

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges
Eigentum

Internationales Büro

(43) Internationales
Veröffentlichungsdatum
20. April 2017 (20.04.2017)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2017/063733 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
B25J 9/16 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2016/001666

(22) Internationales Anmeldedatum:
7. Oktober 2016 (07.10.2016)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2015 220 066.3
15. Oktober 2015 (15.10.2015) DE

(71) Anmelder: **KUKA ROBOTER GMBH** [DE/DE];
Zugspitzstr. 140, 86165 Augsburg (DE).

(72) Erfinder: **MILLER, Klaus**; Leonhard-Hausmann-Str. 28,
86157 Augsburg (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW,
BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK,
DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM,

GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP,
KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD,
ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI,
NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU,
RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH,
TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA,
ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST,
SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG,
KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH,
CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE,
IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO,
RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM,
GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Erklärungen gemäß Regel 4.17:

— Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv)

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz
3)

(54) Title: HAPTIC REFERENCING OF A MANIPULATOR

(54) Bezeichnung : HAPTISCHES REFERENZIEREN EINES MANIPULATORS

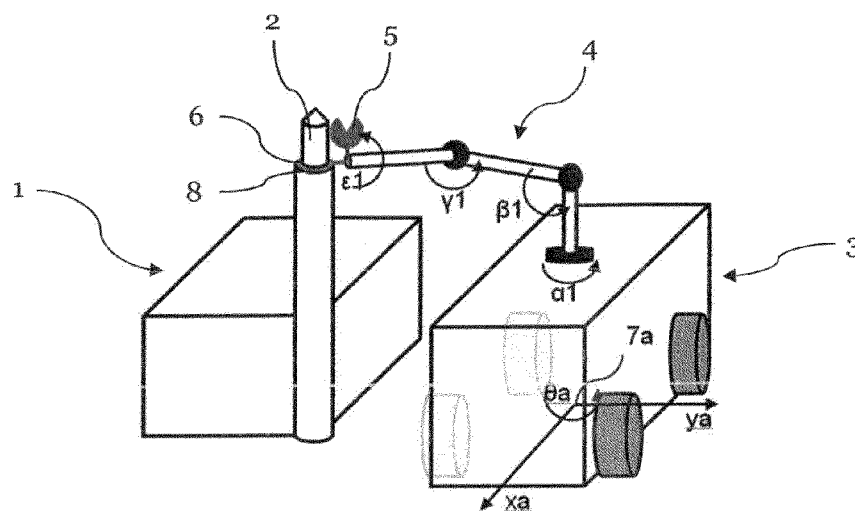


Fig. 1

(57) **Abstract:** The present invention relates to a method for controlling a robot system, and in particular for orienting a robot system with respect to a reference body. The robot system in this case comprises a manipulator and a mobile platform that supports the manipulator. In this case, a reference position of the platform with respect to the reference body and a reference configuration of the manipulator are provided. Furthermore, the manipulator is coupled to the reference body and the robot system is actuated in the coupled state such that the reference configuration of the manipulator is taken up.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 2017/063733 A1

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Steuern eines Robotersystems, und insbesondere zum Ausrichten eines Robotersystems bezogen auf einen Referenzkörper. Das Robotersystem umfasst dabei einen Manipulator und eine den Manipulator stützende mobile Plattform. Dabei wird eine Referenzposition der Plattform bezogen auf den Referenzkörper und eine Referenzkonfiguration des Manipulators bereitgestellt. Ferner wird der Manipulator an den Referenzkörper gekoppelt und das Robotersystem im gekoppelten Zustand derart angesteuert, dass die Referenzkonfiguration des Manipulators eingenommen wird.

Haptisches Referenzieren eines Manipulators

1. Technischer Bereich

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Steuern eines Robotersystems, und insbesondere zum Ausrichten eines Robotersystems an einen Referenzkörper. Ferner betrifft die Erfindung ein entsprechendes Robotersystem.

2. Technischer Hintergrund

Roboter sind frei programmierbare, programmgesteuerte Handhabungseinrichtungen, welche zu verschiedenen Tätigkeiten in Montage- oder Fertigungsprozessen eingesetzt werden können. Die eigentliche Mechanik eines Roboters kann als Manipulator bezeichnet werden. Ein Manipulator kann verschiedene Glieder und Achsen umfassen, deren Bewegung durch Ansteuern entsprechender Motoren und insbesondere Servomotoren gesteuert werden kann.

Manipulatoren können auf mobilen Plattformen bereitgestellt sein, welche die Manipulatoren beispielsweise durch eine Werkshalle bewegen können. Die Plattformen können aktiv oder passiv sein, also über einen eigenständigen Antrieb und eine eigenständige Steuerung verfügen oder nicht.

In einem automatischen Programmablauf kann ein solcher mobiler Manipulator an ein Werkstück bewegt werden, um dieses anschließend zu bearbeiten. Bei der Positionierung des mobilen Manipulators kann Odometrie oder Lasernavigation verwendet werden. Jedoch ist aufgrund von Ungenauigkeiten der Hard- und Software, die bei einer solchen Positionierung beteiligt ist, ein genaues Referenzieren an der Arbeitsstation notwendig. Dabei kann es ein bevorzugtes Ziel einer solchen Referenzierung sein, einen Manipulator derart an eine Arbeitsstation auszurichten, dass eine definierte Transformation zwischen einem Koordinatensystem der Arbeitsstation und einem Koordinatensystem des

mobilen Manipulators gegeben ist. Einer entsprechenden Steuerung ist somit genau bekannt, wo sich der mobile Manipulator bezüglich der Arbeitsstation und dem zu bearbeitenden Bauteil befindet. Anschließend kann ein automatischer Bearbeitungsschritt eines Roboterprogramms ohne Einschränkungen ausgeführt werden.

5

Aus betriebsinternen Verfahren ist bekannt, sensorgestützt einen Positionierungsfehler zu identifizieren. Hierzu können optische Erfassungssysteme in Verbindung mit Algorithmen zur Objekt- oder Umgebungserkennung verwendet werden.

Die Patentschrift US 6,429,016 B1 betrifft automatische Systeme zum Positionieren einer Probe. Ein darin offenbartes Positionierungssystem umfasst ein Makro-Positionierungssystem und ein Mikro-Positionierungssystem. Das Mikro-Positionierungssystem wird dabei zwischen einem Roboter und einer Arbeitsstation bereitgestellt, um ein mechanisches Feinpositionieren zu ermöglichen.

