(19) Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2016 004 902 A1** 2017.10.26

(12) # Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2016 004 902.2**
(22) Anmeldetag: **22.04.2016**
(43) Offenlegungstag: **26.10.2017**

(51) Int Cl.: ***B25J 19/06*** (2006.01)

(71) Anmelder:
KUKA Roboter GmbH, 86165 Augsburg, DE

(74) Vertreter:
Wallinger Ricker Schlotter Tostmann Patent- und Rechtsanwälte Partnerschaft mbB, 80331 München, DE

(72) Erfinder:
Settele, Norbert, 86574 Petersdorf-Wilprechtszell, DE

(56) Ermittelter Stand der Technik:

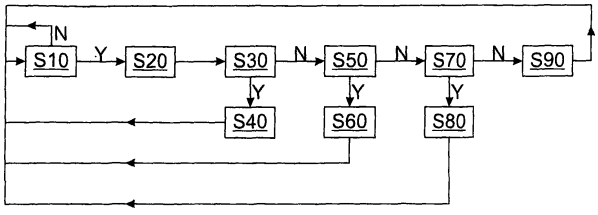
DE	**10 2005 003 827**	**A1**
DE	**10 2007 028 390**	**A1**
DE	**10 2009 046 107**	**A1**
DE	**10 2010 005 708**	**A1**
DE	**10 2010 007 025**	**A1**
DE	**10 2010 063 208**	**A1**
DE	**10 2012 007 242**	**A1**
DE	**10 2013 020 135**	**A1**
DE	**10 2013 203 547**	**A1**
DE	**20 2013 104 264**	**U1**
DE	**20 2014 100 411**	**U1**
EP	**0 179 252**	**A2**
WO	**2007/ 085 330**	**A1**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Überwachung eines Roboters**

(57) Zusammenfassung: Ein erfindungsgemäßes Verfahren zum Überwachen eines Roboters (1) umfasst die Schritte:
Ermitteln (S20) eines kinematischen Parameters (P, v) wenigstens eines Objekts (4), das sich vollständig außerhalb eines Arbeitsraums (A) des Roboters (1) und wenigstens teilweise in einem Überwachungsraum (U) befindet, der außerhalb des Arbeitsraums (A) des Roboters (1) angeordnet ist; und
Auslösen (S50–S90) einer Sicherheitsreaktion zur Reduzierung eines Kollisionsrisikos in Abhängigkeit von dem ermittelten kinematischen Parameter (P, v) des Objekts (4) in dem Überwachungsraum (U) des Roboters (1).



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Überwachen eines Roboters sowie ein System und ein Computerprogrammprodukt zur Durchführung des Verfahrens.

[0002] Aus der DE 10 2013 020 135 A1 ist ein Verfahren zum Überwachen eines Arbeitsraums einer Fertigungsanlage mit einem Roboter mittels einer Tiefenbildkamera bekannt. Wird dabei ein Eindringen eines unerwünschten Objekts erfasst, so wird ein automatischer Vorgang unterbrochen, um eine Kollision zu verhindern.

[0003] Durch das Überwachen nur des Arbeitsraums selber wird dabei das Objekt frühestens bei seinem Eindringen erfasst.

[0004] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine Überwachung eines Roboters zu verbessern.

[0005] Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Ansprüche 9 bis 11 stellen ein System und ein Computerprogrammprodukt zur Durchführung eines hier beschriebenen Verfahrens bzw. eine Anordnung mit einem Roboter und einem hier beschriebenen System unter Schutz. Die Unteransprüche betreffen vorteilhafte Weiterbildungen.

[0006] Nach einer Ausführung der vorliegenden Erfindung umfasst ein Verfahren zum Überwachen eines Roboters die Schritte: Ermitteln eines kinematischen Parameters wenigstens eines, insbesondere unbekannten bzw. nicht vorgesehenen bzw. nicht vorgegebenen, Objekts, das sich vollständig außerhalb eines Arbeitsraums des Roboters und wenigstens teilweise in einem Überwachungsraum bzw. innerhalb eines Überwachungsraums befindet, welcher außerhalb des Arbeitsraums des Roboters angeordnet ist; und Auslösen, insbesondere Ausführen, einer Sicherheitsreaktion zur Reduzierung eines Kollisionsrisikos in Abhängigkeit von dem ermittelten kinematischen Parameter des Objekts in dem Überwachungsraum des Roboters, welche nachfolgend ohne Beschränkung der Allgemeinheit als erste Sicherheitsreaktion bezeichnet wird.

[0007] Entsprechend weist in einer Ausführung der vorliegenden Erfindung ein System zum Überwachen eines Roboters auf: Mittel zum Ermitteln eines kinematischen Parameters wenigstens eines, insbesondere unbekannten bzw. nicht vorgesehenen bzw. nicht vorgegebenen, Objekts, das sich vollständig außerhalb eines Arbeitsraums des Roboters und wenigstens teilweise in einem Überwachungsraum bzw. innerhalb eines Überwachungsraums befindet, der außerhalb eines Arbeitsraums des Roboters angeordnet ist; und Mittel zum Auslösen, insbesondere Ausführen, einer (ersten) Sicherheitsreaktion zur Reduzierung eines Kollisionsrisikos in Abhängigkeit von dem ermittelten kinematischen Parameter des Objekts in dem Überwachungsraum des Roboters.

[0008] Durch die Überwachung eines Überwachungsraums, der außerhalb eines Arbeitsraums des Roboters angeordnet ist, kann in einer Ausführung vorteilhaft bereits frühzeitig bzw. vorab ein (mögliches bzw. voraussichtliches) Eindringen des Objekts in den Arbeitsraum erkannt und so gezielt eine entsprechende Sicherheitsreaktion ausgeführt werden. Ein Objekt kann beispielsweise eine Person, ein Bauteil, ein Werkzeug, ein anderer Roboter, ein Fahrzeug, etc. oder entsprechend ein Teil davon, umfassen.

[0009] Der Roboter weist in einer Ausführung wenigstens drei, insbesondere wenigstens sechs, insbesondere wenigstens sieben, Gelenke bzw. Bewegungsachsen, insbesondere Drehgelenke bzw. -achsen, und Antriebe zum Aktuieren dieser Gelenke bzw. Bewegungsachsen auf. Insbesondere sechs- oder mehrgelenkige Robotern können komplexe Arbeitsräume aufweisen, in denen eine erhöhte Wahrscheinlichkeit einer Kollision mit unvorhergesehenen Objekten besteht und daher die vorliegende Erfindung besonders vorteilhaft verwendet werden kann.

