(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
01. November 2018 (01.11.2018)

WIPO | PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2018/197459 A1

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

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2018/060427

(22) Internationales Anmeldedatum:
24. April 2018 (24.04.2018)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2017 003 993.3
25. April 2017 (25.04.2017) DE

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

(72) Erfinder: **RADRICH, Helmuth**; 2600 Esperanza Xing, Apt. 5203, Austin, TX 78758 (US).

(74) Anwalt: **TILLMANN, Axel**; Zugspitzstr. 140, 86165 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, JO, JP, KE, KG, KH, 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)*

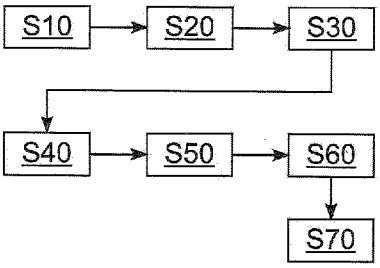
Veröffentlicht:
— *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)*
— *vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eingehen (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe h)*

WO 2018/197459 A1

(54) **Title:** CALIBRATION OF A ROBOT

(54) **Bezeichnung:** KALIBRIERUNG EINES ROBOTERS

Fig. 3



(57) Abstract: The invention relates to a method for calibrating a robot (10) comprising the following steps: reaching (S40) at least one measuring point (31) using a reference (11) fixed to a robot, and detecting (S50) a measuring point (q-i-q5) of the robot in which said measuring point is reached using the reference, the robot exerting, when detecting the measuring point using the reference (11), a predetermined reference load (F) on the measuring point (31) and the measuring point and/or the reference are flexible, and/or the robot moves the reference (11) in order to reach the measuring point (31) based on a predefined search pattern (40), the reference (11) can be moved forward and/or back manually on the measuring point (31).

(57) Zusammenfassung: Ein erfindungsgemäßes Verfahren zum Kalibrieren eines Roboters (10) umfasst die Schritte: Anfahren (S40) wenigstens eines Messpunktes (31) mit einer roboterfesten Referenz (11) und Erfassen (S50) einer Messpose (q-i-q5) des Roboters, in der dieser Messpunkt mit der Referenz angefahren ist, wobei der Roboter beim Erfassen der Messpose mit der Referenz (11) eine vorgegebene Referenzlast (F) auf den Messpunkt (31) ausübt und der Messpunkt und/oder die Referenz nachgiebig ist, und/oder wobei der Roboter die Referenz (11) zum Anfahren des Messpunktes (31) auf Basis eines vorgegebenen Suchmusters (40) bewegt und dabei und/oder vorab die Referenz (11) handgeführt auf den Messpunkt (31) zu bewegbar ist.

Beschreibung

Kalibrierung eines Roboters

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und ein System zum Kalibrieren eines Roboters sowie eine Roboteranordnung mit einem Roboter und dem System und ein Computerprogrammprodukt zur Durchführung des Verfahrens.

Nach betriebsinterner Praxis werden zum Kalibrieren eines Roboters mit einem robotergeführten Taster mehrere Messpunkte angefahren und jeweils eine (Ausgangs)Pose des Roboters erfasst. Auf Basis dieser Ausgangsposen und bekannter Positionen der Messpunkte kann der Roboter kalibriert werden.

Werden später dieselben Messpunkte erneut angefahren und dort jeweils eine (Mess)Pose des Roboters erfasst, kann der Roboter auf Basis einer Abweichung zwischen Mess- und Ausgangsposen (re)kalibriert werden.

Insbesondere zum Auffinden der Messpunkte mit dem Taster kann dieser nach betriebsinterner Praxis auf Basis eines vorgegebenen Suchmusters, beispielsweise einer Lissajous-Figur, bewegt werden, bis er in eine Vertiefung gleitet, die den jeweiligen Messpunkt definiert.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine Kalibrierung eines Roboters zu verbessern.

Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Ansprüche 11- 13 stellen ein System bzw. Computerprogrammprodukt zur Durchführung eines hier beschriebenen Verfahrens bzw. eine Roboteranordnung mit einem hier beschriebenen System unter Schutz. Die Unteransprüche betreffen vorteilhafte Weiterbildungen.

Nach einer Ausführung der vorliegenden Erfindung umfasst ein Verfahren zum Kalibrieren eines Roboters die Schritte:

(A) Anfahren wenigstens eines Messpunktes mit einer roboterfesten Referenz, insbesondere einem robotergeführten, insbesondere distalen bzw. an einem

Werkzeugflansch, insbesondere lösbar, angeordneten, Werkzeug und/oder Taster, insbesondere sequentielles bzw. aufeinanderfolgendes Anfahren mehrerer i(n eine)m (Arbeits)Raum (des Roboters) verteilter Messpunkte mit der Referenz; und

(B) (jeweils) Erfassen einer Pose des Roboters, in der der (jeweilige) Messpunkt mit der Referenz angefahren ist und die vorliegend als Messpose bezeichnet wird.

