Ausrichten zweier Roboterarme zueinander

Die Erfindung betrifft ein Simulationsverfahren zum Vorgeben einer relativen Position zwischen einer ersten Basis eines ersten Robotermanipulators und einer zweiten Basis eines zweiten Robotermanipulators sowie eine Simulationsrecheneinheit zum Vorgeben einer relativen Position zwischen einer ersten Basis eines ersten Robotermanipulators und einer zweiten Basis eines zweiten Robotermanipulators.

Insbesondere dann, wenn eine Last, die für einen einzelnen Robotermanipulator zu schwer ist oder auch zu sperrig ist, durch einen einzigen stationären Robotermanipulator bewegt werden soll, so bietet es sich an, dafür zwei einzelne Robotermanipulatoren miteinander zu verschalten, um die Last gemeinsam zu bewegen. Auch andere Aufgaben werden vorteilhaft von mehreren einzelnen Robotermanipulatoren oder von einem Robotersystem mit zwei Robotermanipulatorarmen kooperativ gelöst. In beiden Fällen stellt sich die Frage nach der initialen Positionierung, das heißt im Falle von einzelnen Robotermanipulatoren, wie eine Basis des ersten Robotermanipulators gegenüber dem zweiten Robotermanipulator optimal zu platzieren ist, bzw. im Falle eines einzigen Robotersystems mit zwei Robotermanipulatorarmen, wie die jeweiligen Basen der Robotermanipulatorarme zueinander optimal zu platzieren sind. Durch die gleich gelagerten Problemstellungen in beiden Fällen werden im folgenden auch im Falle eines Robotersystems mit zwei Robotermanipulatorarmen ein jeweiliger Robotermanipulatorarm als ein jeweiliger Robotermanipulator bezeichnet. Der Begriff des Robotermanipulators bezeichnet daher insbesondere einen Robotermanipulatorarm, ganz gleich ob jeder Robotermanipulator einzeln betreibbar ist und seine eigene Steuereinheit aufweist, oder ob beide Robotermanipulatoren von einer einzigen Steuereinheit angesteuert werden und auf einer gemeinsamen Plattform angeordnet sind.

Aufgabe der Erfindung ist es, das stationäre Ausrichten eines ersten Robotermanipulators gegenüber einem zweiten Robotermanipulator technisch zu unterstützen.

Die Erfindung ergibt sich aus den Merkmalen der unabhängigen Ansprüche. Vorteilhafte Weiterbildungen und Ausgestaltungen sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche.

Ein erster Aspekt der Erfindung betrifft ein Simulationsverfahren zum Vorgeben einer relativen Position zwischen einer ersten Basis eines ersten Robotermanipulators und

einer zweiten Basis eines zweiten Robotermanipulators, wobei ein erster Arbeitsraum des ersten Robotermanipulators ermittelt wird, wobei der erste Arbeitsraum eine endliche Vielzahl von Tupeln aus möglichen Positionen des ersten Endeffektors und möglichen Orientierungen des ersten Endeffektors an den jeweiligen Positionen des ersten Endeffektors angibt, wobei für jede aus einer vorgegebenen Vielzahl von möglichen relativen Positionen zwischen der ersten Basis und der zweiten Basis eine Anzahl von denjenigen Tupeln aus dem ersten Arbeitsraum als Bewertungsgröße ermittelt wird, für die ein zweiter Endeffektor des zweiten Robotermanipulators in einer vordefinierten Orientierung und/oder in einem vordefinierten Abstand jeweils relativ zum ersten Endeffektor positionierbar ist, und wobei diejenige relative Position zwischen der ersten Basis und der zweiten Basis mit der höchsten Bewertungsgröße ermittelt und ausgegeben wird.

Das Simulationsverfahren ist insbesondere ein computerimplementiertes Verfahren.

Ein Tupel beschreibt eindeutig ein Paar aus Position und Orientierung des ersten Endeffektors. Ein und dieselbe Orientierung des ersten Endeffektors an zwei verschiedenen Positionen führt daher zu zwei Tupeln. Indem eine endliche Anzahl von Tupeln ermittelt wird, ergibt sich ein erster Arbeitsraum als eine endliche Liste von Tupeln, wobei jeder Listeneintrag, das heißt ein bestimmtes der Tupel, eine bestimmte und eindeutige Kombination von Position und Orientierung des ersten Endeffektors beschreibt.