[0010] Der Arbeitsraum eines Roboters ist in einer Ausführung derjenige kartesische Raum, der durch den Roboter, insbesondere einen Endeffektor des Roboters, insbesondere einen Werkzeugflansch des nutzlastlosen Roboters oder ein robotergeführtes Bauteil, insbesondere Werkzeug oder Werkstück, maximal abfahr- bzw. überstreich- bzw. erreichbar ist. Der Arbeitsraum kann durch die maximale Reichweite des Roboters, gegebenenfalls einschließlich des Endeffektors und/oder des geführten Bauteils, vorgegeben sein. Der Arbeitsraum kann auch variabel sein, wobei der Arbeitsraum zweckmäßigerweise zu jedem Zeitpunkt vorbestimmt ist. Beispielsweise kann der Arbeitsraum durch ein Steuerungsprogramm zur Steuerung der Bewegungen des Roboters vorgegeben sein. Insbesondere kann der Arbeitsraum gegenüber der maximalen Reichweite des Roboters verringert sein, wenn das Steuerungsprogramm lediglich eine Bewegung des Roboters in einem dazu kleinerem Arbeitsraum vorsieht. Alternativ oder zusätzlich kann der Roboter nicht ortsfest sein. Beispielsweise kann der Roboter auf einer mobilen Plattform angeordnet sein. Diese mobile Plattform kann bevorzugt als Fahrzeug, insbesondere als omnidirektionales Fahrzeug, oder als Linearachse ausgebildet sein, wobei die Linearachse am Boden, an einer Wand oder an einer Decke montiert sein kann. Dementsprechend kann der Arbeitsraum relativ zum Roboter konstant und dennoch relativ zur Umgebung örtlich variabel sein.

[0011] Der Überwachungsraum grenzt bzw. schließt in einer Ausführung vollständig bzw. mit seiner gesamten arbeitsraumzugewandten Außengrenze oder teilweise bzw. mit einem Teil bzw. (Teil)Bereich seiner arbeitsraumzugewandten Außengrenze an den Arbeitsraum bzw. dessen überwachungsraumzugewandte Außengrenze an. Zusätzlich oder alternativ umgibt bzw. -schließt bzw. überdeckt der Überwachungsraum in einer Ausführung eine zugängliche Außengrenze des Arbeitsraums vollständig bzw. dessen gesamte zugängliche Außengrenze oder teilweise bzw. einen Teil bzw. (Teil)Bereich der zugänglichen Außengrenze des Arbeitsraums. Eine zugängliche Außengrenze des Arbeitsraums ist in einer Ausführung derjenige Teil einer Außengrenze des Arbeitsraums, der für Objekte mit einem Durchmesser von wenigstens 1 cm, insbesondere wenigstens 10 cm, zugänglich und/oder nicht durch, insbesondere feste, Wände, insbesondere einen Boden, Zaun oder dergleichen abgedeckt bzw. definiert ist.

[0012] Hierdurch können in einer Ausführung das Risiko, ein sich dem Arbeitsraum näherndes Objekt nicht (frühzeitig) zu erfassen, reduziert bzw. gezielt überwachungsfreie Zugänge zu dem Arbeitsraum und/oder eine vorteilhafte, insbesondere symmetrische, Kontur des Überwachungsraums definiert werden.

[0013] Der Überwachungsraum weist in einer Ausführung eine, wenigstens im Wesentlichen, (teil) sphärische bzw. (teil)kugelförmige oder zylindrische oder rechteckförmige arbeitsraumzu- und/oder -abgewandte Außengrenze auf. Hierdurch kann der Überwachungsraum in einer Ausführung vorteilhaft, insbesondere einfacher, überwacht, insbesondere abgetastet, und/oder von Personen und/oder einer Prozessplanung berücksichtigt bzw. respektiert werden.

[0014] In einer Ausführung weist eine arbeitsraumabgewandte Außengrenze des Überwachungsraums von einer überwachungsraumzugewandten Außengrenze des Arbeitsraums einen maximalen Abstand auf, der wenigstens 0,1 m, insbesondere wenigstens 1 m, insbesondere wenigstens 2 m, insbesondere wenigstens 4 m, und/oder höchstens 10 m, insbesondere höchstens 8 m, insbesondere höchstens 6 m, beträgt. Zusätzlich oder alternativ weist in einer Ausführung eine bzw. die arbeitsraumabgewandte Außengrenze des Überwachungsraums von einer bzw. der überwachungsraumzugewandten Außengrenze des Arbeitsraums einen minimalen Abstand auf, der wenigstens 0,1 m, insbesondere wenigstens 1 m, insbesondere wenigstens 2 m, insbesondere wenigstens 4 m, und/oder höchstens 10 m, insbesondere höchstens 8 m, insbesondere höchstens 6 m, beträgt.

[0015] In einer Ausführung ragt bzw. reicht der Überwachungsraum wenigstens horizontal, insbesondere räumlich, um wenigstens 0,1 m, insbesondere wenigstens 1 m, insbesondere wenigstens 2 m, insbesondere wenigstens 4 m, und/oder um höchstens 10 m, insbesondere höchstens 8 m, insbesondere höchstens 6 m, über den Arbeitsraum hinaus.

[0016] Ein bzw. der Abstand zwischen einem Punkt der arbeitsraumabgewandten Außengrenze des Überwachungsraums von der überwachungsraumzugewandten Außengrenze des Arbeitsraums ist in einer Ausführung der horizontale oder kartesische Abstand zu dem diesem Punkt nächsten bzw. nächstgelegenen Punkt der überwachungsraumzugewandten Außengrenze des Arbeitsraums. Entsprechend ist der maximale Abstand der arbeitsraumabgewandten Außengrenze des Überwachungsraums von der überwachungsraumzugewandten Außengrenze des Arbeitsraums der größte horizontale oder kartesische Abstand zwischen einem Punkt der arbeitsraumabgewandten Außengrenze des Überwachungsraums und dem ihm nächsten bzw. nächstgelegenen Punkt der überwachungsraumzugewandten Außengrenze des Arbeitsraums, der minimale Abstand der arbeitsraumabgewandten Außengrenze des Überwachungsraums von der überwachungsraumzugewandten Außengrenze des Arbeitsraums entsprechend der kleinste horizontale oder kartesische Abstand zwischen einem Punkt der arbeitsraumabgewandten Außengrenze des Überwachungsraums und dem ihm nächsten bzw. nächstgelegenen Punkt der überwachungsraumzugewandten Außengrenze des Arbeitsraums.