15

Das Dokument EP 2 590 787 B1 betrifft ein Verfahren zum Kalibrieren eines Roboters. Dazu wird ein CAD-Modell mittels einer CAD-Software erzeugt, und anschließend mit einem zweiten CAD-Modell verglichen, welches basierend auf 3D-Messungen erzeugt wurde.

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum effizienten Referenzieren eines Robotersystems an z.B. eine Arbeitsstation zu ermöglichen, sodass die während eines Programmierprozesses gespeicherten Bahn- bzw. Bearbeitungspunkte erfolgreich ab- bzw. angefahren werden können. Es soll insbesondere ein Verfahren bereitgestellt werden, welches einen uneingeschränkten automatischen und präzisen Applikationsablauf eines mobilen Manipulators ermöglicht. Auf kostenintensive externe Sensorik zum Ausrichten soll hierbei vorzugsweise verzichtet werden können.

25

Diese und weitere Aufgaben, welche aus der folgenden Beschreibung ersichtlich werden, werden durch ein Verfahren gemäß Anspruch 1 und durch ein Robotersystem gemäß Anspruch 11 gelöst.

3. Inhalt der Erfindung

5 Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Steuern eines Robotersystems. Insbesondere kann mittels dieses Verfahrens das Robotersystem zu einer Arbeitsstation ausgerichtet werden, an welcher ein Arbeitsschritt mittels des Robotersystems durchgeführt werden soll. Dabei kann sich das
10 Robotersystem zu der Arbeitsstation referenzieren. Insbesondere vorzugsweise kann sich das Robotersystem mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens an einer solchen Arbeitsstation ausrichten und anschließend ein Bauteil basierend auf der Ausrichtung handhaben. Die Arbeitsstation kann dabei das Bauteil umfassen.

Das Robotersystem umfasst einen Manipulator als auch eine mobile Plattform, welche den Manipulator stützt. Vorzugsweise ist der Manipulator ein
15 mehrachsiger Gelenkarmroboter. Die mobile Plattform kann Teil des Manipulators sein, beispielsweise ein beweglicher Manipulatorfuß. Alternativ kann die mobile Plattform auch als separates Transportsystem bereitgestellt sein, welches ein autonomes Bewegen des Manipulators ermöglichen kann. Insbesondere kann die mobile Plattform eine omnidirektional bewegliche
20 Plattform sein. Die Plattform kann passiv bewegbar sein, und kann beispielsweise durch einen Bediener geschoben werden. Die Plattform kann auch über einen eigenen Antrieb und eine entsprechende Steuerung verfügen. Vorzugsweise ist die mobile Plattform mit dem Manipulator verbunden.

Das Verfahren umfasst ein Bereitstellen eines Referenzkörpers. Dieser
25 Referenzkörper kann beispielsweise an einer Arbeitsstation oder einem Bauteil angeordnet sein, und ist vorzugsweise ortsfest fixiert und getrennt von dem Manipulator und der mobilen Plattform bereitgestellt.

Das Verfahren umfasst weiter ein Bereitstellen einer Referenzposition der Plattform und einer Referenzkonfiguration des Manipulators. Die

Referenzposition der Plattform kann sich auf den Referenzkörper beziehen und kann ferner einer bestimmten Transformation zwischen dem Referenzkörper und der Plattform entsprechen. Die Referenzposition und die Referenzkonfiguration können beispielsweise während einer vorherigen Applikationsprogrammierung
5 erfasst worden sein. Die Referenzposition der Plattform kann bspw. eine zweidimensionale Position und eine Orientierung der Plattform umfassen. Die Referenzkonfiguration des Manipulators kann bspw. eine Achskonfiguration des Manipulators oder eine Pose des Manipulators umfassen.

Das Verfahren umfasst weiter ein Annähern der Plattform an die bereitgestellte
10 Referenzposition der Plattform. Hierzu kann die mobile Plattform aktiv angesteuert werden, oder passiv durch einen Bediener bewegt werden. Das Annähern der Plattform kann auch durch Bewegen des Robotersystems an den Referenzkörper erfolgen. Beispielsweise kann die Plattform hierbei bewegt werden, um die Referenzposition der Plattform zu erreichen. Die
15 Referenzposition muss dabei nicht erreicht werden, insbesondere nicht exakt erreicht werden. Beispielsweise ist ein solches Erreichen aufgrund von Positionierungsfehlern oder auch manuellen Ungenauigkeiten häufig nicht möglich.

Das Verfahren umfasst weiter ein Koppeln des Manipulators an den
20 Referenzkörper. Durch das Koppeln wird ein gekoppelter Zustand des Robotersystems erreicht, indem z.B. ein Endeffektor des Manipulators den Referenzkörper ergreift. Hierbei kann eine direkte Verbindung zwischen dem Manipulator und dem Referenzkörper hergestellt werden. Somit ist auch die mobile Plattform über den Manipulator mit dem Referenzkörper verbunden.
25 Vorzugsweise ist das Koppeln ein lösbares Koppeln, sodass ein gekoppelter Zustand nach einer erfolgreichen Referenzierung aufgehoben werden kann.

Weiter umfasst das Verfahren ein Ansteuern des Robotersystems im gekoppelten Zustand, sodass die Referenzkonfiguration des Manipulators eingenommen wird. Hierzu können der Manipulator und/oder die mobile Plattform angesteuert
30 werden und entsprechend bewegt werden. Der Referenzkörper wird hierbei vorzugsweise nicht bewegt, um einer verfälschten Referenzierung

entgegenzuwirken. Aufgrund der bestehenden Kopplung zwischen dem Manipulator und dem Referenzkörper kann sich der Manipulator nicht vollständig frei bewegen, sondern ist aufgrund der Kopplung in seiner Bewegung eingeschränkt.