Der Roboter kann in einer Ausführung ein(en) Roboterarm mit wenigstens drei, insbesondere wenigstens sechs, insbesondere wenigstens sieben, (Bewegungs)Achsen bzw. Gelenke mit Gelenkantrieben, insbesondere Elektromotoren, aufweisen, insbesondere sein, insbesondere ein Industrieroboter.

Nach einer Ausführung der vorliegenden Erfindung übt der Roboter beim, insbesondere während des, insbesondere gesamten, Erfassen(s), insbesondere messtechnischen Erfassen(s) bzw. Messen(s), der (jeweiligen) Messpose mit der Referenz (jeweils) eine vorgegebene Referenzlast auf den (jeweiligen) Messpunkt aus, in einer Ausführung jeweils eine für den jeweiligen Messpunkt und/oder die Referenz individuell vorgegebene bzw. messpunkt- und/oder referenzspezifisch(vorgegeben)e Referenzlast oder für mehrere, insbesondere alle Messpunkte die gleiche Referenzlast.

Hierdurch können in einer Ausführung vorteilhaft auch nachgiebige, insbesondere elastische und/oder elastisch gelagerte Messpunkte und/oder nachgiebige, insbesondere elastische und/oder elastisch gelagerte, Referenzen, insbesondere Werkzeuge und/oder Taster, zur Kalibrierung eines Roboters verwendet bzw. dieser auch auf Basis nachgiebiger, insbesondere elastisch(gelagert)er, Messpunkte und/oder mithilfe nachgiebiger, insbesondere elastisch(gelagert)er, roboterfester Referenzen, insbesondere Werkzeuge und/oder Taster, präzise(r) kalibriert werden, da durch die vorgegebene Referenzlast definierte(re) Messbedingungen bzw. elastische Verformungen solcher nachgiebiger Messpunkte bzw. von Strukturen, an denen solche Messpunkte angeordnet sind, und/oder solcher nachgiebiger Referenzen bzw. von roboterseitigen Abstützungen solcher Referenzen realisiert, insbesondere reproduziert, werden können.

Entsprechend ist/sind in einer Ausführung der bzw. einer oder mehrere der Messpunkt(e) nachgiebig, insbesondere elastisch und/oder elastisch gelagert.

Zusätzlich oder alternativ ist in einer Ausführung die Referenz, insbesondere ein robotergeführtes Werkzeug und/oder ein robotergeführter Taster, nachgiebig, insbesondere mechanisch nachgiebig, insbesondere elastisch und/oder elastisch (an dem Roboter) gelagert, wie dies beispielsweise bei robotergeführten Schleifwerkzeugen zum mechanischen Ausgleichen von Unebenheiten in der zu schleifenden Oberfläche an sich bekannt ist.

Durch messpunkt- und/oder referenzspezifisch (vorgegeben)e Referenzlasten können dabei in einer Ausführung vorteilhaft unterschiedlichen Nachgiebigkeiten bzw. Elastizitäten von Messpunkten bzw. Strukturen, an, insbesondere auf und/oder in, denen diese angeordnet sind, und/oder von Referenzen bzw. Abstützungen solcher Referenzen Rechnung getragen werden. So können beispielsweise nachgiebigere bzw. elastischer(gelagert)e Messpunkte bzw. Strukturen und/oder Referenzen bzw. Abstützungen mit geringeren Kräften und/oder zum Abklingen von Schwingungen länger belastet werden. Durch für mehrere, insbesondere alle, Messpunkte gleiche bzw. globale Referenzlasten kann das Verfahren in einer Ausführung vereinfacht werden.

Zusätzlich oder alternativ zu diesem Aspekt nachgiebiger Messpunkte und/oder Referenzen bzw. der vorgegebenen Referenzlast bewegt der Roboter nach einer Ausführung bzw. einem, gegebenenfalls weiteren, Aspekt der vorliegenden Erfindung die, insbesondere nachgiebige oder auch starre, Referenz zum Anfahren des (jeweiligen), insbesondere nachgiebigen oder auch starren, Messpunktes auf Basis eines vorgegebenen Suchmusters, wobei bei bzw. während und/oder vor diesem Bewegen der Referenz durch den Roboter auf Basis des vorgegebenen Suchmusters die Referenz, insbesondere durch eine entsprechende, insbesondere regelungstechnische bzw. -basierte, Bewegung des Roboters, handgeführt (in Richtung) auf den Messpunkt zu bewegbar ist bzw., insbesondere wenigstens bedarfsweise, bewegt wird. Hierzu ist bzw. wird der Roboter in einer Ausführung wenigstens (in Richtung) auf den Messpunkt zu nachgiebig geregelt. In einer Ausführung weicht die Referenz einer manuell auf sie ausgeübten externen Kraft, insbesondere durch entsprechende Bewegung des Roboters, in Richtung dieser Kraft oder in Richtung einer, insbesondere kartesischen, Komponente dieser Kraft (regelungstechnisch bzw. -basiert) aus, so dass die Referenz durch diese

Handführkraft (in Richtung) auf den Messpunkt zu bewegbar ist bzw., insbesondere wenigstens bedarfsweise, bewegt wird.