Sowohl der erste Robotermanipulator als auch der zweite Robotermanipulator weisen bevorzugt jeweils eine Vielzahl von Gliedern auf, wobei die Glieder durch Gelenke miteinander verbunden sind, sodass die Glieder jeweils paarweise um ein Gelenk verdrehbar oder verschiebbar oder verkippbar sind. Bevorzugt sind die jeweiligen Gelenke mit Aktuatoren verbunden, die durch Ansteuerung das Verdrehen oder das Verkippen oder das Verschieben der Glieder gegeneinander erlauben.

Die jeweilige Basis des jeweiligen Robotermanipulators bezeichnet insbesondere das am weitesten proximal gelegene Glied eines Robotermanipulators. Insbesondere ist die Basis gegenüber einer Aufstellfläche des jeweiligen Robotermanipulators, wie einem Boden oder einer Tischplatte oder einem Fahrwagen, unbeweglich.

Das Ermitteln der Vielzahl möglicher Positionen des ersten Endeffektors erfolgt dabei bevorzugt durch eine Simulation über den gesamten erreichbaren geometrischen Bereich des ersten Endeffektors. Bevorzugt werden in diskreten Abständen die möglichen Positionen gespeichert, sodass insbesondere ein Raster mit möglichen Positionen des ersten Endeffektors entsteht. Begrenzt werden die möglichen Positionen des ersten Endeffektors dabei insbesondere durch den geometrisch erreichbaren Raum des ersten Endeffektors.

Bevorzugt werden insbesondere alle diejenigen Tupel von Position und Orientierung des ersten Endeffektors betrachtet, für die der zweite Endeffektor des zweiten Robotermanipulators in einer vorgegebenen Orientierung und/oder in einem vorgegebenen Abstand relativ zum ersten Endeffektor positionierbar und ausrichtbar ist. Das heißt, dass Positionen und Orientierungen des ersten Endeffektors im ersten Arbeitsraum des ersten Robotermanipulators gesucht werden, bei denen auch der zweite Endeffektor des zweiten Robotermanipulators in einem vorgegebenen Abstand und/oder in einer vorgegebenen Orientierung jeweils relativ zum ersten Endeffektor durch die geometrischen Einschränkungen der jeweiligen Glieder des jeweiligen Robotermanipulators positionierbar und ausrichtbar ist. So wird vorteilhaft sichergestellt, dass eine Last in den interessierenden Posen des ersten Robotermanipulators von dem ersten Endeffektor und von dem zweiten Endeffektor zur gleichen Zeit berührt werden kann. Ist dies der Fall, so wird das entsprechende Tupel in die Bewertungsgröße mit eingerechnet.

Die Bewertungsgröße ist daher ein Maß dafür, in welchem gemeinsamen Arbeitsraum der erste Endeffektor und der zweite Endeffektor kooperativ eine Aufgabe ausfüllen können. Je größer dieses Maß ist, umso größer ist der gemeinsame Arbeitsraum, und umso vielfältigere Aufgaben können vom ersten Robotermanipulator kooperativ mit dem zweiten Robotermanipulator durchgeführt werden.

Es ist eine vorteilhafte Wirkung der Erfindung, dass eine relative Position zwischen zwei Basen von zwei Robotermanipulatoren insoweit optimal berechnet wird, dass eine größtmögliche Zahl von kooperativen Stellungen der Endeffektoren der Robotermanipulatoren zueinander ermittelt wird.

Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform dient das Simulationsverfahren zum Vorgeben einer relativen Position und einer relativen Orientierung zwischen der ersten Basis des ersten Robotermanipulators und der zweiten Basis des zweiten

Robotermanipulators, wobei für jede aus einer vorgegebenen Vielzahl von möglichen relativen Positionen und möglichen relativen Orientierungen zwischen der ersten Basis und der zweiten Basis die Bewertungsgröße ermittelt wird, wobei diejenige relative Position und diejenige relative Orientierung zwischen der ersten Basis und der zweiten Basis mit der höchsten Bewertungsgröße ermittelt und ausgegeben wird. Die relative Orientierung zwischen der ersten Basis und der zweiten Basis wird bevorzugt durch einen Satz differentieller Lagewinkel beschrieben.

Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform wird beim Ermitteln der Bewertungsgröße geprüft, ob eine Kollision zwischen dem ersten Robotermanipulator und dem zweiten Robotermanipulator auftritt.