[0017] Zusätzlich oder alternativ weist in einer Ausführung eine bzw. die arbeitsraumabgewandte Außengrenze des Überwachungsraums einen, insbesondere minimalen, maximalen oder mittleren, horizontalen oder kartesischen Abstand zu einem geometrischen Volumenmittelpunkt des Arbeitsraums oder einer roboterfesten Referenz, insbesondere zu einem Punkt einer Basis oder zu einer basisnächsten ersten Achse des Roboters, auf, der um wenigstens 0,1 m, insbesondere wenigstens 1 m, insbesondere wenigstens 2 m, insbesondere wenigstens 4 m, und/oder höchstens 10 m, insbesondere höchstens 8 m, insbesondere höchstens 6 m, größer ist als ein, insbesondere maximaler, minimaler oder mittlerer, horizontaler oder kartesischer Abstand einer bzw. der überwachungsraumzugewandten Außengrenze des Arbeitsraums zu dem Volumenmittelpunkt bzw. der roboterfesten Referenz.

[0018] In einer Weiterbildung weist die arbeitsraumabgewandte Außengrenze des Überwachungsraums von einer proximalen bzw. basisnächsten bzw. ersten Achse des Roboters oder einem Punkt auf dieser Achse, der auf Höhe der darauffolgenden bzw. zweiten Achse oder auf Höhe einer Standfläche der Basis des Roboters liegt, einen minimalen horizontalen oder kartesischen Abstand auf, der um wenigs-

tens 0,1 m, insbesondere wenigstens 1 m, insbesondere wenigstens 2 m, insbesondere wenigstens 4 m, und/oder höchstens 10 m, insbesondere höchstens 8 m, insbesondere höchstens 6 m, größer ist als eine maximale Auslage bzw. ein, insbesondere steuerungstechnisch oder konstruktiv bedingter, maximaler Abstand eines distalen Endes, insbesondere eines Endeffektors, des Roboters, insbesondere eines Werkzeugflanschs des nutzlastlosen Roboters oder eines robotergeführten Bauteils, insbesondere Werkzeugs oder Werkstücks, von dieser Achse bzw. diesem Punkt.

[0019] Entsprechend der konstanten oder variablen Ausgestaltung des Arbeitsraumes kann der Überwachungsraum mit Bezug auf die Umgebung konstant oder variabel sein. Mit anderen Worten kann der Überwachungsraum im Umgebungsraum variabel sein, beispielsweise, wenn der Arbeitsraum aufgrund der Bewegung des Roboters im Raum bewegt wird und/oder aufgrund des Steuerungsprogramms vergrößert bzw. verkleinert wird.

[0020] Durch die vorstehend genannten Werte kann in einer Ausführung insbesondere eine rechtzeitige und/oder zuverlässige Erfassung eines potentiell in den Arbeitsraum eindringenden Objekts realisiert und/oder die Wahrscheinlichkeit einer unnötigen Ausführung der Sicherheitsreaktion reduziert werden.

[0021] In einer Ausführung umfasst das Verfahren die Schritte: Ermitteln eines, insbesondere des gleichen, kinematischen Parameters des Objekts, das bzw. wenn sich dieses wenigstens teilweise in dem Arbeitsraum bzw. innerhalb des Arbeitsraums des Roboters befindet; und Auslösen, insbesondere Ausführen, einer, insbesondere der gleichen (ersten) oder anderen bzw. von der ersten verschiedenen zweiten, Sicherheitsreaktion zur Reduzierung eines Kollisionsrisikos in Abhängigkeit von dem ermittelten kinematischen Parameter des Objekts in dem Arbeitsraum des Roboters.

[0022] Entsprechend weist in einer Ausführung das System auf: Mittel zum Ermitteln eines, insbesondere des gleichen, kinematischen Parameters des Objekts, das bzw. wenn sich dieses wenigstens teilweise in dem Arbeitsraum bzw. innerhalb des Arbeitsraums des Roboters befindet; und Mittel zum Auslösen, insbesondere Ausführen, einer, insbesondere der gleichen (ersten) oder anderen bzw. von der ersten verschiedenen zweiten, Sicherheitsreaktion zur Reduzierung eines Kollisionsrisikos in Abhängigkeit von dem ermittelten kinematischen Parameter des Objekts in dem Arbeitsraum des Roboters.

[0023] Hierdurch kann in einer Ausführung eine gestufte Abfolge einer ersten und zweiten Sicherheitsreaktion in Abhängigkeit von einem prognostizierten Eindringen und einer anschließenden (tatsächlichen bzw. aktuellen) Präsenz eines Objekts in den bzw. dem Arbeitsraum ausgeführt werden.

[0024] In einer Ausführung kann der (ermittelte) kinematische Parameter des Objekts, das sich vollständig außerhalb des Arbeitsraums und wenigstens teilweise in dem Überwachungsraum befindet, und/oder der kinematische Parameter des Objekts, das bzw. wenn sich dieses wenigstens teilweise in dem Arbeitsraum befindet, eine, insbesondere ein-, zwei-, drei- oder mehrdimensionale, Position, insbesondere ein-, zwei- oder dreidimensionale Lage und/oder Orientierung, insbesondere ein(en), insbesondere ein-, zwei- oder dreidimensionale(n/r) und/oder horizontale(n/r) oder kartesische(n/r) bzw. räumliche(n/r), Abstand, insbesondere (relativ) zu einer roboter- und/oder umgebungsfesten Referenz, und/oder eine, insbesondere ein-, zwei- oder dreidimensionale translatorische und/oder rotatorische, Geschwindigkeit des Objekts, insbesondere relativ zu einer roboter- und/oder umgebungsfesten Referenz und/oder in einer Richtung senkrecht zu einer überwachungsraumzugewandten Außengrenze des Arbeitsraums, umfassen, insbesondere sein.

[0025] Insbesondere auf Basis einer Position und/oder Geschwindigkeit des Objekts können in einer Ausführung vorteilhafte, insbesondere spezifische, Sicherheitsreaktionen ausgelöst und/oder ein voraussichtlicher Eintritt in den Arbeitsraum prognostiziert werden. Dabei kann die Berücksichtigung der Geschwindigkeit es in einer Ausführung insbesondere gestatten, unbewegte Objekte im Überwachungs- bzw. Arbeitsraum zu ignorieren.