Durch eine solche vorgeschaltete und/oder überlagerte manuelle Handführung der Referenz kann in einer Ausführung der Bereich, in dem Messpunkte mittels des Suchmusters automatisch aufgefunden bzw. angefahren werden, vergrößert werden.

Durch eine überlagerte manuelle Handführung kann in einer Ausführung ein Umschalten zwischen manueller Handführung und Bewegen der Referenz bzw. Suchen des (jeweiligen) Messpunktes auf Basis des vorgegebenen Suchmusters entfallen und/oder ein Anfahren von Messpunkten beschleunigt werden.

In einer Ausführung wird zwischen dem Anfahren bzw. Erreichen des Messpunktes und dem Erfassen der Messpose (jeweils) wenigstens eine, insbesondere messpunktspezifisch oder für mehrere, insbesondere alle Messpunkte gleich bzw. global, vorgegebene Abklingzeit abgewartet bzw. ist eine solche vorgesehen.

Hierdurch können in einer Ausführung Schwingungen aufgrund des Anfahrens nachgiebiger, insbesondere elastischer bzw. elastisch gelagerter, Messpunkte und/oder mit nachgiebigen, insbesondere elastischen bzw. elastisch gelagerten, Referenzen wenigstens teilweise, vorzugsweise vollständig, abklingen und so der Roboter auch auf Basis elastischer bzw. elastisch gelagerter Messpunkte und/oder mithilfe elastischer bzw. elastisch gelagerter Referenzen präzise(r) kalibriert werden.

In einer Ausführung wird die vorgegebene Referenzlast auch schon bzw. bereits beim Anfahren oder erst während der anschließenden Abklingzeit oder erst nach deren Ablauf ausgeübt, insbesondere aufgebaut.

In einer Ausführung kann die Referenzlast einen vorgegebenen Betrag und/oder eine vorgegebene Richtung einer mit der Referenz auf den (jeweiligen) Messpunkt ausgeübten Kraft umfassen, insbesondere ein(e) solche(r) sein.

Durch einen vorgegebenen Betrag und/oder eine vorgegebene Richtung können in einer Ausführung definierte(re) Messbedingungen bzw. elastische Verformungen realisiert, insbesondere reproduziert, werden.

In einer Ausführung hängt die vorgegebene Referenzlast, insbesondere deren Betrag und/oder Richtung, und/oder die vorgegebene Abklingzeit von einem variablen ein- oder mehrdimensionalen Eingabeparameter ab bzw. ist durch diesen bzw. dessen Eingabe vorgebbar bzw. veränderbar bzw. einstellbar.

Hierdurch kann die Referenzlast bzw. Abklingzeit in einer Ausführung vorteilhaft an unterschiedliche Bedingungen, insbesondere unterschiedliche Nachgiebigkeiten bzw. Elastizitäten von Messpunkten bzw. Strukturen, an denen diese angeordnet sind, und/oder von Referenzen bzw. deren Abstützungen angepasst werden. So können beispielsweise nachgiebigere bzw. elastischer(gelagert)e Messpunkte bzw. Strukturen mit geringeren Referenzlasten beaufschlagt und/oder bei solchen zum Abklingen von Schwingungen länger abgewartet werden. Gleichermaßen können beispielsweise bei nachgiebigeren bzw. elastischer(gelagert)en Referenzen bzw. Abstützungen am Robote geringere Referenzlasten verwendet und/oder bei solchen zum Abklingen von Schwingungen länger abgewartet werden.

In einer Ausführung verformt sich eine Struktur, an, insbesondere auf und/oder in, der der (jeweilige) Messpunkt angeordnet ist, unter bzw. infolge der Referenzlast elastisch und/oder nicht plastisch bzw. wird bzw. ist die Referenzlast derart vorgegeben. In einer Ausführung verformt sich die Struktur (unter bzw. infolge der vorgegebenen Referenzlast) um wenigstens 1%, insbesondere wenigstens 10%, insbesondere wenigstens 20%, und/oder höchstens 99%, insbesondere höchstens 90%, insbesondere höchstens 80%, ihrer maximal(möglich)en elastischen Verformung bzw. wird bzw. ist die Referenzlast derart vorgegeben, wobei unter einer maximal(möglich)en elastischen Verformung insbesondere eine Verformung der Struktur bei gleichgerichteter Belastung (unmittelbar) unterhalb bzw. vor Beginn einer plastischen bzw. bleibenden Verformung verstanden wird. Entsprechen beträgt in einer Ausführung die vorgegebene Referenzlast wenigstens 1%, insbesondere wenigstens 10%, insbesondere wenigstens 20%, und/oder höchstens 99%, insbesondere höchstens 90%, insbesondere höchstens 80%, einer, insbesondere oberen, Streckgrenze R_e bzw. σ_y.