Wird insbesondere festgestellt, dass eine Kollision vorliegen würde, so wird dieses entsprechende Tupel nicht in die Bewertungsgröße mit eingerechnet. Bevorzugt erfolgt das Prüfen, ob eine Kollision zwischen dem ersten Robotermanipulator und dem zweiten Robotermanipulator auftritt, durch Modellieren von geometrischen Körpern und dem gedachten Anordnen der geometrischen Körper an Gliedern des ersten Robotermanipulators und an Gliedern des zweiten Robotermanipulators und durch Prüfen auf eine mögliche geometrische Überlappung der jeweiligen geometrischen Körper. Durch das Modellieren von geometrischen Körpern kann vorteilhaft zusätzlich zur Kollisionsüberprüfung ein Sicherheitsabstand mit einberechnet werden, den der erste Robotermanipulator zum zweiten Robotermanipulator nicht unterschreiten soll und umgekehrt. Ferner bietet diese Art auf Kollisionsprüfung einen effizienten Weg hinsichtlich Rechenzeit und Rechenaufwand.

Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform werden die möglichen relativen Orientierungen und/oder möglichen relativen Positionen zwischen der ersten Basis und der zweiten Basis aus der vorgegebenen Vielzahl in einem Raster, bevorzugt in einem äquidistanten Raster, vorgegeben.

Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform werden die möglichen relativen Orientierungen und/oder möglichen relativen Positionen zwischen der ersten Basis und der zweiten Basis aus der vorgegebenen Vielzahl durch eine restringierte nichtlineare Optimierung vorgegeben.

Bevorzugt umfasst die restringierte nichtlineare Optimierung eine Sequenz quadratischer Optimierung. Die Sequenz quadratischer Optimierung stellt insbesondere eine

Erweiterung zu einem gradientenbasierten Optimierungsverfahren dar, indem zusätzlich zu den lokalen Ableitungen einer Zielfunktion auch Krümmungen der Zielfunktion zumindest lokal berücksichtigt werden. Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform umfasst die restringierte nichtlineare Optimierung einen Evolutionsalgorithmus.

Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform ist eine Restriktion der nichtlinearen Optimierung eine Schnittmenge aus den geometrischen maximal erreichbaren Räumen des ersten Endeffektors und des zweiten Endeffektors.

Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform wird ein zweiter Arbeitsraum des zweiten Robotermanipulators ermittelt, wobei der zweite Arbeitsraum eine endliche Vielzahl von Tupeln aus möglichen Positionen des zweiten Endeffektors und möglichen Orientierungen des zweiten Endeffektors an den jeweiligen Positionen des zweiten Endeffektors angibt, wobei eine Restriktion der nichtlinearen Optimierung auf Basis einer Schnittmenge aus dem ersten Arbeitsraum des ersten Robotermanipulators und des zweiten Arbeitsraums des zweiten Robotermanipulators gebildet wird.

Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform ist die vordefinierte Orientierung des zweiten Endeffektors relativ zum ersten Endeffektor durch eine halbe Drehung um einen Referenzpunkt des ersten Endeffektors definiert, sodass der erste Endeffektor und der zweite Endeffektor symmetrisch aufeinander zeigen. Die halbe Drehung stellt insbesondere eine Drehung um 180° um eine vertikale Achse dar.

Ein weiterer Aspekt der Erfindung betrifft eine Simulationsrecheneinheit zum Vorgeben einer relativen Position zwischen einer ersten Basis eines ersten Robotermanipulators und einer zweiten Basis eines zweiten Robotermanipulators, wobei die Simulationsrecheneinheit dazu eingerichtet und ausgeführt ist, einen ersten Arbeitsraum des ersten Robotermanipulators zu ermitteln, wobei der erste Arbeitsraum eine endliche Vielzahl von Tupeln aus möglichen Positionen des ersten Endeffektors und möglichen Orientierungen des ersten Endeffektors an den jeweiligen Positionen des ersten Endeffektors angibt, wobei die Simulationsrecheneinheit weiter dazu eingerichtet und ausgeführt ist, für jede aus einer vorgegebenen Vielzahl von möglichen relativen Positionen zwischen der ersten Basis und der zweiten Basis eine Anzahl von denjenigen Tupeln aus dem ersten Arbeitsraum als Bewertungsgröße zu ermitteln, für die ein zweiter Endeffektor des zweiten Robotermanipulators in einer vordefinierten Orientierung und/oder in einem vordefinierten Abstand jeweils relativ zum ersten Endeffektor

positionierbar ist, und wobei die Simulationsrecheneinheit dazu eingerichtet und ausgeführt ist, diejenige relative Position zwischen der ersten Basis und der zweiten Basis mit der höchsten Bewertungsgröße zu ermitteln und auszugeben.

Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform dient die Simulationsrecheneinheit zum Vorgeben einer relativen Position und einer relativen Orientierung zwischen der ersten Basis des ersten Robotermanipulators und der zweiten Basis des zweiten Robotermanipulators, wobei die Simulationsrecheneinheit weiter dazu eingerichtet und ausgeführt ist, für jede aus einer vorgegebenen Vielzahl von möglichen relativen Positionen und möglichen relativen Orientierungen zwischen der ersten Basis und der zweiten Basis die Bewertungsgröße zu ermitteln, und diejenige relative Position und relative Orientierung zwischen der ersten Basis und der zweiten Basis mit der höchsten Bewertungsgröße zu ermitteln und auszugeben.

Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform ist die Simulationsrecheneinheit eine Steuereinheit des ersten Robotermanipulators. Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform ist die Simulationsrecheneinheit eine Steuereinheit des zweiten Robotermanipulators.

Vorteile und bevorzugte Weiterbildungen der vorgeschlagenen Simulationsrecheneinheit ergeben sich durch eine analoge und sinngemäße Übertragung der im Zusammenhang mit dem vorgeschlagenen Simulationsverfahren vorstehend gemachten Ausführungen.

Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung, in der – gegebenenfalls unter Bezug auf die Zeichnung – zumindest ein Ausführungsbeispiel im Einzelnen beschrieben ist. Gleiche, ähnliche und/oder funktionsgleiche Teile sind mit gleichen Bezugszeichen versehen.

Es zeigen:

Fig. 1 ein Verfahren zum Vorgeben einer relativen Position und einer relativen Orientierung zwischen einer ersten Basis eines ersten Robotermanipulators und einer zweiten Basis eines zweiten Robotermanipulators gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung,

Fig. 2 ein System zum Vorgeben einer relativen Position und einer relativen Orientierung zwischen einer ersten Basis eines ersten Robotermanipulators

und einer zweiten Basis eines zweiten Robotermanipulators gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung,

Fig. 3 eine vorgegebene relative Orientierung und einen vorgegeben Abstand des zweiten Endeffektors relativ zum ersten Endeffektor gemäß dem in Fig. 1 oder dem in Fig. 2 erläuterten Ausführungsbeispiel der Erfindung,

Fig. 4 eine relative Position und eine relative Orientierung der ersten Basis zur zweiten Basis für die in Fig. 3 dargestellte relative Orientierung und den Abstand des zweiten Endeffektors relativ zum ersten Endeffektor, und

Fig. 5 einen ersten Robotermanipulator und einen zweiten Robotermanipulator als Alternative zu dem in Fig. 2 dargestellten Ausführungsbeispiel der Erfindung.

Die Darstellungen in den Figuren sind schematisch und nicht maßstäblich.

Fig. 1 zeigt ein Simulationsverfahren zum Vorgeben einer relativen Position und einer relativen Orientierung zwischen einer ersten Basis 11 eines ersten Robotermanipulators 10 und einer zweiten Basis 21 eines zweiten Robotermanipulators 20, wobei ein erster Arbeitsraum des ersten Robotermanipulators 10 ermittelt H1 wird, wobei der erste Arbeitsraum eine endliche Vielzahl von Tupeln aus möglichen Positionen des ersten Endeffektors 12 und möglichen Orientierungen des ersten Endeffektors 12 an den jeweiligen Positionen des ersten Endeffektors 12 angibt, wobei für jede aus einer vorgegebenen Vielzahl von möglichen relativen Positionen und möglichen relativen Orientierungen zwischen der ersten Basis 11 und der zweiten Basis 21 eine Anzahl von denjenigen Tupeln aus dem ersten Arbeitsraum als Bewertungsgröße ermittelt H2 wird, für die ein zweiter Endeffektor 22 des zweiten Robotermanipulators 20 in einer vordefinierten Orientierung und/oder in einem vordefinierten Abstand jeweils relativ zum ersten Endeffektor 12 positionierbar ist, und wobei diejenige relative Position und diejenige relative Orientierung zwischen der ersten Basis 11 und der zweiten Basis 21 mit der höchsten Bewertungsgröße ermittelt und ausgegeben H3 wird.