[0026] Die Geschwindigkeit des Objekts kann beispielsweise mittels Radar oder dergleichen ermittelt werden. In einer Ausführung wird die Geschwindigkeit des Objekts auf Basis von zwei oder mehr zeitlich aufeinanderfolgenden ermittelten Positionen, insbesondere Abständen, des Objekts ermittelt, insbesondere durch Subtraktion der Positionen bzw. Abständen und gegebenenfalls Division durch die Zeitdifferenz zwischen den Positionen bzw. Abständen bzw. den Zeitpunkten, zu denen diese erfasst worden sind. Entsprechend weist in einer Ausführung das System auf: Mittel zum Ermitteln der Geschwindigkeit des Objekts auf Basis von zwei oder mehr zeitlich aufeinanderfolgenden ermittelten Positionen, insbesondere Abständen, des Objekts, insbesondere durch Subtraktion der Positionen bzw. Abständen und gegebenenfalls Division durch die Zeitdifferenz zwischen den Positionen bzw. Abständen.

[0027] Hierdurch können in einer Ausführung vorteilhaft sowohl Positionen als auch Geschwindigkeiten auf Basis derselben Messungen ermittelt werden.

[0028] Die Position und/oder Geschwindigkeit des Objekts kann beispielsweise mittels Ultraschall oder dergleichen ermittelt werden. In einer Ausführung wird (wenigstens) eine Position, insbesondere (wenigstens) ein Abstand, und/oder eine Geschwindigkeit des Objekts mittels elektromagnetischer Strahlung, insbesondere Infrarotstrahlung und/oder mittels einer Tiefenbildkamera, ermittelt. Dabei kann in einer Weiterbildung die elektromagnetische Strahlung, insbesondere Infrarotstrahlung, insbesondere ein vorgegebenes Muster, ausgestrahlt, die auf dem Objekt auftreffende Strahlung, insbesondere das auf das Objekt projizierte Muster, insbesondere mittels eines optischen Sensors, insbesondere eines CCD-Sensors, detektiert, und hieraus, insbesondere auf Basis einer Verzerrung des Musters, einem zeitlichen Abstand zwischen Ausstrahlen der Strahlung und Detektieren der Strahlung auf dem Objekt oder dergleichen, dessen Position, insbesondere Abstand, ermittelt werden. Hierzu wird ergänzend Bezug auf die eingangs genannte DE 10 2013 020 135 A1 genommen und deren Inhalt vollständig in die vorliegende Offenbarung einbezogen. In einer Weiterbildung können Positionen des Objekts insbesondere mittels eines Tiefensensors ermittelt werden, insbesondere eines Tiefensensors in der Art eines Kinect-Tiefensensors, wie er von der Firma PrimeSense aus Israel bekannt ist.

[0029] Entsprechend weist in einer Ausführung das System auf: Mittel zum Ermitteln (wenigstens) einer Position, insbesondere (wenigstens) eines Abstandes, und/oder einer Geschwindigkeit des Objekts mittels Ultraschall, elektromagnetischer Strahlung, insbesondere Infrarotstrahlung, und/oder einer Tiefenbildkamera oder dergleichen, insbesondere Mittel zum Ausstrahlen der elektromagnetischen Strahlung, insbesondere Infrarotstrahlung, insbesondere eines vorgegebenen Musters, Mittel zum Detektieren der auf dem Objekt auftreffenden Strahlung, insbesondere des auf das Objekt projizierten Musters, insbesondere mittels eines optischen Sensors, insbesondere eines CCD-Sensors, und Mittel zum Ermitteln der Position(en), insbesondere Abstände, hieraus, insbesondere auf Basis einer Verzerrung des Musters, einem zeitlichen Abstand zwischen Ausstrahlen der Strahlung und Detektieren der Strahlung auf dem Objekt oder dergleichen. Das Mittel zum Ausstrahlen und Detektieren der elektromagnetischen Strahlung kann insbesondere ein(en) Tiefensensor, insbesondere ein(en) Tiefensensor in der Art eines Kinect-Tiefensensors, wie er von der Firma PrimeSense aus Israel bekannt ist, oder dergleichen aufweisen, insbesondere sein.

[0030] Hierdurch können in einer Ausführung Positionen und/oder Geschwindigkeiten vorteilhaft, insbesondere präzise, rasch und/oder kostengünstig, ermittelt werden.

[0031] In einer Ausführung wird die (erste) Sicherheitsreaktion in Abhängigkeit von einem (vorab) prognostizierten (wenigstens teilweisen) Eintritt des Objekts in den Arbeitsraum ausgelöst, insbesondere -führt, insbesondere in Abhängigkeit von einem prognostizierten Zeitpunkt und/oder Ort des Objekts bei seinem Eintritt in den Arbeitsraum und/oder einer prognostizierten Geschwindigkeit des Objekts bei seinem Eintritt in den Arbeitsraum.

[0032] In einer Weiterbildung wird, insbesondere auf Basis wenigstens einer ermittelten Position und Geschwindigkeit, des Objekts im Überwachungsraum, dessen vollständiger oder bereichsweiser Eintritt in den Arbeitsraum prognostiziert und eine (erste) Sicherheitsreaktion ausgelöst, insbesondere ausgeführt, falls ein erster Zeitpunkt und/oder Ort des Objekts bei seinem Eintritt in den Arbeitsraum und/oder eine erste Geschwindigkeit des Objekts bei seinem Eintritt in den Arbeitsraum prognostiziert wird, und keine oder eine hiervon verschiedene andere (erste) Sicherheitsreaktion ausgelöst, insbesondere ausgeführt, falls ein hiervon verschiedener anderer bzw. zweiter Zeitpunkt bzw. Ort bzw. eine hiervon verschiedene andere bzw. zweite Geschwindigkeit des Objekts bei seinem Eintritt in den Arbeitsraum oder kein Eintritt, insbesondere kein Eintrittszeitpunkt oder -ort, des Objekts prognostiziert wird.

[0033] Entsprechend weist in einer Ausführung das System auf: Mittel zum Auslösen, insbesondere Ausführen, der (ersten) Sicherheitsreaktion in Abhängigkeit von einem prognostizierten Eintritt des Objekts in den Arbeitsraum, insbesondere in Abhängigkeit von einem prognostizierten Zeitpunkt und/oder Ort des Objekts bei seinem Eintritt in den Arbeitsraum und/oder einer prognostizierten Geschwindigkeit des Objekts bei seinem Eintritt in den Arbeitsraum.