Zusätzlich oder alternativ verformt sich in einer Ausführung die Referenz und/oder eine roboterseitige Abstützung, insbesondere Lagerung, an der die Referenz angeordnet ist, unter bzw. infolge der Referenzlast elastisch und/oder nicht plastisch

bzw. wird bzw. ist die Referenzlast derart vorgegeben. In einer Ausführung verformt sich die Referenz bzw. Abstützung (unter bzw. infolge der vorgegebenen Referenzlast) um wenigstens 1%, insbesondere wenigstens 10%, insbesondere wenigstens 20%, und/oder höchstens 99%, insbesondere höchstens 90%, insbesondere höchstens 80%, ihrer maximal(möglich)en elastischen Verformung bzw. wird bzw. ist die Referenzlast derart vorgegeben, wobei unter einer maximal(möglich)en elastischen Verformung insbesondere eine Verformung der Referenz bzw. Abstützung bei gleichgerichteter Belastung (unmittelbar) unterhalb bzw. vor Beginn einer plastischen bzw. bleibenden Verformung verstanden wird. Entsprechen beträgt in einer Ausführung die vorgegebene Referenzlast wenigstens 1%, insbesondere wenigstens 10%, insbesondere wenigstens 20%, und/oder höchstens 99%, insbesondere höchstens 90%, insbesondere höchstens 80%, einer, insbesondere oberen, Streckgrenze R_e bzw. σ_y.

Hierdurch kann in einer Ausführung ein Roboter auf Basis nachgiebiger bzw. elastischer bzw. elastisch gelagerter Messpunkte und/oder mithilfe elastischer bzw. elastisch gelagerter Referenzen präzise(r) kalibriert werden, da durch solche Referenzlasten definierte(re) Messbedingungen bzw. elastische Verformungen solcher Messpunkte bzw. von Strukturen, an denen solche Messpunkte angeordnet sind, bzw. solcher Referenzen bzw. deren Abstützungen realisiert, insbesondere reproduziert, werden können.

Die vorgegebene Abklingzeit beträgt in einer Ausführung wenigstens 0,1 Sekunden [s], insbesondere wenigstens 1 s, und/oder höchstens 60 s. Hierdurch können in einer Ausführung Schwingungen geeigneter elastischer Strukturen ausreichend abklingen.

Wie einleitend erläutert, kann der Roboter in einer Ausführung auf Basis erfasster Messposen und bekannter Messpunkt-Positionen kalibriert, insbesondere ein roboterfestes, insbesondere ein roboterbasis- und/oder ein roboterflanschfestes, Referenzkoordinatensystem bezüglich der Umgebung eingemessen, werden, insbesondere indem Parameter einer Vorwärts- und/oder einer Rückwärtstransformation zwischen diesem roboterfesten Referenz- und einem durch die Messpunkt-Positionen festgelegten umgebungsfesten Koordinatensystem so vorgegeben bzw. kalibriert werden, dass die Transformation Messposen und Positionen von Messpunkten, insbesondere im Mittel, möglichst exakt aufeinander

abbildet bzw. die durch die Transformation mit Messposen verknüpften Positionen der Referenz und entsprechende Positionen von Messpunkten, insbesondere im Mittel, möglichst exakt übereinstimmen.

Zusätzlich oder alternativ kann der Roboter in einer Ausführung auf Basis erfasster Messposen und (bereits) zuvor beim Anfahren derselben Messpunkte erfasster Ausgangsposen der Roboter auf Basis einer Abweichung zwischen Mess- und Ausgangsposen (re)kalibriert werden, insbesondere indem in an sich bekannter Weise Parameter einer Vorwärts- und/oder einer Rückwärtstransformation zwischen einem roboterfesten, insbesondere roboterbasis- und/oder ein roboterflanschfesten, Referenz- und einem durch die Messpunkt-Positionen festgelegten umgebungsfesten Koordinatensystem so vorgegeben bzw. modifiziert bzw. (re)kalibriert werden, dass eine Abweichung zwischen Positionen der Referenz, die eine (zu rekalibrierende Ausgangs)Transformation mit Ausgangsposen verknüpft, und Positionen der Referenz, die diese Transformation, nachdem sie rekalibriert wurde bzw. ist, mit entsprechenden Messposen verknüpft, insbesondere im Mittel, reduziert, insbesondere minimal ist bzw. wird.

