

Koordination von Bahnen zweier Roboter manipulatoren

- Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Einlernen und Ausführen von zueinander
- 5 koordinierten Bahnen eines ersten Roboter manipulators und eines zweiten Roboter manipulators sowie ein System zum Einlernen und Ausführen von zueinander koordinierten Bahnen eines ersten Roboter manipulators und eines zweiten Roboter manipulators.
- 10 Insbesondere dann, wenn ein erster Roboter manipulator und ein zweiter Roboter manipulator kooperativ zusammen eine Aufgabe erledigen sollen, stellt sich die Frage nach der Koordination des ersten Roboter manipulators relativ zum zweiten Roboter manipulator. Beispielsweise wenn eine Last vom ersten Roboter manipulator und vom zweiten Roboter manipulator zusammen gehoben und transportiert werden soll, ist es
- 15 entscheidend, dass der erste und der zweite Roboter manipulator koordiniert zusammenarbeiten. Auch bei anderen Aufgaben, die von einem ersten und einem zweiten Roboter manipulator koordiniert durchzuführen sind, sind deren entsprechende Bewegungsbahnen genau aufeinander abzustimmen.
- 20 Aufgabe der Erfindung ist es, durch einen Einlernvorgang (engl. „Teaching“, auch „Teach-In“) eine Bewegungsbahn für einen ersten Roboter manipulator und eine zur ersten Bewegungsbahn koordinierte zweite Bewegungsbahn eines zweiten Roboter manipulators vorzugeben.
- 25 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 Verfahren zum Einlernen von zueinander koordinierten Bahnen, eines ersten Roboter manipulators und eines zweiten
- 30 Roboter manipulators, aufweisend die Schritte:
- Manuelles Führen eines ersten Referenzpunktes des ersten Roboter manipulators über eine gewünschte erste Bahn,
 - Erfassen der ersten Bahn oder Erfassen eines ersten Posensatzes für die erste Bahn und Abspeichern der ersten Bahn oder des ersten Posensatzes in einem ersten
- 35 Datensatz,
- automatisches Abfahren der ersten Bahn,

- während des automatischen Abfahrens der ersten Bahn: Manuelles Führen eines zweiten Referenzpunktes des zweiten Roboter manipulators über eine gewünschte zweite Bahn,
- Erfassen der zweiten Bahn oder Erfassen eines zweiten Posensatzes für die zweite Bahn und Abspeichern der zweiten Bahn oder des zweiten Posensatzes in einem zweiten Datensatz, wobei der zweite Datensatz zum ersten Datensatz so zugeordnet ist, dass jedem Ort der zweiten Bahn ein Ort der ersten Bahn zumindest näherungsweise zugeordnet ist, und
- Synchronisiertes Abfahren der ersten Bahn durch den ersten Roboter manipulator gemäß dem ersten Datensatz und Abfahren der zweiten Bahn durch den zweiten Roboter manipulator gemäß dem zweiten Datensatz.

Bevorzugt wird unter dem manuellen Führen ein Vorgang verstanden, bei dem der Anwender insbesondere seine Hand auf eines der Glieder eines jeweiligen Roboter manipulators legt und durch Aufbringen einer Kraft auf diesen ihn in eine gewünschte Richtung beschleunigt.

Der erste Roboter manipulator und der zweite Roboter manipulator sind insbesondere zwei eigenständige Roboter manipulatoren, d. h. jeder der Roboter manipulatoren könnte auch eigenständig Aufgaben erledigen und wird von seiner eigenen Steuereinheit angesteuert. Alternativ bevorzugt sind der erste Roboter manipulator und der zweite Roboter manipulator auf einer gemeinsamen Plattform angeordnet und werden von einer gemeinsamen Steuereinheit angesteuert. Die Erfindung bezieht sich auf beide Alternativen.