[0034] In einer Weiterbildung weist das System auf: Mittel zum Prognostizieren eines Eintritts des Objekts in den Arbeitsraum, insbesondere auf Basis wenigstens einer ermittelten Position und Geschwindigkeit des Objekts im Überwachungsraum, und Mittel zum Auslösen, insbesondere Ausführen, einer (ersten) Sicherheitsreaktion, falls ein erster Zeitpunkt und/oder Ort des Objekts bei seinem Eintritt in den Arbeitsraum und/oder eine erste Geschwindigkeit des Objekts bei seinem Eintritt in den Arbeitsraum prognostiziert wird, und keiner oder einer hiervon verschiedenen anderen (ersten) Sicherheitsreaktion, falls ein hiervon verschiedener anderer bzw. zweiter Zeitpunkt bzw. Ort bzw. eine hiervon verschiedene andere bzw. zweite Geschwindigkeit des Objekts bei seinem Eintritt in den Arbeitsraum oder kein Eintritt, insbesondere kein Eintrittszeitpunkt oder -ort, des Objekts prognostiziert wird.

[0035] In einer Ausführung kann die (erste und/oder zweite) Sicherheitsreaktion (jeweils) eine Ausgabe

eines, insbesondere optischen, akustischen und/oder haptischen, Warnsignals und/oder eine Sperrung eines Teils des Arbeitsraums für den Roboter, insbesondere eines Teils des Arbeitsraums, der den Ort des (Objekts bei seinem) prognostizierten Eintritt(s) in den Arbeitsraum und/oder die Position des Objekts im Arbeitsraum enthält und/oder in Abhängigkeit hiervon vorgegeben wird bzw. ist, und/oder ein Anfahren einer vorgegebenen Pose, insbesondere einer Sicherheitsstellung, und/oder eine Geschwindigkeitsreduzierung, insbesondere um einen vorgegebenen Faktor oder auf eine vorgegebene Größe, insbesondere eine Stillsetzung, des Roboters, insbesondere ein(en) STOP 0, STOP 1 oder STOP 2, umfassen, insbesondere sein.

[0036] In einer Ausführung kann die (erste und/oder zweite) Sicherheitsreaktion (jeweils) den Roboter in einen sicheren Zustand überführen bzw. hierzu. bzw. derart eingerichtet sein, dass sie den Roboter in einen sicheren Zustand überführt. Ein sicherer Zustand kann insbesondere ein Stillstand oder eine Begrenzung einer Geschwindigkeit des Roboters auf eine vorgegebene sichere Maximalgeschwindigkeit sein.

[0037] In einer Weiterbildung wird in Abhängigkeit von einem prognostizierten (Zeitpunkt eines) Eintritt (s) die Sicherheitsreaktion ausgelöst, insbesondere ausgeführt, und/oder der Roboter in den sicheren Zustand überführt, insbesondere stillgesetzt, in einer vorbestimmte Sicherheitsposition überführt bzw. seine Geschwindigkeit auf eine vorgegebene sichere Maximalgeschwindigkeit begrenzt, insbesondere zu bzw. bei dem prognostizierten (Zeitpunkt eines) Eintritt(s) oder um eine vorgegebene Zeitdauer vor oder nach diesem prognostizierten (Zeitpunkt eines) Eintritt(s).

[0038] Hierdurch kann in einer Ausführung das Risiko einer Kollision des Roboters mit dem Objekt vorteilhaft reduziert werden.

[0039] Ein Mittel im Sinne der vorliegenden Erfindung kann hard- und/oder softwaretechnisch ausgebildet sein, insbesondere eine, vorzugsweise mit einem Speicher- und/oder Bussystem daten- bzw. signalverbundene, insbesondere digitale, Verarbeitungs-, insbesondere Mikroprozessoreinheit (CPU) und/oder ein oder mehrere Programme oder Programmmodule aufweisen. Die CPU kann dazu ausgebildet sein, Befehle, die als ein in einem Speichersystem abgelegtes Programm implementiert sind, abzuarbeiten, Eingangssignale von einem Datenbus zu erfassen und/oder Ausgangssignale an einen Datenbus abzugeben. Ein Speichersystem kann ein oder mehrere, insbesondere verschiedene, Speichermedien, insbesondere optische, magnetische, Festkörper- und/oder andere nicht-flüchtige Medien aufweisen. Das Programm kann derart beschaffen sein, dass es die hier beschriebenen Verfahren verkörpert bzw. auszuführen imstande ist, sodass die CPU die Schritte solcher Verfahren ausführen kann und damit insbesondere den Roboter betreiben bzw. überwachen kann.

[0040] Ein Teil eines Arbeitsraums eines Roboters wird bzw. ist in einer Ausführung dadurch (für den Roboter) gesperrt, dass eine Präsenz des Roboters in diesem (gesperrten) Teil steuerungstechnisch verhindert wird bzw. ist.

[0041] Ein Objekt befindet sich insbesondere im Sinne der vorliegenden Erfindung in einem bzw. innerhalb eines (Überwachungs-/Arbeits-)Raum(s), falls bzw. sobald es sich wenigstens teilweise bzw. mit wenigstens einem Teil(bereich) in diesem (Überwachungs-/Arbeits-)Raum befindet. Entsprechend befindet sich ein Objekt im Sinne der vorliegenden Erfindung insbesondere außerhalb eines (Überwachungs/Arbeits-)Raums, falls bzw. solange es sich vollständig bzw. komplett außerhalb dieses (Überwachungs-/Arbeits-)Raum befindet bzw. sich nicht wenigstens teilweise bzw. nicht mit wenigstens einem Teilbereich) in diesem (Überwachungs/Arbeits-)Raum befindet. Entsprechend wird unter einem Eintritt eines Objektes in einen (Überwachungs-/Arbeits-)Raum insbesondere der Eintritt mit wenigstens einem Teilbereich) des Objekts bzw. das wenigstens teilweise Eindringen des Objekts in diesen (Überwachungs-/Arbeits-)Raum verstanden.

[0042] In einer Ausführung werden einer oder mehrere der Verfahrensschritte, insbesondere durch das System, automatisiert durchgeführt.