Insbesondere eine solche Rekalibrierung kann in einer Ausführung vorteilhaft auch mittels nachgiebiger Messpunkte und/oder Referenzen durchgeführt werden, wenn in einer Ausführung aufgrund derselben Messbedingungen, insbesondere elastischen Verformung der Strukturen, an denen die Messpunkte angeordnet sind, und/oder der Referenz bzw. ihrer Abstützung infolge derselben ausgeübten Lasten die Referenz in Ausgangs- und Messposen dieselben Positionen aufweist.

Insbesondere hierzu umfasst in einer Ausführung das Verfahren die (den Schritten (A) und (B)) vorhergehenden Schritte:

(a) Anfahren des bzw. der Messpunkte(s) mit der Referenz;

(b) (jeweils) Erfassen einer Pose des Roboters, in der der (jeweilige) Messpunkt mit der Referenz angefahren ist und die vorliegend als Ausgangspose bezeichnet wird; und

(c) Entfernen der Referenz von dem (jeweiligen) Messpunkt.

In einer Ausführung übt der Roboter beim, insbesondere während des, insbesondere gesamten, Erfassen(s) der (jeweiligen) Ausgangspose mit der Referenz (jeweils) die,

insbesondere für den (jeweiligen) Messpunkt und/oder die Referenz, vorgegebene Referenzlast auf diesen Messpunkt aus. Zusätzlich oder alternativ wird in einer Ausführung zwischen diesem Anfahren des (jeweiligen) Messpunktes und dem Erfassen der (jeweiligen) Ausgangspose wenigstens die vorgegebene Abklingzeit abgewartet.

Mit anderen Worten kann die Referenzlast und/oder die Abklingzeit in einer Ausführung bereits zum Erfassen der Ausgangspose(n) vorgegeben sein bzw. werden, beispielsweise auf Basis von Simulationen und/oder empirisch. Hierdurch kann in einer Ausführung das Erfassen der Ausgangspose(n) vereinfacht werden.

Gleichermaßen kann in einer Ausführung (jeweils) eine beim Erfassen der (jeweiligen) Ausgangspose von dem Roboter mit der Referenz auf den (jeweiligen) Messpunkt ausgeübte Last erfasst und die (jeweilige) Referenzlast auf Basis dieser erfassten Last vorgegeben werden bzw. sein, insbesondere dieser erfassten Last entsprechen, und/oder eine Zeit zwischen diesem Anfahren des (jeweiligen) Messpunktes und dem Erfassen der (jeweiligen) Ausgangspose erfasst und die Abklingzeit auf Basis dieser erfassten Zeit vorgegeben werden, insbesondere dieser erfassten Zeit entsprechen.

Mit anderen Worten wird die Referenzlast und/oder die Abklingzeit in einer Ausführung erst beim Erfassen der Ausgangspose(n) bestimmt und dann als (zu reproduzierende) Referenzlast bzw. Abklingzeit vorgegeben, insbesondere abgespeichert, insbesondere, indem die Last jeweils bis zu einer gewünschten, insbesondere elastischen, Verformung des Messpunktes bzw. der Struktur, an der er angeordnet ist, und/oder der Referenz bzw. bzw. ihrer Abstützung erhöht und/oder ein Ausschwingen abgewartet wird.

In einer Ausführung umfasst das Anfahren des (jeweiligen) Messpunkts ein formschlüssiges Festlegen der Referenz durch den angefahrenen Messpunkt, insbesondere ein Eingreifen der Referenz in eine den Messpunkt definierende Vertiefung oder ein Eingreifen eines den Messpunkt definierenden Vorsprungs in eine Vertiefung der Referenz.

Hierdurch kann in einer Ausführung ein Messpunkt vorteilhaft, insbesondere präzise zuverlässig und/oder automatisch angefahren, insbesondere (das Anfahren) erfasst werden.

Zusätzlich oder alternativ umfasst das Anfahren des (jeweiligen) Messpunkts in einer Ausführung ein, insbesondere automatisches, Bewegen der Referenz durch den Roboter auf Basis des vorgegebenen Suchmusters und/oder ein Vorschalten einer bzw. eine vorherige und/oder ein Überlagern einer bzw. eine gleichzeitige handgeführte(n) Bewegung der Referenz (in Richtung) auf den Messpunkt zu, insbesondere wenigstens, falls ein Abstand zwischen Messpunkt und Referenz einen, insbesondere vorgegebenen, Grenzabstand überschreitet.