- 5 Im Anschluss an das Ansteuern hat der Manipulator die Referenzkonfiguration eingenommen. Da der Manipulator mit dem Referenzkörper gekoppelt ist, sind somit die Position und vorzugsweise auch die Orientierung des Manipulators genau definiert, zumindest hinsichtlich des Referenzkörpers. Somit ist, da Manipulator und Plattform miteinander verbunden sind, vorzugsweise auch die
- 10 Position der mobilen Plattform hinsichtlich des Referenzkörpers genau definiert. Das Robotersystem ist somit bezüglich des Referenzkörpers referenziert. Mittels des Manipulators kann nun eine Applikation ausgeführt werden, und zwar mit einer hohen Genauigkeit aufgrund der präzisen Referenzierung des Robotersystems. Externe Sensoren zur Referenzierung sind dabei nicht
- 15 notwendig. Insbesondere können die oben beschriebenen Schritte automatisch ausgeführt werden, beispielsweise vor oder während eines automatischen Durchführens einer Applikation. Somit kann sich das Robotersystem selbstständig zu einem Bauteil referenzieren, indem es sich an den Referenzkörper koppelt und die Referenzkonfiguration ansteuert.
- 20 Vorzugsweise erfolgt das Ansteuern des Robotersystems im gekoppelten Zustand ferner derart, dass die Referenzposition der mobilen Plattform eingenommen wird. Wenn beispielsweise ein Endeffektor des Manipulators an den Referenzkörper gekoppelt ist, und ein Fuß des Manipulators mit der mobilen Plattform verbunden ist, kann in Folge des Ansteuerns des Robotersystems,
- 25 sodass der Manipulator die Referenzkonfiguration einnimmt, die mit dem Manipulator verbundene Plattform die Referenzposition einnehmen. Hierzu kann die mobile Plattform als passives Element durch den Manipulator bewegt werden, also in die Referenzposition gedrängt werden. Als aktives Element kann die mobile Plattform entsprechend angesteuert werden, um einer Führung des
- 30 Manipulators zu folgen. Hierzu kann eine Steuerung des Manipulators mit einer entsprechenden Steuerung des Manipulators verbunden sein. Ferner kann die mobile Plattform Sensoren aufweisen, welche Kräfte erfassen, die von dem

Manipulator auf die Plattform infolge des Ansteuerns ausgeübt werden.
Entsprechend dieser Daten kann die mobile Plattform ihre Antriebe ansteuern,
um der Führungskraft des Manipulators zu folgen.

5 In der Referenzposition sind die Position und vorzugsweise auch die Orientierung
der mobilen Plattform hinsichtlich des Referenzkörpers oder hinsichtlich des
Bauteils präzise definiert. Das Koordinatensystem des Manipulators, welches
selber hinsichtlich der mobilen Plattform definiert sein kann, ist somit präzise
der Referenzposition der mobilen Plattform zugeordnet. Mittels entsprechender
Transformation kann der Manipulator daher präzise ein Bauteil bearbeiten,
10 dessen Position hinsichtlich des Referenzkörpers hinterlegt ist.

Vorzugsweise liegt im gekoppelten Zustand eine Verbindung zwischen dem
Manipulator und dem Referenzkörper vor. Insbesondere vorzugsweise liegt
hierbei eine mechanische oder magnetische Verbindung zwischen dem
Manipulator und dem Referenzkörper vor. Basierend auf dieser Verbindung kann
15 sich das Robotersystem ausrichten, wenn es entsprechend angesteuert wird,
während der Manipulator weiterhin mit dem Referenzkörper verbunden ist und
somit einen festen Bezugspunkt hat, um welchen die Bewegung infolge des
Ansteuerns erfolgt. Beim Koppeln kann beispielsweise eine magnetische
Koppelvorrichtung des Manipulators effizient mittels magnetischer Zugkräfte an
20 einen eisenhaltigen Referenzkörper bewegt werden.

Vorzugsweise wird in Folge des Annäherns der Plattform an die Referenzposition
der Plattform eine Zwischenposition der Plattform erreicht. Diese
Zwischenposition ist typischerweise verschieden von der Referenzposition der
Plattform. Das Robotersystem muss somit nicht präzise an die Referenzposition
25 der Plattform angenähert werden, da das präzise Ausrichten bzw. Referenzieren
erst später automatisch mittels des Manipulators erfolgt. Ein Werker kann
beispielsweise das Robotersystem per Hand in die Nähe des Referenzkörpers und
in die Nähe der Referenzposition der mobilen Plattform bewegen. Dabei erreicht
die Plattform die Zwischenposition. Um ein genaues Durchführen einer
30 programmierten Applikation durchführen zu können, wird mittels des

Manipulators die Plattform zunächst automatisch in die Referenzposition gebracht.

Vorzugsweise umfasst das Verfahren ferner ein Erfassen von auf das Robotersystem wirkenden Kräften und Momenten. Während des Annäherns der Plattform und/oder während des Koppelns des Manipulators wird dabei das
5 Robotersystem und insbesondere vorzugsweise der Manipulator mittels einer Kraftregelung unter Verwendung der erfassten Kräfte und Momente betrieben. Die Kraftregelung kann dabei eine Nachgiebigkeitsregelung sein, und insbesondere mittels einer Impedanz-, einer Admittanz-, einer Positions- oder
10 Drehmomentregelung erfolgen. Bei einer solchen Nachgiebigkeitsregelung kann das Robotersystem zumindest teilweise weichgeschaltet sein und kann entsprechend externer Kräfte geregelt werden, so dass die externen Kräfte, die auf das Robotersystem wirken, aufgrund einer entsprechenden Bewegung des Robotersystems verringert werden. Hierdurch kann der Manipulator an den
15 Referenzkörper koppeln, ohne dass der Manipulator und/oder der Referenzkörper beschädigt werden. Es kann insbesondere ein haptisches Koppeln erfolgen, bei dem der Manipulator den Referenzkörper erkennt und an diesen koppelt. Auch das Annähern der Plattform an die Referenzposition kann dabei derart erfolgen, dass eine Kollision zwischen dem Robotersystem und
20 beispielsweise einer Arbeitsstation, auf welcher sich der Referenzkörper befinden kann, verhindert wird. Somit kann ein haptisches Referenzieren ermöglicht werden.

Vorzugsweise umfasst das Koppeln des Manipulators an den Referenzkörper ein kraftschlüssiges Koppeln. Insbesondere vorzugsweise liegt infolge des Koppelns
25 eine kraftschlüssige Verbindung zwischen dem Manipulator und dem Referenzkörper vor. Somit kann sich das Robotersystem selbst ausrichten, infolge des Ansteuerns, während es im gekoppelten Zustand ist. Beispielsweise kann sich der Manipulator an den Referenzkörper heranziehen oder von diesem wegdrücken, um die Referenzkonfiguration einzunehmen. Der Referenzkörper ist
30 dementsprechend ortsfest und ausreichend starr dimensioniert.