[0043] Weitere Vorteile und Merkmale ergeben sich aus den Unteransprüchen und den Ausführungsbeispielen. Hierzu zeigt, teilweise schematisiert:

[0044] **Fig.** 1: eine Anordnung mit einem Roboter und einem System zum Überwachen des Roboters nach einer Ausführung der vorliegenden Erfindung; und

[0045] **Fig.** 2: ein Verfahren zum Überwachen des Roboters nach einer Ausführung der vorliegenden Erfindung.

[0046] **Fig.** 1 zeigt eine Anordnung mit einem Roboter **1** und einem System zum Überwachen des Roboters nach einer Ausführung der vorliegenden Erfindung.

[0047] Das System weist eine Robotersteuerung **2** und eine damit signalverbundene Kinect-Kamera **3** als bevorzugte Ausführungsform einer Tiefenbildkamera auf.

[0048] In **Fig.** 1 ist schematisch ein Arbeitsraum A des Roboters **1** und gestrichelt eine (überwachungs-

raumzugewandte) Außengrenze $G_{a,A}$ dieses Arbeitsraums A angedeutet.

[0049] Zudem ist in **Fig.** 1 schrägschraffiert ein Überwachungsraum U eingezeichnet, dessen arbeitsraumabgewandte Außengrenze $G_{a,U}$ strichpunktiert angedeutet ist und dessen arbeitsraumzugewandte Innengrenze $G_{i,U}$ an die überwachungsraumzugewandte Außengrenze $G_{a,A}$ des Arbeitsraums A angrenzt.

[0050] Die arbeitsraumabgewandte Außengrenze $G_{a,U}$ weist im Ausführungsbeispiel von der überwachungsraumzugewandten Außengrenze $G_{a,A}$ des Arbeitsraums A einen Abstand a von 5 m auf. Zudem weist im Ausführungsbeispiel die arbeitsraumabgewandte Außengrenze $G_{a,U}$ zu einer Basis des Roboters **1** einen minimalen Abstand a' auf, der um 5 m größer ist als ein maximaler Abstand der überwachungsraumzugewandten Außengrenze $G_{a,A}$ des Arbeitsraums A zu der Basis bzw. eine maximale Auslage des Roboters **1**. Somit umschließt der Überwachungsraum U den zugänglichen Teil des Arbeitsraums A vollständig und überragt diesen um 5 m.

[0051] Weiter ist in **Fig.** 1 exemplarisch ein Objekt **4** eingezeichnet, das sich zu einem in **Fig.** 1 gezeigten Zeitpunkt (vollständig) im Überwachungsraum U und somit vollständig außerhalb des Arbeitsbereichs A befindet. Außerdem ist gepunktet eine frühere Position dieses Objekts angedeutet und durch **4'** bezeichnet.

[0052] Die Robotersteuerung **2** führt ein nachfolgend mit Bezug auf **Fig.** 2 erläutertes Verfahren zum Überwachen des Roboters **1** nach einer Ausführung der vorliegenden Erfindung durch.

[0053] In einem ersten Schritt S10 ermittelt die Robotersteuerung **2** mittels der Kinect-Kamera **3**, ob sich unbekannte Objekte (wenigstens teilweise) im Überwachungsraum U oder Arbeitsraum A befinden. Solange dies nicht der Fall ist (S10: „N"), wiederholt die Robotersteuerung **2** Schritt S10.

[0054] Andernfalls, d. h. falls wie in **Fig.** 1 gezeigt wenigstens ein unbekanntes, in der Robotersteuerung **2** nicht vorgesehenes bzw. hinterlegtes, Objekte **4** im Überwachungsraum U oder Arbeitsraum A erfasst worden ist (S10: „Y"), ermittelt die Robotersteuerung **2** in einem Schritt S20 mittels der Kinect-Kamera **3** dessen Position, insbesondere Abstand, P relativ zum Roboter **1**, wie in **Fig.** 1 angedeutet. Durch Subtraktion zeitlich aufeinanderfolgend ermittelter Abstände desselben Objekts **4** ermittelt die Robotersteuerung **2** in Schritt S20 zudem die Geschwindigkeit v des Objekts und prognostiziert auf Basis der aktuellen Position P und Geschwindigkeit v einen Ort E und Zeitpunkt eines voraussichtlichen Eintritts des Objekts **4** aus dem Überwachungs- in den angrenzenden Arbeitsraum ($E = (P + \lambda \cdot v) \cap G_{a,A}$).

[0055] In einem Schritt S30 prüft die Robotersteuerung **2** nun anhand der aktuellen Position P, ob sich das Objekt bereits im Arbeitsraum A des Roboters **1** befindet. In diesem Fall (S30: „Y") setzt die Robotersteuerung **2** den Roboter **1** in einem Schritt S40 still. Anschließend kehrt die Robotersteuerung **2** bzw. das Verfahren zu Schritt S10 zurück.

[0056] Befindet sich das Objekt (noch) nicht (wenigstens teilweise) im Arbeitsraum A des Roboters (S30: „N"), prüft die Robotersteuerung **2** in einem Schritt S50, ob der in Schritt S20 prognostizierte (Zeitpunkt des) Eintritt(s) des Objekts aus dem Überwachungs- in den Arbeitsraum unmittelbar bevorsteht bzw. (sein zeitlicher Abstand zum aktuellen Zeitpunkt) einen vorgegebenen Grenzwert unterschreitet. Ist dies, wie in **Fig.** 1 gezeigt, der Fall (S50: „Y"), reduziert die Robotersteuerung **2** in einem Schritt S60 eine Geschwindigkeit des Roboters **1** auf eine vorgegebene sichere Geschwindigkeit. Alternativ kann sie beispielsweise auch in diesem Fall den Roboter **1**, insbesondere langsamer, stillsetzen oder in eine sichere Pose verfahren und ihn insbesondere in dieser stillsetzen. Anschließend kehrt die Robotersteuerung **2** bzw. das Verfahren zu Schritt S10 zurück.

[0057] Steht der prognostizierte (Zeitpunkt des) Eintritt(s) noch nicht unmittelbar bevor bzw. unterschreitet ein zeitlicher Abstand zwischen der aktuellen Zeit und diesem prognostizierten Zeitpunkt den vorgegebenen Grenzwert (noch) nicht (S50: „N"), prüft die Robotersteuerung **2** in einem Schritt S70, ob das Objekt voraussichtlich überhaupt aus dem Überwachungs- in den Arbeitsraum eintritt, d. h. ob in Schritt S20 ein Schnittpunkt E der Halbgeraden durch die aktuelle Position P in Richtung der aktuellen Geschwindigkeit v mit der überwachungsraumzugewandten Außengrenze $G_{a,A}$ des Arbeitsraums A ermittelt worden ist oder nicht.