Durch eine solche vorgeschaltete und/oder überlagerte manuelle Handführung der Referenz kann in einer Ausführung der Bereich, in dem Messpunkte mittels des Suchmusters automatisch aufgefunden bzw. angefahren werden, (manuell) verlagert bzw. vergrößert werden. Durch eine überlagerte manuelle Handführung kann in einer Ausführung ein Umschalten zwischen manueller Handführung und Bewegen der Referenz bzw. Suchen des (jeweiligen) Messpunktes auf Basis des vorgegebenen Suchmusters entfallen und/oder ein Anfahren von Messpunkten beschleunigt werden.

In einer Ausführung umfasst das Bewegen der Referenz durch den Roboter auf Basis des vorgegebenen Suchmusters eine, insbesondere kartesische, Impedanzregelung und/oder eine aufgeschaltete Kraftschwingung und/oder das Suchmuster eine Lissajous-Figur, wie es beispielsweise aus der Software KUKA Sunrise.OS 1.7 bzw. deren Bedien- und Programmieranleitung bekannt ist, auf die ergänzend Bezug genommen und deren Inhalt vollständig in die vorliegende Offenbarung einbezogen wird. In einer Ausführung wird die Referenz durch die Impedanzregelung regelungstechnisch bzw. durch eine virtuelle Feder an eine Suchstart- bzw. Soll-Position des Messpunktes gefesselt und durch die aufgeschaltete Kraftschwingung, insbesondere eine ein- oder zweiachsige Kraftschwingung in einer kartesischen Ebene, eine nachgiebige Suchfahrt, insbesondere Pendelbewegung, der Referenz bewirkt.

Hierdurch kann in einer Ausführung eine vorteilhafte Messpunktsuche realisiert werden.

In einer Ausführung ist der Messpunkt angefahren bzw. wird dieses erfasst, falls eine erfasste Dauer einer (Mindest)Einschränkung, insbesondere Unterbrechung, der Bewegung der Referenz durch den Roboter auf Basis des vorgegebenen Suchmusters eine, insbesondere vorgegebene, Grenzdauer überschreitet und/oder ein erfasster Widerstand gegen ein Bewegen der Referenz durch den Roboter auf Basis des vorgegebenen Suchmusters einen, insbesondere vorgegebenen, Grenzwiderstand überschreitet. Mit anderen Worten wird bzw. ist in einer Ausführung eine Suche bzw. das Anfahren eines Messpunktes beendet bzw. dieser gefunden bzw. angefahren, wenn die Referenz, insbesondere aufgrund einer formschlüssigen Festlegung durch den angefahrenen Messpunkt, insbesondere ein Eingreifen der Referenz in eine den Messpunkt definierende Vertiefung oder ein Eingreifen eines den Messpunkt definierenden Vorsprungs in eine Vertiefung der Referenz, an dem – somit gefundenen bzw. angefahrenen – Messpunkt „hängen bleibt".

In einer Ausführung wird bei bzw. während der überlagerten handgeführten Bewegung der Referenz (in Richtung auf) auf den Messpunkt zu keine Überschreitung des Grenzwiderstands und/oder der Grenzdauer erfasst, in einer Ausführung, indem eine entsprechende Erfassung ignoriert oder unterdrückt bzw. deaktiviert wird bzw. ist, solange die Referenz handgeführt (bewegt) bzw. dies bzw. eine entsprechende Handführkraft erfasst wird, und/oder indem die Handführung bzw. Handführkraft entsprechend die Bewegung der Referenz durch den Roboter auf Basis des vorgegebenen Suchmusters nicht bis zu der Grenzdauer einschränkt, insbesondere unterbricht bzw. –bindet, bzw. ihr keinen Widerstand entgegensetzt, der den Grenzwiderstand überschreitet. Mit anderen Worten wird die überlagerte handgeführte Bewegung der Referenz (in Richtung auf) auf den Messpunkt in einer Ausführung so ausgeführt, dass sie die Bewegung der Referenz durch den Roboter auf Basis des vorgegebenen Suchmusters wenigstens zu einem vorgegebenen Grad zulässt, insbesondere die Referenz manuell nicht zu starr fixiert wird, so dass ein Abbruchkriterium, insbesondere oben genannte(r) Grenzwiderstand bzw. –dauer, der automatischen Suche auf Basis des vorgegebenen Suchmusters nicht erfüllt bzw. erfasst wird.

Hierdurch kann in einer Ausführung die Bewegung der Referenz durch den Roboter auf Basis des vorgegebenen Suchmusters nach Wegfall der Handführung bzw. manuellem Positionieren der Referenz in der Nähe des Messpunktes unmittelbar mit

der automatischen Suche fortfahren und dadurch das Anfahren des Messpunktes beschleunigt werden.