Vorzugsweise umfasst das Koppeln des Manipulators an den Referenzkörper ein formschlüssiges Koppeln. Insbesondere vorzugsweise liegt infolge des Koppelns eine formschlüssige Verbindung zwischen dem Manipulator und dem Referenzkörper vor. Durch diesen Formschluss kann präzise sichergestellt werden, dass im gekoppelten Zustand eine bestimmte, vordefinierte Orientierung zwischen dem gekoppelten Manipulator und dem Referenzkörper vorliegt, sodass problemlos die Referenzkonfiguration des Manipulators und die Referenzposition der mobilen Plattform erreicht werden können.

Vorzugsweise erfolgt das Koppeln des Manipulators an den Referenzkörper derart, dass eine Koppelvorrichtung des Manipulators in einer vordefinierten Ausrichtung relativ zu dem Referenzkörper ist. Insbesondere kann die Koppelvorrichtung einen Endeffektor des Manipulators umfassen. Dabei kann der Endeffektor die Koppelvorrichtung bilden. Die Koppelvorrichtung bzw. der Endeffektor ist im gekoppelten Zustand vorzugsweise in einer vordefinierten Position und Orientierung bezogen auf den Referenzkörper. Durch Ansteuern des Robotersystems im gekoppelten Zustand kann somit effizient eine vordefinierte Referenzkonfiguration und Referenzposition erreicht werden.

Insbesondere vorzugsweise erfolgt das Koppeln des Manipulators an den Referenzkörper derart, dass eine Kodierung der Koppelvorrichtung des Manipulators mit einer entsprechenden Gegenkodierung des Referenzkörpers koppelt bzw. entsprechend übereinstimmt. Die Kodierung und Gegenkodierung können auf strukturellen Merkmalen basieren, und beispielsweise aufgrund des Schlüssel-Schloss-Prinzips verhindern, dass der Manipulator an eine falsche Stelle koppelt. Somit kann effizient sichergestellt werden, dass mittels des Manipulators an den richtigen Referenzkörper gekoppelt wird, und dass der gekoppelte Manipulator in einer gewünschten Orientierung zu dem Referenzkörper steht. Hierzu können die Kodierung und Gegenkodierung beispielsweise als dreidimensionale Kodier- und Gegenkodierflächen vorliegen, welche nur ineinandergreifen können, wenn eine bestimmte Ausrichtung der Flächen zueinander vorliegt.

Vorzugsweise umfasst das Bereitstellen der Referenzposition der Plattform und der Referenzkonfiguration des Manipulators ein Bewegen der mobilen Plattform an eine Position, in welcher der Manipulator den Referenzkörper erreichen kann, ein Koppeln des Manipulators an den Referenzkörper, und ein Erfassen der

5 Position als die Referenzposition der Plattform und der Konfiguration des Manipulators im gekoppelten Zustand als die Referenzkonfiguration des Manipulators. Diese Schritte werden vorzugsweise während einer Applikationsprogrammierung durchgeführt, und können zumindest teilweise manuell durch einen Programmierer durchgeführt bzw. gesteuert werden.

10 Anschließend können bestimmte Applikationsschritte programmiert werden, wie beispielsweise das Abspeichern eines bestimmten Greifpunktes. Mittels des Verfahrens wird sichergestellt, dass während eines automatischen Ausführens der Applikation genaue Referenzierungsinformationen vorliegen, mittels welcher sich das Robotersystem präzise automatisch referenzieren kann, sodass folgende

15 Applikationsschritte präzise durchgeführt werden können. Es ist somit insbesondere sichergestellt, dass der Manipulator ausgehend von der Referenzkonfiguration die folgenden Applikationsschritte wie während der Applikationsprogrammierung definiert auch im automatischen Modus durchführen kann.

20 Weiterhin umfasst die vorliegende Erfindung ein Robotersystem aufweisend einen Manipulator und eine den Manipulator stützende mobile Plattform. Vorzugsweise ist der Manipulator ein mehrachsiger Gelenkarmroboter. Insbesondere vorzugsweise ist der mehrachsige Gelenkarmroboter als

25 Leichtbauroboter ausgestaltet. Weiterhin weist das Robotersystem eine Steuerung auf, welche eingerichtet ist, ein oben beschriebenes Verfahren zum Steuern des Robotersystems durchzuführen. Der Fachmann versteht, dass das Robotersystem entsprechende Mittel zum Durchführen eines solchen Verfahrens umfassen kann, wie beispielsweise eine Koppelvorrichtung. Vorzugsweise umfasst das Robotersystem dabei Sensoren zum Erfassen von auf das

30 Robotersystem und insbesondere auf den Manipulator wirkende Kräfte und Momente. Hierzu können 6-Achsen-Kraft-Momentensensoren eingesetzt werden, welche basierend auf Dehnungsmessbrücken oder Dehnungsmessstreifen Kraft-

und Drehmomentkomponenten, die auf den Manipulator wirken, erfassen können.

4. Ausführungsbeispiele

Im Folgenden wird die vorliegende Erfindung unter Bezugnahme auf die
5 beiliegenden Figuren näher beschrieben. Dabei zeigen:

Figen. 1-5 ein Robotersystem gemäß einer Ausführungsform in unterschiedlichen Konstellationen.

In der Figur 1 ist ein Robotersystem dargestellt, umfassend einen Manipulator 4
und eine mobile Plattform 3, welche den Manipulator 4 stützt. Die mobile
10 Plattform kann in x- und y-Richtung bewegt werden, und somit den
Manipulator 4 bewegen. Die mobile Plattform 3 kann eine omnidirektional
bewegliche Plattform sein, die als passive Plattform durch einen Werker
geschoben werden kann. Vorzugsweise sind die Achsen der Plattform aktiv
angetrieben, so dass sich die Plattform programmgesteuert automatisch und
15 autonom bewegen kann. Hierzu kann die mobile Plattform Navigationsmittel, wie
beispielsweise Laser umfassen. Eine aktiv angetriebene Plattform kann auch
passiv bei gelüfteten Bremsen durch einen Werker geschoben werden.

