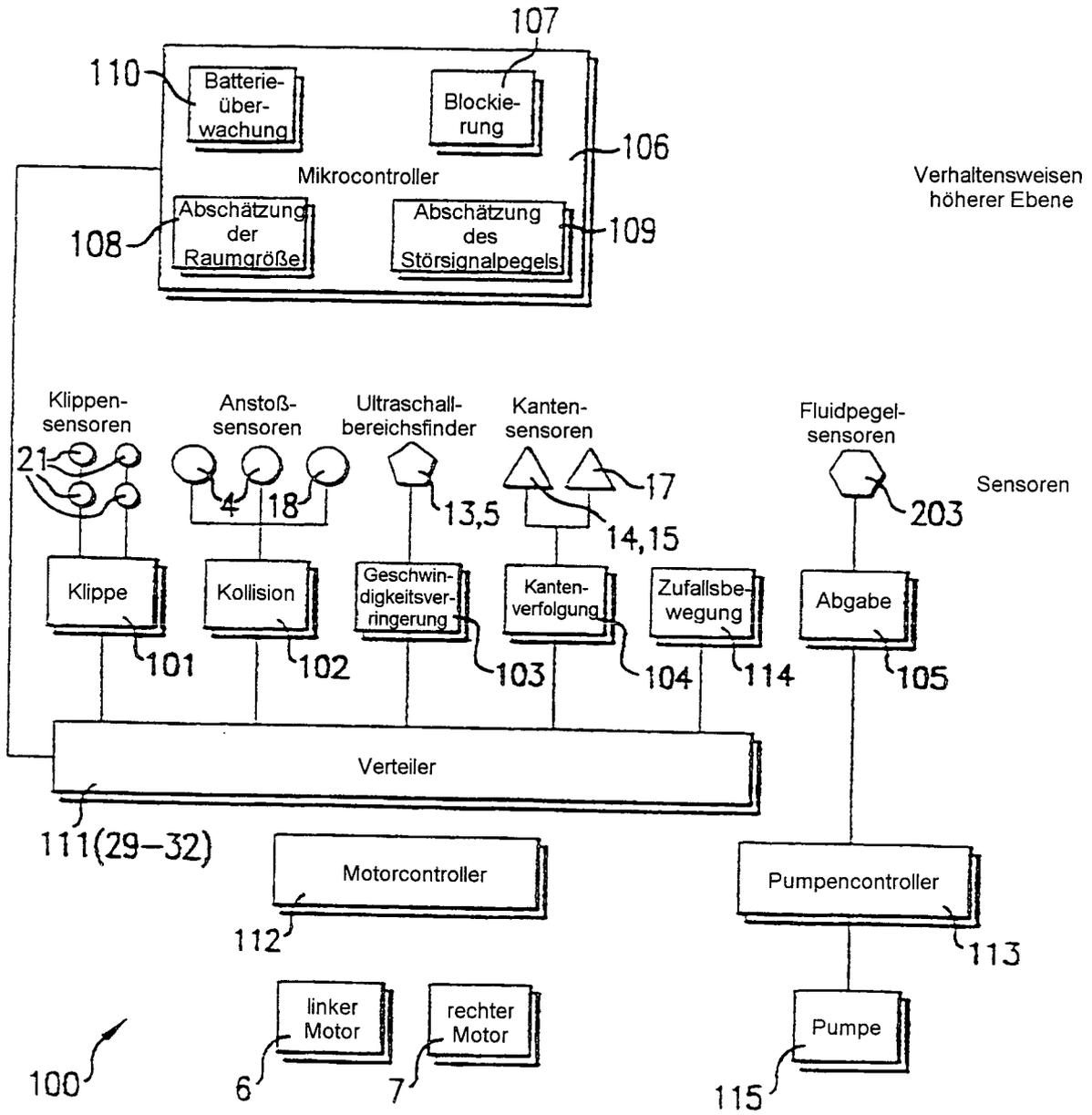


FIG.2