Nach einer Ausführung der vorliegenden Erfindung ist ein System, insbesondere eine (Roboter)Steuerung, zum Kalibrieren eines Roboters, insbesondere hard- und/oder software-, insbesondere programmtechnisch, zur Durchführung eines hier beschriebenen Verfahrens eingerichtet und/oder weist auf:
Mittel zum Anfahren wenigstens eines Messpunktes mit einer roboterfesten Referenz, insbesondere einem robotergeführten Werkzeug und/oder Taster, insbesondere sequentielles bzw. aufeinanderfolgendes Anfahren mehrerer i(n eine)m (Arbeits)Raum (des Roboters) verteilter Messpunkte mit der Referenz; und
Mittel zum Erfassen (jeweils) einer Messpose des Roboters, in der der (jeweilige) Messpunkt mit der Referenz angefahren ist; sowie
Mittel zum Ausüben einer vorgegebene Referenzlast auf den Messpunkt durch den Roboter mit der Referenz beim, insbesondere während des, insbesondere gesamten, Erfassen(s) der (jeweiligen) Messpose; und/oder
Mittel zum Bewegen der Referenz durch den Roboter zum Anfahren des (jeweiligen) Messpunktes auf Basis eines vorgegebenen Suchmusters, wobei bei bzw. während und/oder vor diesem Bewegen der Referenz durch den Roboter auf Basis des vorgegebenen Suchmusters die Referenz handgeführt (in Richtung) auf den Messpunkt zu bewegbar ist, insbesondere regelungstechnisch einer manuell auf sie ausgeübten Kraft in Richtung dieser Kraft oder einer Komponente dieser Kraft ausweicht.

In einer Ausführung weist das System bzw. sein(e) Mittel auf:
Mittel zum Abwarten wenigstens einer vorgegebenen Abklingzeit zwischen dem Anfahren und dem Erfassen; und/oder
Mittel zum Eingeben eines Eingabeparameters, von dem die Referenzlast und/oder Abklingzeit abhängt; und/oder
Mittel zum vorherigen Anfahren des (jeweiligen) Messpunktes mit der Referenz, Erfassen einer Ausgangspose des Roboters, in der der Messpunkt mit der Referenz angefahren ist, und Entfernen der Referenz von dem Messpunkt, wobei der Roboter mit der Referenz beim Erfassen der Ausgangspose die vorgegebene Referenzlast auf den Messpunkt ausübt und/oder zwischen dem Anfahren und dem Erfassen wenigstens die vorgegebene Abklingzeit abgewartet wird und/oder eine beim

Erfassen der Ausgangspose von dem Roboter mit der Referenz auf den Messpunkt ausgeübte Last erfasst und die Referenzlast auf Basis dieser erfassten Last vorgegeben und/oder eine Zeit zwischen dem Anfahren und dem Erfassen erfasst und die Abklingzeit auf Basis dieser erfassten Zeit vorgegeben wird; und/oder

Mittel zum formschlüssigen Festlegen der Referenz durch den angefahrenen Messpunkt, Bewegen der Referenz durch den Roboter auf Basis des vorgegebenen Suchmusters und/oder Vorschalten und/oder Überlagern einer handgeführten Bewegung der Referenz auf den Messpunkt zu, insbesondere wenigstens, falls ein Abstand zwischen Messpunkt und Referenz einen, insbesondere vorgegebenen, Grenzabstand überschreitet; und/oder

einen Impedanzregler, insbesondere mit aufgeschalteter Kraftschwingung; und/oder

Mittel zum Erfassen einer Dauer, insbesondere eines Überschreitens einer Grenzdauer, einer Einschränkung der Bewegung der Referenz durch den Roboter auf Basis des vorgegebenen Suchmusters und/oder eines Widerstands, insbesondere eines Überschreitens eines Grenzwiderstands, gegen ein Bewegen der Referenz durch den Roboter auf Basis des vorgegebenen Suchmusters zum Erfassen eines angefahrenen Messpunkts;

Mittel zum Verhindern eines Erfassens einer Überschreitung des Grenzwiderstands und/oder der Grenzdauer bei der überlagerten handgeführten Bewegung der Referenz auf den Messpunkt zu; und/oder

Mittel zum Kalibrieren, insbesondere Rekalibrieren, des Roboters auf Basis der erfassten Mess- und/oder Ausgangspose.

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 steuern bzw. kalibrieren kann.

In einer Ausführung werden ein oder mehrere, insbesondere alle, Schritte des Verfahrens vollständig oder teilweise automatisiert durchgeführt, insbesondere durch das System bzw. sein(e) Mittel.