Der Manipulator 4 ist als mehrachsiger Gelenkarmroboter ausgebildet, an dessen
Handflansch ein Greifer 5 und eine Koppelvorrichtung 6 in Form einer Schlaufe
20 bereitgestellt sind. Ferner ist in der Figur 1 eine Arbeitsstation 1 dargestellt. An
dieser befindet sich eine Kontaktvorrichtung 2, an welche die Koppelvorrichtung
6 des Manipulators 4 gekoppelt ist. Die Kontaktvorrichtung 2 stellt dabei den
Referenzkörper im Sinne der Erfindung dar.

Im Folgenden wird der beispielhafte Ablauf einer Applikationsprogrammierung
25 unter Bezugnahme auf die Figuren 1 und 2 beschrieben. Dazu wird zunächst die
mobile Plattform an eine Position 7a bewegt, in welcher der Manipulator 4 mit
seiner Koppelvorrichtung 6 die Kontaktvorrichtung 2 erreichen kann. Im Falle
einer passiven Ausgestaltung der Plattform 3 kann diese manuell an die
Arbeitsstation 1 geschoben werden. Im Falle einer aktiv angetriebenen Plattform

3 kann diese in manueller Bedienart, etwa mittels einer Fernsteuerung, vor die Arbeitsstation 1 bewegt werden.

Anschließend wird der Manipulator 4 an die Kontaktvorrichtung 2 wie in Fig. 1 dargestellt gekoppelt. Hierzu wird der Manipulator manuell an die Arbeitsstation
5 1 angenähert, und anschließend mittels der Koppelvorrichtung 6 an die Kontaktvorrichtung 2 angeschlossen. Es liegt eine formschlüssige Verbindung 8 zwischen der Kontaktvorrichtung 2 und der Koppelvorrichtung 6 des Manipulators 4 vor.

Anschließend wird die Position 7a der mobilen Plattform 3, umfassend die
10 translatorischen Komponenten x_a , y_a sowie die rotatorische Komponente θ_a , als die Referenzposition der mobilen Plattform 3 gespeichert. Ebenso wird die Achskonfiguration α_1 , β_1 , γ_1 , ϵ_1 des Manipulators 4 im gekoppelten Zustand als die Referenzkonfiguration des Manipulators gespeichert.

Wie in der Figur 2 dargestellt kann anschließend eine Applikation programmiert
15 werden. Hierzu wird zunächst die Kopplung zwischen dem Manipulator 4 und der Kontaktvorrichtung 2 gelöst. Die mobile Plattform 3 wurde hierzu in der dargestellten Ausführungsform nicht bewegt und befindet sich immer noch – mit aktivierten Bremsen - an der Position 7a. Die Konfiguration des Manipulators 4 wurde entsprechend der zu programmierenden Applikation verändert, und u.a.
20 ein Greifpunkt 9 an der Arbeitsstation 1 gespeichert. Hierzu können die entsprechenden Achskoordinaten α_2 , β_2 , γ_2 , ϵ_2 des Manipulators zu dem Greifpunkt 9 gespeichert werden.

Im Folgenden wird das automatische Ausführen der programmierten Applikation unter Bezugnahme auf die Figuren 3-5 beschrieben. Hierzu wird zunächst die
25 mobile Plattform 3, die sich zuvor beispielsweise an einer anderen Werkstelle befand, an die Referenzposition 7a der Plattform angenähert. Dies kann z.B. automatisch mittels autonomer Navigation oder durch manuelles Schieben erfolgen. Aufgrund von Positionierungsfehlern wird jedoch typischerweise nur eine abweichende Zwischenposition 7b mit den Koordinaten x_b , y_b , θ_b erreicht.
30 Wenn die programmierte Applikation ohne Referenzierung nun durchgeführt

werden würde, wäre nicht sichergestellt, dass die anzufahrenden Bahnpunkte, die hinsichtlich der Arbeitsstation 1 definiert sind, präzise oder aufgrund von Achsgrenzen überhaupt mit dem Manipulator erreicht werden. Beispielsweise kann eine Position nicht ausreichend genau angefahren werden, oder aufgrund von Achsgrenzen nicht erreicht werden. Ferner kann eine lineare Bewegung aufgrund der veränderten Ausgangskonfiguration und der daraus resultierenden Singularitäten nicht ausführbar sein. Ferner könnte sich hierbei eine Singularität der Achsstellung einstellen, sodass unter Umständen eine Greifposition nicht erreicht werden kann.

10 Wie in Figur 4 dargestellt wird daher zunächst mittels einer automatischen Suchfahrt des Manipulators die Koppelvorrichtung 6 des Manipulators 4 an die Kontaktvorrichtung 2 der Arbeitsstation 1 gekoppelt. Hierzu kann der Manipulator 4 mittels Nachgiebigkeitsregelung betrieben werden, sodass die formschlüssige Verbindung 8 zwischen Koppelvorrichtung 6 und
15 Kontaktvorrichtung 2 problemlos erreicht werden kann. In diesem gekoppelten Zustand liegt eine Konfiguration des Manipulators mit z.B. den Achskoordinaten α_3 , β_3 , γ_3 , ϵ_3 vor.

Anschließend wird der Positionierungsfehler der mobilen Plattform 3 korrigiert. Wenn die mobile Plattform 3 eine passiv angetriebene Plattform ist, kann der Manipulator 4 direkt in die Referenzachskonfiguration α_1 , β_1 , γ_1 , ϵ_1 gesteuert werden. Hierdurch wird die mobile Plattform 3, die fest mit dem Manipulator 4 verbunden ist, in die zugehörige Referenzposition x_a , y_a , θ_a geführt bzw. gezogen, wie in Figur 5 dargestellt. Anschließend kann die Kopplung gelöst werden und der folgende Applikationsschritt ausgeführt werden. Die Basis des Manipulators ist nun an derselben Stelle wie bei der Applikationsprogrammierung, sodass die programmierte Bewegung des Manipulators wie gewünscht durchgeführt werden kann.