Unter dem Begriff des „Posensatzes“ wird vorteilhaft eine Zeitreihe von Posen des jeweiligen Roboter manipulators verstanden. Demnach wird insbesondere in jedem einzelnen Zeitschritt einer Vielzahl von Zeitschritten eine Pose des jeweiligen Roboter manipulators erfasst und abgespeichert. Eine Pose wird insbesondere durch einen Vektor von Gelenkwinkeln abgespeichert, sodass eine abgespeicherte Pose zu einem beliebigen Zeitpunkt eindeutig wiederhergestellt werden kann. Während bei der ersten Alternative eine Bahn des jeweiligen Referenzpunktes explizit erfasst wird, zum Beispiel durch ein optisches Erfassungssystem, so wird beim Erfassen eines Posensatzes insbesondere ein vollständiger Satz von Gelenkwinkeln des jeweiligen Roboter manipulators erfasst. Wird der Posensatz gemäß dem jeweiligen Datensatz abgefahren, so ergibt sich von selbst wiederum die jeweilige Bahn des jeweiligen Referenzpunktes.

Beim Zuordnen des zweiten Datensatzes zum ersten Datensatz, sodass jedem Ort der zweiten Bahn ein Ort der ersten Bahn zumindest näherungsweise zugeordnet ist, ist es nicht notwendig, dass ein beliebiger Ort der zweiten Bahn in vollständiger mathematischer Korrektheit einem Ort auf der ersten Bahn zugeordnet ist, sondern nur näherungsweise, sodass auch die Orte zum Beispiel mittels Interpolation von Stützstellen oder anderweitigen Näherungsverfahren einander zuordenbar sind.

Eine jeweilige Bahn eines jeweiligen Roboter manipulators beschreibt im Gegensatz zu einer Trajektorie lediglich den geometrischen Pfad des jeweiligen Referenzpunktes, ohne dabei eine Zeitinformation eines jeweiligen Ortes auf dem Pfad zu beinhalten. Dagegen beinhaltet eine Trajektorie den geometrischen Pfad der Bahn, wobei jeder Ort auch einer Zeitinformation zugeordnet ist, zu welchem Zeitpunkt der Ort zu durchfahren ist.

Das Erfassen der ersten Bahn sowie auch das Erfassen der zweiten Bahn erfolgen bevorzugt durch Positionssensoren insbesondere an den Gelenken des jeweiligen Roboter manipulators.

Zum manuellen Führen eines jeweiligen Referenzpunktes kann der führende Anwender beliebige Glieder des Roboter manipulators führen. Es ist hierzu nicht notwendig, dass der Anwender unmittelbar am Referenzpunkt des jeweiligen Roboter manipulators ansetzt.

Das automatische Abfahren der ersten Bahn sowie das synchronisierte Abfahren der ersten Bahn und der zweiten Bahn erfolgen insbesondere jeweils durch eine entsprechende Ansteuerung von Aktuatoren, mit denen der jeweilige Roboter manipulator bewegbar ist.

Beim synchronisierten Abfahren werden insbesondere der erste Datensatz und der zweite Datensatz derart miteinander koordiniert, dass zu einem jeweiligen Zeitpunkt ein Ort der ersten Bahn und ein Ort der zweiten Bahn ihre jeweilige durch den Einlernvorgang vorgegebene relative Position aufweisen.

Es ist eine vorteilhafte Wirkung der Erfindung, dass eine erste Bahn eines ersten Roboter manipulators und eine zweite Bahn eines zweiten Roboter manipulators in Relation zueinander sehr einfach durch einen Anwender bestimmbar sind. Insbesondere dadurch, dass der Anwender jeweils nur einen einzigen Roboter manipulator gleichzeitig manuell führen muss, und insbesondere während des automatischen Abfahrens der

ersten Bahn durch den ersten Roboter manipulator diesen beobachten kann, ist ein sehr genauer ein Einlernvorgang insbesondere der zweiten Bahn des zweiten Roboter manipulators relativ zur ersten Bahn des ersten Roboter manipulators möglich.