Fig. 2 zeigt eine Simulationsrecheneinheit 30 zum Vorgeben einer relativen Position und einer relativen Orientierung zwischen einer ersten Basis 11 eines ersten Robotermanipulators 10 und einer zweiten Basis 21 eines zweiten Robotermanipulators 20, wobei die Simulationsrecheneinheit 30 eine Steuereinheit des ersten Robotermanipulators 10 ist. Die Simulationsrecheneinheit 30 ist dazu eingerichtet und

ausgeführt, einen ersten Arbeitsraum des ersten Robotermanipulators 10 zu ermitteln, wobei der erste Arbeitsraum eine endliche Vielzahl von Tupeln aus möglichen Positionen des ersten Endeffektors 12 und möglichen Orientierungen des ersten Endeffektors 12 an den jeweiligen Positionen des ersten Endeffektors 12 angibt, wobei die Simulationsrecheneinheit 30 weiter dazu eingerichtet und ausgeführt ist, für jede aus einer vorgegebenen Vielzahl von möglichen relativen Positionen und möglichen relativen Orientierungen zwischen der ersten Basis 11 und der zweiten Basis 21 eine Anzahl von denjenigen Tupeln aus dem ersten Arbeitsraum als Bewertungsgröße zu ermitteln, für die ein zweiter Endeffektor 22 des zweiten Robotermanipulators 20 in einer vordefinierten Orientierung und/oder in einem vordefinierten Abstand jeweils relativ zum ersten Endeffektor 12 positionierbar ist, und wobei die Simulationsrecheneinheit 30 dazu eingerichtet und ausgeführt ist, diejenige relative Position und diejenige relative Orientierung zwischen der ersten Basis 11 und der zweiten Basis 21 mit der höchsten Bewertungsgröße zu ermitteln und auszugeben.

Fig. 3 zeigt die vorgegebene Orientierung des zweiten Endeffektors 22 relativ zum ersten Endeffektor 12, die durch eine halbe Drehung um einen Referenzpunkt des ersten Endeffektors 12 definiert ist, sodass der erste Endeffektor 12 und der zweite Endeffektor 22 symmetrisch aufeinander zeigen.

Fig. 4 zeigt eine jeweilige mögliche Pose des ersten Robotermanipulators 10 und des zweiten Robotermanipulators 20, für eine bestimmte aus der Vielzahl möglicher Tupel des ersten Endeffektors 12, für die der zweite Endeffektor 22 des zweiten Robotermanipulators 20 in der vorgegebenen Orientierung und in dem vorgegebenen Abstand jeweils relativ zum ersten Endeffektor 12 positionierbar ist, wie in Fig. 3 dargestellt. Ferner sind in Fig. 4 die relative Orientierung und der relative Abstand der ersten Basis 11 zur zweiten Basis 21 dargestellt.

Fig. 5 zeigt einen Aufbau aus einem auf einem gemeinsamen Sockel angeordneten ersten Robotermanipulator 10 und zweiten Robotermanipulator 20, wobei beide Robotermanipulatoren 10,20 in Draufsicht dargestellt sind. Auch für einen solchen Aufbau sind die Beschreibungen der Fig. 1 bis 4 anwendbar, insbesondere dann, wenn der erste Robotermanipulator 10 und der zweite Robotermanipulator 20 in ihrem Abstand zueinander oder in ihrer relativen Orientierung am Sockel variabel und verstellbar angeordnet sind.

Obwohl die Erfindung im Detail durch bevorzugte Ausführungsbeispiele näher illustriert und erläutert wurde, so ist die Erfindung nicht durch die offenbarten Beispiele eingeschränkt und andere Variationen können vom Fachmann hieraus abgeleitet werden, ohne den Schutzumfang der Erfindung zu verlassen. Es ist daher klar, dass eine Vielzahl von Variationsmöglichkeiten existiert. Es ist ebenfalls klar, dass beispielhaft genannte Ausführungsformen wirklich nur Beispiele darstellen, die nicht in irgendeiner Weise als Begrenzung etwa des Schutzbereichs, der Anwendungsmöglichkeiten oder der Konfiguration der Erfindung aufzufassen sind. Vielmehr versetzen die vorhergehende Beschreibung und die Figurenbeschreibung den Fachmann in die Lage, die beispielhaften Ausführungsformen konkret umzusetzen, wobei der Fachmann in Kenntnis des offenbarten Erfindungsgedankens vielfältige Änderungen, beispielsweise hinsichtlich der Funktion oder der Anordnung einzelner, in einer beispielhaften Ausführungsform genannter Elemente, vornehmen kann, ohne den Schutzbereich zu verlassen, der durch die Ansprüche und deren rechtliche Entsprechungen, wie etwa weitergehende Erläuterungen in der Beschreibung, definiert wird.

Bezugszeichenliste

10	erster Robotermanipulator
11	erste Basis
12	erster Endeffektor
20	zweiter Robotermanipulator
21	zweite Basis
22	zweiter Endeffektor
30	Simulationsrecheneinheit
H1	Ermitteln
H2	Ermitteln
H3	Ermitteln und Ausgeben