[0058] Ist dies der Fall (S70: „Y"), sperrt die Robotersteuerung **2** in einem Schritt S80 vorsorglich einen in **Fig.** 1 kreuzschraffiert angedeuteten Teil des Arbeitsraums A um diesen prognostizierten Ort E des voraussichtlichen Eintritts des Objekts aus dem Überwachungs- in den Arbeitsraum für den Roboter **1**. Anschließend kehrt die Robotersteuerung **2** bzw. das Verfahren zu Schritt S10 zurück.

[0059] Stellt die Robotersteuerung **2** in Schritt S70 fest, dass das Objekt voraussichtlich nicht in den Arbeitsraum eintritt (S70: „N"), gibt sie in einem Schritt S90 lediglich eine Warnung aus, dass sich ein Objekt (bereits) im Überwachungsraum befindet, und kehrt anschließend zu Schritt S10 zurück. Eine solche Warnung kann zusätzlich auch in den Schritten S60 und/oder S80 ausgegeben werden.

[0060] Obwohl in der vorhergehenden Beschreibung exemplarische Ausführungen erläutert wurden, sei darauf hingewiesen, dass eine Vielzahl von Abwandlungen möglich ist.

[0061] Entsprechend dient das Ausführungsbeispiel insbesondere dazu, zu illustrieren, dass aufgrund eines prognostizierten Eintritts eines Objekts **4**, das sich (noch) im Überwachungsraum U befindet, in den Arbeitsraum A spezifische Sicherheitsreaktionen ausgelöst bzw. -führt werden, die vom prognostizierten Ort und Zeitpunkt dieses voraussichtlichen Eintritts abhängen, im Ausführungsbeispiel die Geschwindigkeitsreduzierung bei einem unmittelbar bevorstehenden (Zeitpunkt des) Eintritt(s), die demgegenüber weniger einschränkende Sperrung eines Teils des Arbeitsraums um den prognostizierten Ort E bei einem später prognostizierten (Zeitpunkt des) Eintritt(s) und die demgegenüber wiederum weniger einschränkende bloße Ausgabe einer Warnung. Der gesperrte Teil des Arbeitsraums A kann in einer Ausführung in Abhängigkeit von der prognostizierten Geschwindigkeit v beim Eintritt abhängen, beispielsweise symmetrisch und/oder proportional zu dieser sein, wie in **Fig.** 1 angedeutet.

[0062] Außerdem illustriert das Ausführungsbeispiel die zusätzliche Überwachung auch des Arbeitsraums A, wobei in einer Abwandlung in Schritt S40 statt eines Stillsetzens des Roboters **1** beispielsweise auch eine entsprechende Geschwindigkeitsreduzierung und/oder Sperrung eines Teils des Arbeitsraums A um die ermittelte Position des Objekts im Arbeitsraum erfolgen könnte.

[0063] Obwohl in der vorhergehenden Beschreibung exemplarisch nur ein Objekt **4** betrachtet wurde, können gleichermaßen weitere Objekte in analoger Weise behandelt werden.

[0064] In einer Abwandlung wird in Schritt S10 wie vorstehend mit Bezug auf S20 erläutert bereits eine Geschwindigkeit des (jeweils) erfassten Objekts ermittelt und geprüft, ob diese wenigstens um einen vorgegebenen Toleranzwert von Null abweicht. Ist dies nicht der Fall (S10: „N"), wiederholt die Robotersteuerung **2** Schritt S10. Somit werden unbewegte Objekte ignoriert. Hierdurch kann eine Hinterlegung von (bekannten) Objekten in der Robotersteuerung unterbleiben.

[0065] Außerdem sei darauf hingewiesen, dass es sich bei den exemplarischen Ausführungen lediglich um Beispiele handelt, die den Schutzbereich, die Anwendungen und den Aufbau in keiner Weise einschränken sollen. Vielmehr wird dem Fachmann durch die vorausgehende Beschreibung ein Leitfaden für die Umsetzung von mindestens einer exemplarischen Ausführung gegeben, wobei diverse Änderungen, insbesondere in Hinblick auf die Funktion und Anordnung der beschriebenen Bestandteile, vorgenommen werden können, ohne den Schutzbereich zu verlassen, wie er sich aus den Ansprüchen und diesen äquivalenten Merkmalskombinationen ergibt.

Bezugszeichenliste

1	Roboter
2	Robotersteuerung
3	Kinect-Kamera
4, 4'	Objekt
A	Arbeitsraum
a	Abstand $G_{a,u}$, $G_{a,A}$
a'	Abstand $G_{a,U}$ zum Roboter 1
E	Ort des prognostizierten Eintritts
$\mathbf{G_{a,A}}$	Außengrenze Arbeitsraum
$\mathbf{G_{a,U}}$	Außengrenze Überwachungsraum
$\mathbf{G_{i,U}}$	Innengrenze Überwachungsraum
P	Abstand (Position)
U	Überwachungsraum
v	Geschwindigkeit

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

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

Zitierte Patentliteratur

- DE 102013020135 A1 [0002, 0028]

Patentansprüche

1. Verfahren zum Überwachen eines Roboters (**1**), mit den Schritten:
Ermitteln (S20) eines kinematischen Parameters (P, v) wenigstens eines Objekts (**4**), das sich vollständig außerhalb eines Arbeitsraums (A) des Roboters (**1**) und wenigstens teilweise in einem Überwachungsraum (U) befindet, der außerhalb des Arbeitsraums (A) des Roboters (**1**) angeordnet ist; und
Auslösen (S50–S90) einer Sicherheitsreaktion zur Reduzierung eines Kollisionsrisikos in Abhängigkeit von dem ermittelten kinematischen Parameter (P, v) des Objekts (**4**) in dem Überwachungsraum (U) des Roboters (**1**).

2. Verfahren nach Anspruch 1, mit den Schritten:
Ermitteln (S20) eines kinematischen Parameters (P, v) des Objekts (**4**), das sich wenigstens teilweise in dem Arbeitsraum (A) des Roboters (**1**) befindet; und
Auslösen (S30, S40) einer Sicherheitsreaktion zur Reduzierung eines Kollisionsrisikos in Abhängigkeit von dem ermittelten kinematischen Parameter (P, v) des Objekts (**4**) in dem Arbeitsraum (A) des Roboters (**1**).