- 5 Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform speichert der erste Datensatz die erste Bahn und der zweite Datensatz die zweite Bahn jeweils mittels einer diskreten Anzahl von Bahnpunkten ab, wobei zum Zuordnen des zweiten Datensatzes zum ersten Datensatz eine Länge des zweiten Datensatzes an die Länge des ersten Datensatzes angeglichen wird, sodass der erste Datensatz und der zweite Datensatz eine gleiche Anzahl von
10 diskreten Bahnpunkten aufweisen.

- Erst dann, wenn der erste Datensatz und der zweite Datensatz die gleiche Anzahl von diskreten Bandpunkten aufweisen, können unmittelbar die Bahnpunkte einander zugeordnet werden. Dies ist insbesondere vorteilhaft bei diskret ablaufenden
15 Steuerprogrammen, nach denen insbesondere die Gelenkwinkel in diskretisierten Zeitschritten geregelt werden. Die Angleichung der jeweiligen Längen des jeweiligen Datensatzes, was der Angleichung der Anzahl der jeweiligen diskreten Bahnpunkte je Datensatz entspricht, erfolgt bevorzugt durch Weglassen einer bestimmten Zahl von diskreten Standpunkten in dem zunächst längeren Datensatz, oder auch durch
20 Interpolation und Erzeugung von ursprünglich nicht vorhandenen diskreten Bahnpunkten in dem zunächst kürzeren Datensatz.

- Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform speichern der erste Datensatz die erste Bahn und der zweite Datensatz die zweite Bahn jeweils vektorisiert ab.
25

- In diesem Zusammenhang heißt vektorisiert, dass die erste Bahn und die zweite Bahn in Form eines analytischen Ausdrucks vorliegen, bevorzugt durch eine Polynomfunktion, Bézier-Kurve, oder einer anderen algebraischen Funktion, die innerhalb ihrer Ordnung parametrisiert werden kann. Vorteilhaft ist hierdurch die erste Bahn und/oder die zweite
30 Bahn jeweils sehr speichereffizient abgelegt.

- Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform ist der erste Referenzpunkt und/oder der zweite Referenzpunkt jeweils ein vorgegebener Punkt an einem jeweiligen Endeffektor des jeweiligen Roboter manipulators. Der jeweilige Endeffektor des jeweiligen
35 Roboter manipulators ist insbesondere am jeweiligen distalen Glied des jeweiligen Roboter manipulators angeordnet.

Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform wird der erste Roboter manipulator während des manuellen Führens des ersten Roboter manipulators schwerkraftkompensiert angesteuert und/oder der zweite Roboter manipulator wird während des manuellen Führens des zweiten Roboter manipulators schwerkraftkompensiert angesteuert.

5

Bei einer schwerkraftkompensierten Ansteuerung werden insbesondere die Aktuatoren eines jeweiligen Roboter manipulators derart angesteuert, dass die Schwerkraft keinerlei Beschleunigung des jeweiligen Roboter manipulators nach sich zieht. Abgesehen von dieser Ansteuerung der Aktuatoren ist dabei bevorzugt der jeweilige Roboter manipulator durch manuelles Führen beliebig bewegbar. Vorteilhaft erleichtert dies das manuelle Führen des jeweiligen Roboter manipulators durch einen Anwender.

Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform weist der erste Roboter manipulator und/oder der zweite Roboter manipulator jeweils durch Gelenke mit zumindest teilweise zueinander redundanten Freiheitsgraden miteinander verbundene Glieder auf, sodass zumindest eine Teilmenge der Glieder des ersten Roboter manipulators und/oder des zweiten Roboter manipulators jeweils in einem Nullraum bewegbar sind, wobei der erste Datensatz und/oder der zweite Datensatz zusätzlich zu der jeweiligen Bahn des jeweiligen Referenzpunktes Informationen über eine jeweilige Pose des jeweiligen Roboter manipulators in seinem Nullraum aufweist.