Wenn die Plattform 3 eine aktiv angetriebene Plattform ist, kann über eine inverse Kinematik, die alle Freiheitsgrade des Gesamtsystems umfasst, mittels einer Nullraumbewegung sowohl die Referenzkonfiguration α_1 , β_1 , γ_1 , ϵ_1 des Manipulators als auch die Referenzposition x_a , y_a , θ_a der Plattform angesteuert

werden. Anschließend kann die Kopplung gelöst werden und der folgende Applikationsschritt ausgeführt werden, ohne dass ein eventuelles Umpositionieren der Plattform erforderlich ist, um das zuvor programmierte Applikationsprogramm auszuführen.

5 Bezugszeichenliste:

	1	Arbeitsstation
	2	Kontaktvorrichtung, Referenzkörper
	3	mobile Plattform
	4	Manipulator
10	5	Endeffektor
	6	Koppelvorrichtung
	7a, 7b	Position der mobilen Plattform
	8	Verbindung
	9	Greifpunkt

Ansprüche

1. Verfahren zum Steuern eines Robotersystems, wobei das Robotersystem einen Manipulator (4) und eine den Manipulator (4) stützende mobile Plattform (3) umfasst, das Verfahren aufweisend die folgenden Schritte:
5
Bereitstellen eines Referenzkörpers (2);
Bereitstellen einer Referenzposition (7a) der Plattform (3) und einer Referenzkonfiguration des Manipulators (4);
Annähern der Plattform (3) an die Referenzposition (7a) der Plattform (3);
10
Koppeln des Manipulators (4) an den Referenzkörper (2); und
Ansteuern des Robotersystems im gekoppelten Zustand, sodass die Referenzkonfiguration des Manipulators (4) eingenommen wird.
- 15 2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Ansteuern des Robotersystems im gekoppelten Zustand ferner derart erfolgt, dass die Referenzposition (7a) der mobilen Plattform (3) eingenommen wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei im gekoppelten Zustand eine
20 mechanische und/oder magnetische Verbindung (8) zwischen dem Manipulator (4) und dem Referenzkörper (2) vorliegt.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei infolge des Annäherns der Plattform (3) an die Referenzposition (7a) der Plattform (3) eine
25 Zwischenposition (7b) der Plattform (3) erreicht wird, die verschieden von der Referenzposition (7a) der Plattform (3) ist.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, ferner aufweisend ein
30 Erfassen von auf das Robotersystem wirkende Kräfte und Momente, und wobei das Robotersystem und vorzugsweise der Manipulator (4) mittels einer Kraftregelung, insbesondere Nachgiebigkeitsregelung, unter Verwendung der erfassten Kräfte und Momente betrieben wird, während des Annäherns der Plattform (3) und/oder während des Koppelns des Manipulators (4).

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei das Koppeln des Manipulators (4) an den Referenzkörper (2) ein kraftschlüssiges Koppeln umfasst, und wobei infolge des Koppelns vorzugsweise eine kraftschlüssige Verbindung (8) zwischen dem Manipulator (4) und dem Referenzkörper (2) vorliegt.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei das Koppeln des Manipulators (4) an den Referenzkörper (2) ein formschlüssiges Koppeln umfasst, und wobei infolge des Koppelns vorzugsweise eine formschlüssige Verbindung (8) zwischen dem Manipulator (4) und dem Referenzkörper (2) vorliegt.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei das Koppeln des Manipulators (4) an den Referenzkörper (2) derart erfolgt, dass eine Koppelvorrichtung (5, 6) des Manipulators (4) und vorzugsweise ein Endeffektor (5) des Manipulators (4) in einer vordefinierten Ausrichtung relativ zu dem Referenzkörper (2) ist.
9. Verfahren nach Anspruch 8, wobei das Koppeln des Manipulators (4) an den Referenzkörper (2) derart erfolgt, dass eine Kodierung der Koppelvorrichtung (5, 6) des Manipulators (4) mit einer entsprechenden Gegenkodierung des Referenzkörpers (2) koppelt.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei das Bereitstellen der Referenzposition (7a) der Plattform (3) und der Referenzkonfiguration des Manipulators (4) folgende Schritte umfasst:
- Bewegen der mobilen Plattform (3) an eine Position, in der der Manipulator (4) den Referenzkörper (2) erreichen kann;
 - Koppeln des Manipulators (4) an den Referenzkörper (2); und
 - Erfassen der Position als die Referenzposition (7a) der Plattform (3) und der Konfiguration des Manipulators (4) im gekoppelten Zustand als die Referenzkonfiguration des Manipulators (4).

11. Robotersystem aufweisend einen Manipulator (4), eine den Manipulator (4) stützende mobile Plattform (3), und ferner eine Steuerung, die eingerichtet ist, ein Verfahren nach einem der Schritte 1 bis 10 zum Steuern des Robotersystems durchzuführen.
- 5
12. Robotersystem nach Anspruch 11, ferner aufweisend Sensoren zum Erfassen von auf das Robotersystem und insbesondere von auf den Manipulator (4) wirkenden Kräften und Momenten.
- 10
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10 oder Robotersystem nach Anspruch 11 oder 12, wobei der Manipulator (4) ein mehrachsiger Gelenkarmroboter ist.