3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet,** dass eine Sicherheitsreaktion den (1) Roboter in einen sicheren Zustand überführt und/oder eine Ausgabe (S90) eines Warnsignals und/oder eine Sperrung (S80) eines Teils des Arbeitsraums (A) und/oder ein Anfahren einer vorgegebenen Pose und/oder eine Geschwindigkeitsreduzierung (S60), insbesondere Stillsetzung (S40), des Roboters (**1**) umfasst.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet,** dass ein kinematischer Parameter eine Position, insbesondere einen Abstand (P), und/oder eine Geschwindigkeit (v) des Objekts (**4**) umfasst.

5. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet,** dass die Geschwindigkeit (v) des Objekts (**4**) auf Basis wenigstens zweier zeitlich aufeinanderfolgender ermittelter Positionen, insbesondere Abstände, des Objekts ermittelt wird.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet,** dass eine Position, insbesondere ein Abstand (P), und/oder eine Geschwindigkeit (v) des Objekts (**4**) mittels elektromagnetischer Strahlung, insbesondere Infrarotstrahlung und/oder einer Tiefenbildkamera (**3**), ermittelt wird.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet,** dass die Sicherheitsreaktion in Abhängigkeit von einem prognostizierten Eintritt des Objekts in den Arbeitsraum ausgelöst wird, insbesondere in Abhängigkeit von dessen Zeitpunkt, Ort (E) und/oder Geschwindigkeit (v).

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet,** dass der Überwachungsraum (U) wenigstens teilweise an den Arbeitsraum (A) angrenzt und/oder diesen wenigstens teilweise umgibt und/oder eine arbeitsraumabgewandte Außengrenze ($G_{a,U}$) aufweist, die von einer überwachungsraumzugewandten Außengrenze ($G_{a,A}$) des Arbeitsraums (A) einen maximalen und/oder minimalen Abstand (a) von wenigstens 0,1 m und/oder höchstens 10 m aufweist und/oder zu einem geometrischen Volumenmittelpunkt des Arbeitsraums (A) und/oder einer roboterfesten Referenz einen Abstand (a') aufweist, der um wenigstens 0,1 m und/oder höchstens 10 m größer ist als ein Abstand einer überwachungsraumzugewandten Außengrenze ($G_{a,A}$) des Arbeitsraums (A) zu dem Volumenmittelpunkt bzw. der roboterfesten Referenz.

9. System (**2**, **3**) zum Überwachen eines Roboters (**1**), das zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche eingerichtet ist und/oder aufweist:
Mittel (**2**, **3**) zum Ermitteln eines kinematischen Parameters (P, v) wenigstens eines Objekts (**4**), das sich außerhalb eines Arbeitsraums (A) des Roboters (**1**) und wenigstens teilweise in einem Überwachungsraum (U) befindet, der außerhalb des Arbeitsraums (A) des Roboters (**1**) angeordnet ist; und
Mittel (**2**) zum Auslösen einer Sicherheitsreaktion zur Reduzierung eines Kollisionsrisikos in Abhängigkeit von dem ermittelten kinematischen Parameter (P, v) des Objekts (**4**) in dem Überwachungsraum (U) des Roboters (**1**).

10. Anordnung mit einem Roboter (**1**) und einem System (**2**, **3**) nach dem vorhergehenden Anspruch zum Überwachen des Roboters (**1**).

11. Computerprogrammprodukt mit einem Programmcode, der auf einem von einem Computer lesbaren Medium gespeichert ist, zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche.

Es folgt eine Seite Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig. 1

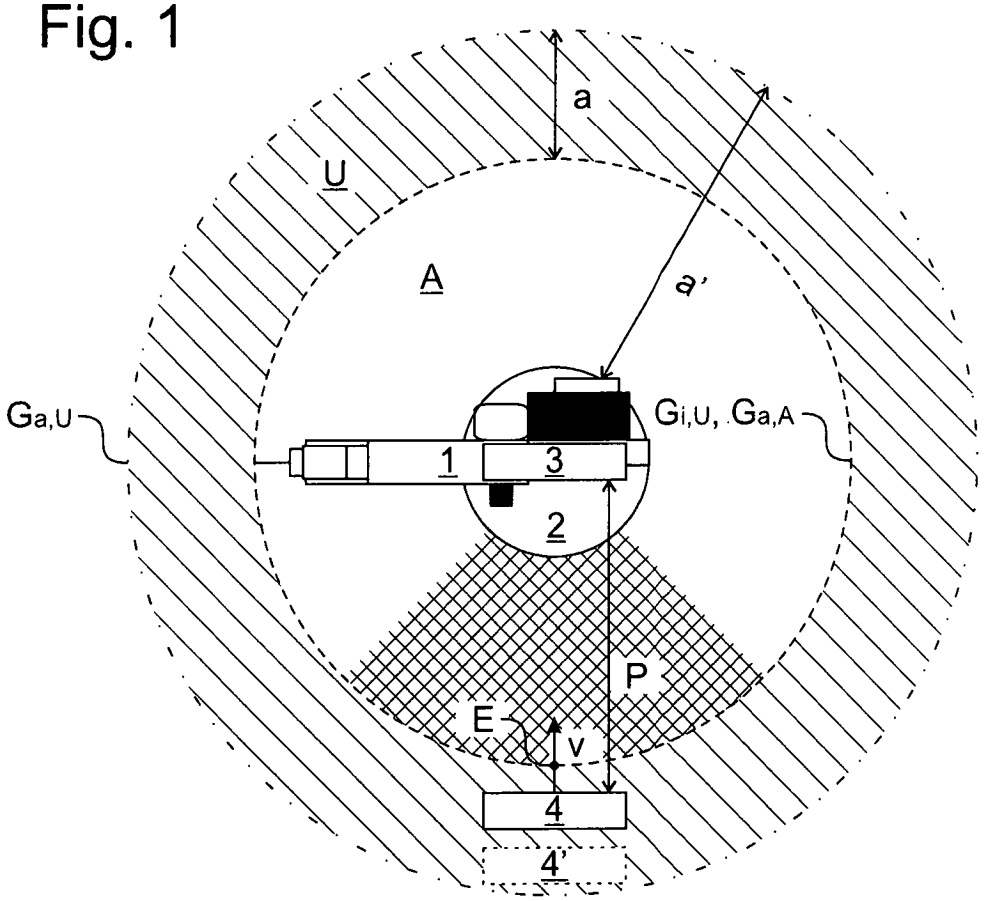


Fig. 2