Die Pose eines jeweiligen Roboter manipulators beschreibt generell sowohl eine Orientierung als auch eine Position der Gesamtheit der Glieder eines jeweiligen Roboter manipulators oder eines Endeffektors eines jeweiligen Roboter manipulators. Indem eine Teilmenge der Gelenke zueinander redundante Freiheitsgrade aufweist, sind insbesondere einige der Glieder des jeweiligen Roboter manipulators im Raum bewegbar, ohne dass sich dabei die Position und/oder die Orientierung des Endeffektors am distalen Ende des jeweiligen Roboter manipulators bzw. die Position des Referenzpunktes ändert. Die Bewegung der Glieder an den Gelenken mit redundanten Freiheitsgraden wird daher auch Bewegung im Nullraum genannt. Wird diese Bewegung als algebraische lineare Abbildung verstanden, so wird die Bewegung im Nullraum auch Kern der Abbildung genannt. Die Bewegung dieser Glieder über Gelenke mit redundanten Freiheitsgraden erfolgt insbesondere, ohne dabei die Position des jeweiligen Referenzpunktes zu ändern.

Ein weiterer Aspekt der Erfindung betrifft ein System zum Einlernen von zueinander koordinierten Bahnen eines ersten Roboter manipulators und eines zweiten

Roboter manipulators, aufweisend einen ersten Roboter manipulator mit einer ersten Steuereinheit und einen zweiten Roboter manipulator mit einer zweiten Steuereinheit, wobei der erste Roboter manipulator eine erste Bahnerfassungseinheit aufweist und wobei der zweite Roboter manipulator eine zweite Bahnerfassungseinheit aufweist, wobei die

5 erste Bahnerfassungseinheit dazu ausgeführt ist, eine gewünschte erste Bahn eines ersten Referenzpunktes des ersten Roboter manipulators oder einen ersten Posensatz für die erste Bahn bei einem manuellen Führen des ersten Roboter manipulators zu erfassen und in einem ersten Datensatz abzuspeichern, wobei die erste Steuereinheit dazu ausgeführt ist, den ersten Roboter manipulator zum Abfahren der ersten Bahn gemäß dem

10 ersten Datensatz anzusteuern, und wobei die zweite Bahnerfassungseinheit dazu ausgeführt ist, eine gewünschte zweite Bahn eines zweiten Referenzpunktes des zweiten Roboter manipulators oder einen zweiten Posensatz für die zweite Bahn bei einem manuellen Führen des zweiten Roboter manipulators während des Abfahrens der ersten Bahn durch den ersten Roboter manipulator zu erfassen und in einem zweiten Datensatz

15 abzuspeichern, wobei der zweite Datensatz zum ersten Datensatz so zugeordnet ist, dass jedem Ort der zweiten Bahn ein Ort der ersten Bahn zumindest näherungsweise zugeordnet ist.

Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform sind die erste Steuereinheit und/oder die

20 zweite Steuereinheit jeweils dazu ausgeführt, den ersten Roboter manipulator zum Abfahren der ersten Bahn gemäß dem ersten Datensatz und synchronisiert dazu den zweiten Roboter manipulator zum Abfahren der zweiten Bahn gemäß dem zweiten Datensatz anzusteuern.

25 Vorteile und bevorzugte Weiterbildungen des vorgeschlagenen Systems ergeben sich durch eine analoge und sinnngemäße Übertragung der im Zusammenhang mit dem vorgeschlagenen Verfahren vorstehend gemachten Ausführungen.

Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten ergeben sich aus der nachfolgenden

30 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:

35

- Fig. 1 ein Verfahren zum Einlernen und Ausführen von zueinander koordinierten Bahnen eines ersten Roboter manipulators und eines zweiten Roboter manipulators gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung, und
- 5 Fig. 2 ein System zum Einlernen von zueinander koordinierten Bahnen eines ersten Roboter manipulators und eines zweiten Roboter manipulators gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung.

Die Darstellungen in den Figuren sind schematisch und nicht maßstäblich.