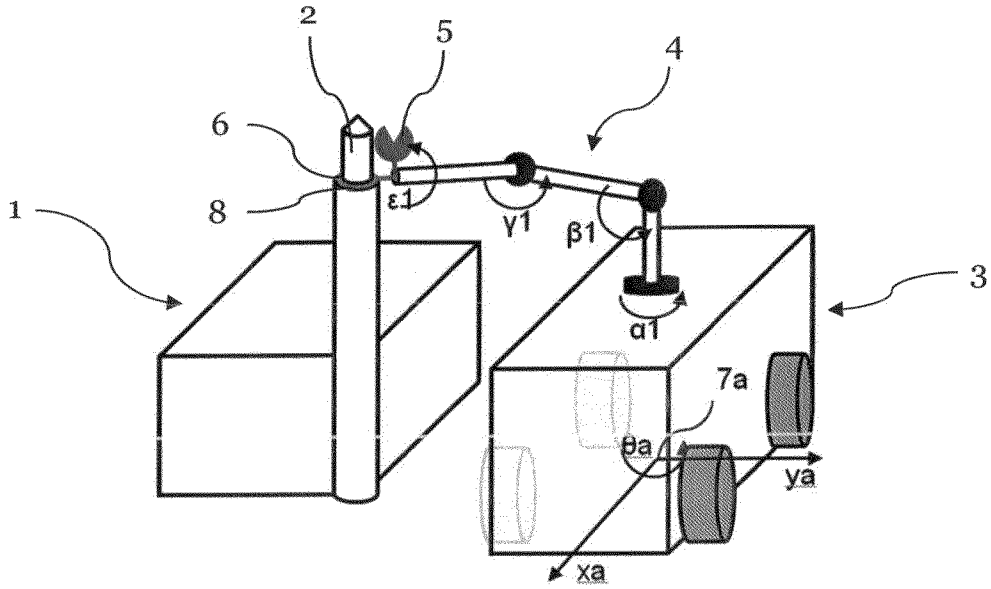


Fig. 1

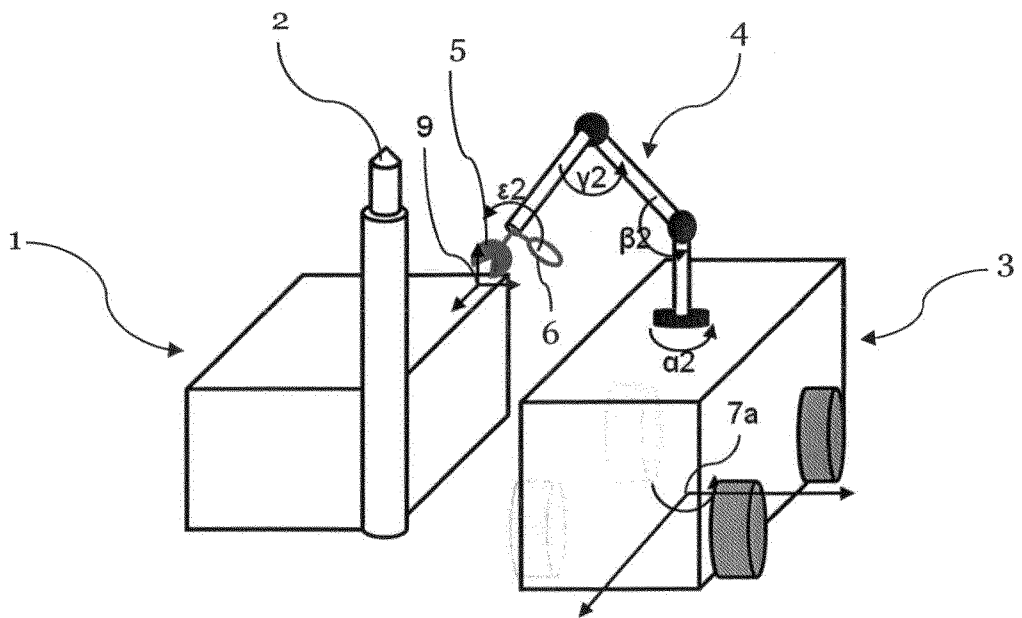


Fig. 2

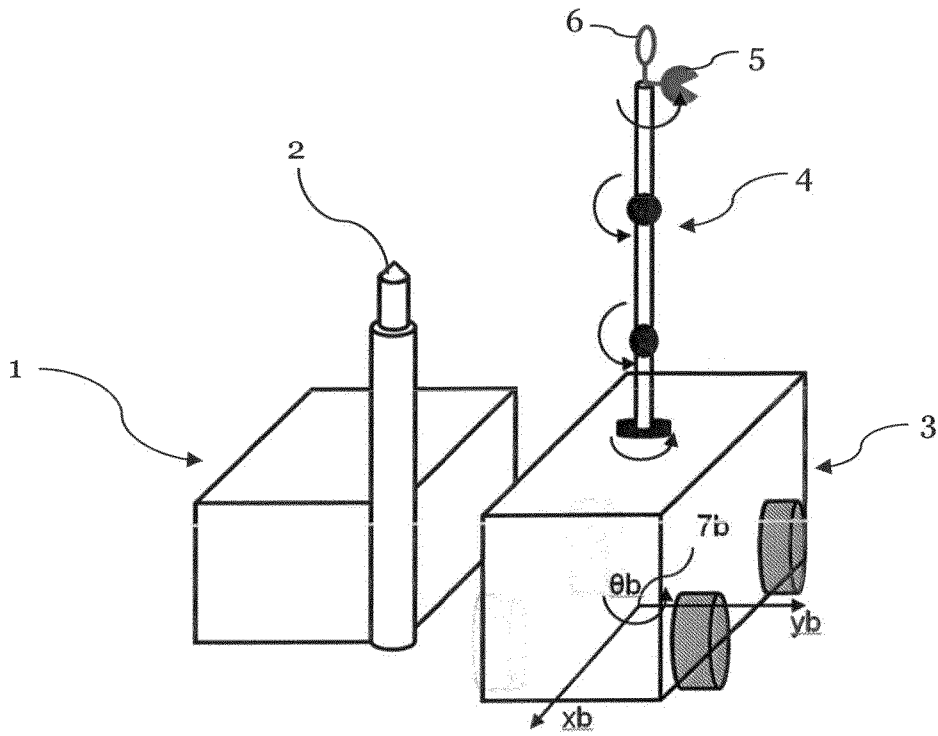


Fig. 3

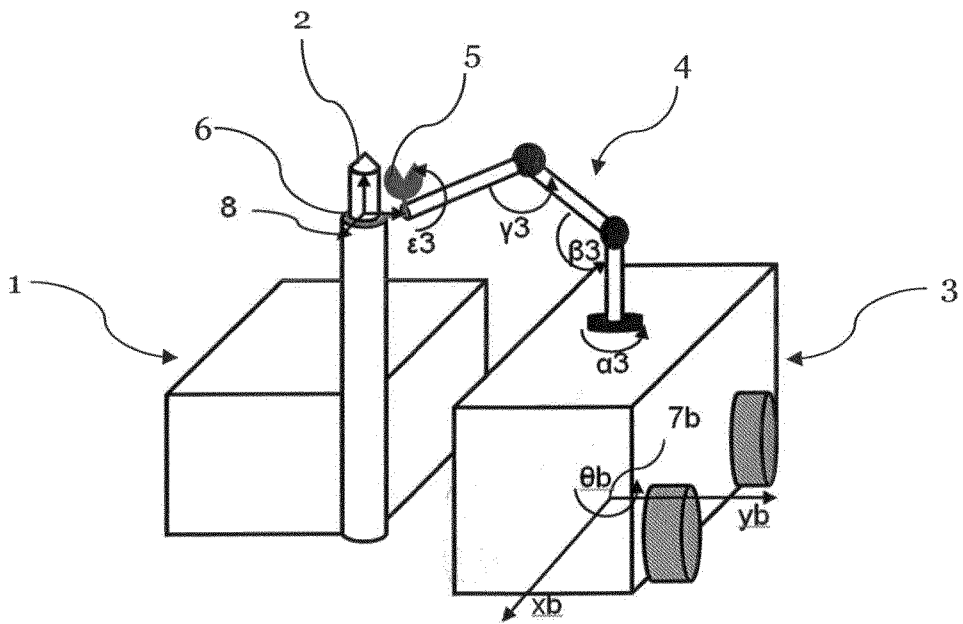


Fig. 4

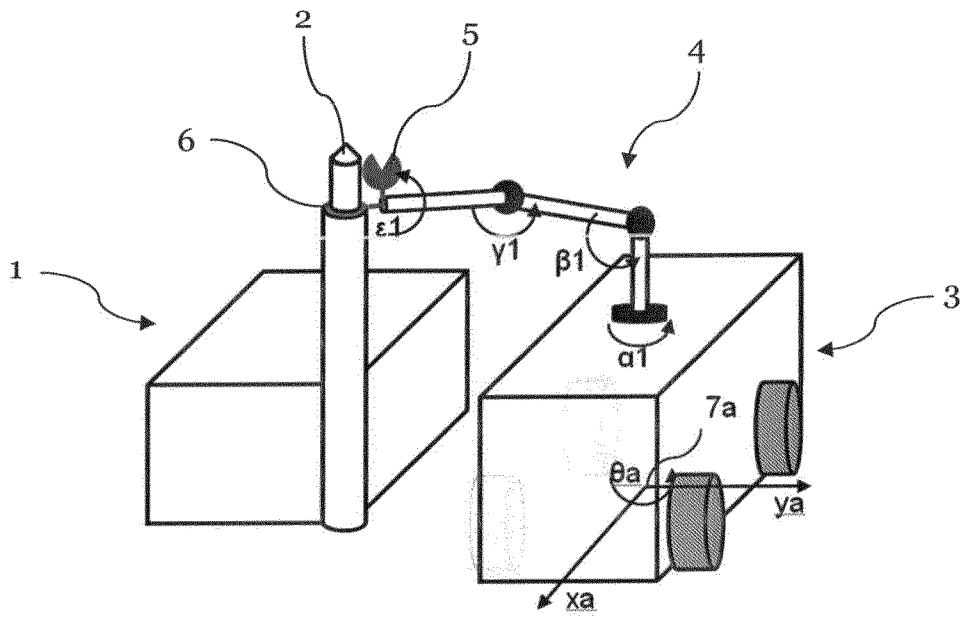


Fig. 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2016/001666

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. B25J9/16
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
B25J G05B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2015/045953 A1 (NAGAI RYOICHI [JP] ET AL) 12 February 2015 (2015-02-12) paragraph [0003]; figures 1,11,12,14 paragraph [0027] - paragraph [0066] -----	1-13
X	US 2014/277722 A1 (IZUMI T; KAWANO D; KONO M; KOUNO D; MIZU T; NAGAI R; NAKAMURA T) 18 September 2014 (2014-09-18) paragraph [0003]; figures 1,4-6 paragraph [0022] - paragraph [0023] paragraph [0036] - paragraph [0043] -----	1,11
X	US 2013/006421 A1 (BROGARDH TORGNY [SE]) 3 January 2013 (2013-01-03) figures 1,10 paragraph [0016] - paragraph [0033] paragraph [0057] paragraph [0063] - paragraph [0068] paragraph [0074] - paragraph [0076] -----	1,11

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search 7 December 2016	Date of mailing of the international search report 14/12/2016
--	--

Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer Marinica, Raluca
--	--

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2016/001666

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2015045953	A1	12-02-2015	CN 104339352 A 11-02-2015
			EP 2837472 A2 18-02-2015
			JP 2015033747 A 19-02-2015
			US 2015045953 A1 12-02-2015

US 2014277722	A1	18-09-2014	CN 104044131 A 17-09-2014
			EP 2783806 A2 01-10-2014
			JP 2014176943 A 25-09-2014
			US 2014277722 A1 18-09-2014

US 2013006421	A1	03-01-2013	CN 102802883 A 28-11-2012
			EP 2547490 A1 23-01-2013
			US 2013006421 A1 03-01-2013
			WO 2011113490 A1 22-09-2011

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. B25J9/16
 ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 B25J G05B

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2015/045953 A1 (NAGAI RYOICHI [JP] ET AL) 12. Februar 2015 (2015-02-12) Absatz [0003]; Abbildungen 1,11,12,14 Absatz [0027] - Absatz [0066] -----	1-13
X	US 2014/277722 A1 (IZUMI T; KAWANO D; KONO M; KOUNO D; MIZU T; NAGAI R; NAKAMURA T) 18. September 2014 (2014-09-18) Absatz [0003]; Abbildungen 1,4-6 Absatz [0022] - Absatz [0023] Absatz [0036] - Absatz [0043] -----	1,11
X	US 2013/006421 A1 (BROGARDH TORGNY [SE]) 3. Januar 2013 (2013-01-03) Abbildungen 1,10 Absatz [0016] - Absatz [0033] Absatz [0057] Absatz [0063] - Absatz [0068] Absatz [0074] - Absatz [0076] -----	1,11



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

7. Dezember 2016

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

14/12/2016

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
 Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Marinica, Raluca

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2016/001666

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2015045953 A1	12-02-2015	CN 104339352 A	11-02-2015
		EP 2837472 A2	18-02-2015
		JP 2015033747 A	19-02-2015
		US 2015045953 A1	12-02-2015

US 2014277722 A1	18-09-2014	CN 104044131 A	17-09-2014
		EP 2783806 A2	01-10-2014
		JP 2014176943 A	25-09-2014
		US 2014277722 A1	18-09-2014

US 2013006421 A1	03-01-2013	CN 102802883 A	28-11-2012
		EP 2547490 A1	23-01-2013
		US 2013006421 A1	03-01-2013
		WO 2011113490 A1	22-09-2011