10

Fig. 1 zeigt ein Verfahren zum Einlernen und Ausführen von zueinander koordinierten Bahnen 11,22 eines ersten Roboter manipulators 10 und eines zweiten Roboter manipulators 20, aufweisend die Schritte:

- Manuelles S1 Führen eines ersten Referenzpunktes des ersten Roboter manipulators 10
- 15 über eine gewünschte erste Bahn 11,
- Erfassen S2 der ersten Bahn 11 und Abspeichern der ersten Bahn 11 in einem ersten Datensatz,
- automatisches Abfahren S3 der ersten Bahn 11,
- während des automatischen Abfahrens der ersten Bahn 11: Manuelles Führen S4 eines
- 20 zweiten Referenzpunktes des zweiten Roboter manipulators 20 über eine gewünschte zweite Bahn 22,
- Erfassen S5 der zweiten Bahn 22 und Abspeichern der zweiten Bahn 22 in einem zweiten Datensatz, wobei der zweite Datensatz zum ersten Datensatz so zugeordnet ist, dass jedem Ort der zweiten Bahn 22 ein Ort der ersten Bahn 11 zumindest
- 25 näherungsweise zugeordnet ist, und
- Synchronisiertes Abfahren S6 der ersten Bahn 11 durch den ersten Roboter manipulator 10 gemäß dem ersten Datensatz und Abfahren der zweiten Bahn 22 durch den zweiten Roboter manipulator 20 gemäß dem zweiten Datensatz.

- 30 Fig. 2 zeigt ein System 100 zum Einlernen von zueinander koordinierten Bahnen 11,22 eines ersten Roboter manipulators 10 und eines zweiten Roboter manipulators 20, aufweisend einen ersten Roboter manipulator 10 mit einer ersten Steuereinheit 14 und einen zweiten Roboter manipulator 20 mit einer zweiten Steuereinheit 24, wobei der erste Roboter manipulator 10 eine erste Bahnerfassungseinheit 15 aufweist und
- 35 wobei der zweite Roboter manipulator 20 eine zweite Bahnerfassungseinheit 25 aufweist, wobei die erste Bahnerfassungseinheit 15 dazu ausgeführt ist, eine gewünschte erste Bahn 11 eines ersten Referenzpunktes des ersten Roboter manipulators 10 bei einem

manuellen Führen des ersten Roboter manipulators 10 zu erfassen und in einem ersten Datensatz abzuspeichern, wobei die erste Steuereinheit 14 dazu ausgeführt ist, den ersten Roboter manipulator 10 zum Abfahren der ersten Bahn 11 gemäß dem ersten Datensatz anzusteuern, und wobei die zweite Bahnerfassungseinheit 25 dazu ausgeführt ist, eine gewünschte zweite Bahn 22 eines zweiten Referenzpunktes des zweiten Roboter manipulators 20 bei einem manuellen Führen des zweiten Roboter manipulators 20 während des Abfahrens der ersten Bahn 11 durch den ersten Roboter manipulator 10 zu erfassen und in einem zweiten Datensatz abzuspeichern, wobei der zweite Datensatz zum ersten Datensatz so zugeordnet ist, dass jedem Ort der zweiten Bahn 22 ein Ort der ersten Bahn 11 zumindest näherungsweise zugeordnet ist.

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 Schutzbereich 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.

30

Bezugszeichenliste

	10	erster Roboter manipulator
5	11	erste Bahn
	13	erster Endeffektor
	14	erste Steuereinheit
	15	erste Bahnerfassungseinheit
	20	zweiter Roboter manipulator
10	22	zweite Bahn
	23	zweiter Endeffektor
	24	zweite Steuereinheit
	25	zweite Bahnerfassungseinheit
	100	System
15		
	S1	Manuelles Führen
	S2	Erfassen
	S3	automatisches Abfahren
	S4	Manuelles Führen
20	S5	Erfassen
	S6	Synchronisiertes Abfahren