Nach einer Ausführung der vorliegenden Erfindung weist eine Roboteranordnung einen Roboter und ein System zum Kalibrieren des Roboters in hier beschriebener Weise auf. In einer Ausführung sind der bzw. einer oder mehrere der Messpunkt(e) stationär bzw. dauerhaft oder temporär bzw. zerstörungsfrei lösbar in einer Umgebung des Roboters angeordnet. In einer Ausführung weist die Roboteranordnung den bzw. die Messpunkt(e) auf.

Ein Aspekt betrifft ein Computerprogrammprodukt mit einem Programmcode, der auf einem von einem Computer lesbaren Medium gespeichert ist, zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens. Dabei kann das Verfahren ein computer-implementiertes Verfahren sein, das insbesondere auf einem Computer bzw. Mitteln einer zum Roboter gehörigen Robotersteuerung ausgeführt wird.

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

Fig. 1: eine Roboteranordnung mit einem Roboter und einem System zum Kalibrieren des Roboters nach einer Ausführung der vorliegenden Erfindung in einer Seitansicht; und

Fig. 2: einen Teil der Roboteranordnung in einer Draufsicht; und

Fig. 3: ein Verfahren zum Kalibrieren des Roboters nach einer Ausführung der vorliegenden Erfindung.

Fig. 1 zeigt eine Roboteranordnung mit einem Roboter 10 und einer Steuerung 20 zum Kalibrieren des Roboters 10 nach einer Ausführung der vorliegenden Erfindung in einer Seitansicht.

Um Messpunkte anzufahren, von denen in Fig. 1, 2 einer exemplarisch durch eine Vertiefung 31 in einem dünnen und damit flexiblem Träger 30 definiert ist, bewegt der Roboter 10 einen Taster 11 als bevorzugter Ausführungsform einer Referenz 11 auf Basis eines vorgegebenen Suchmusters, indem ein kartesischer Impedanzregler der Steuerung 20 den Taster 11 virtuell an eine Suchstartposition fesselt und eine zweiachsige Kraftschwingung aufgeschaltet wird, so dass der ungestörte Taster 11 eine in Fig. 2 gestrichelt angedeutete Lissajous-Figur abfährt. Es versteht sich, dass anstatt des Tasters 11 ebenso ein Werkzeug 11, eine Messspitze 11, eine Sensor 11 etc. am Roboter 10 angeordnet sein kann.

Erkennt ein (nicht dargestellter) Bediener, dass der Abstand dieser Suchstartposition von dem tatsächlichen Messpunkt 31 zu bzw. so groß ist, dass der Roboter 10 mit seinem Taster beim Abfahren der Lissajous-Figur die Vertiefung 31 (voraussichtlich) nicht trifft, zieht er den Taster 11 handgeführt in Richtung auf den Messpunkt bzw. die Vertiefung 31 in dem Träger 30, wie in Fig. 2 durch eine handgeführte Bewegung bzw. Verschiebung bzw. manuell ausgeübte Handführkraft 41 angedeutet.

Dabei lässt der Bediener weiterhin die Kraftschwingung bzw. Lissajous-Figur zu, d.h. hält den Taster 11 nicht zu fest.

Hat er den Taster 11 grob bzw. in der Nähe von Messpunkt bzw. Vertiefung 31 handgeführt, lässt er ihn wieder los, so dass der Roboter 10 dort mit seiner – nun wieder ungestörten – automatischen Suche fortfährt und die Lissajous-Figur 40 abfährt, bis der Taster 11 in die Vertiefung gleitet und dort hängen bleibt, so dass eine vorgegebene Grenzdauer einer Unterbrechung dieser Suchbewegung des Tasters überschritten und so das Anfahren des Messpunktes 31 erfasst wird.

Beim Handführen 41 des Tasters 11 achtet der Benutzer daher darauf, den Taster 11 nicht so(lange) (so) fest zu halten, dass diese Grenzdauer überschritten wird. Gleichermaßen kann auch das Erfassen dieses Abbruchkriteriums ausgesetzt werden, solange eine Handführkraft erfasst wird.

Wie in Fig. 1 angedeutet, ist der Messpunkt 31 in dem dünnen Träger 31 elastisch gelagert bzw. ein nachgiebiger Messpunkt, der beim Anfahren mit dem Taster 11 elastisch ausweicht.

Zum Einmessen solcher nachgiebigen Messpunkte führt die Steuerung 2 ein nachfolgend mit Bezug auf Fig. 3 erläutertes Verfahren durch.

In einem Schritt S10 wird der nachgiebige Messpunkt 31 zunächst mit dem Taster 11 angefahren und dann wenigstens eine vorgegebene Abklingzeit abgewartet.

Anschließend wird in einem Schritt S20 die Pose des Roboters 10 erfasst, indem seine Gelenkwinkel $q_1 - q_5$ gemessen werden.

Dabei wird mit dem Taster 11 auf den Messpunkt 31 eine vorgegebene Referenzkraft F ausgeübt, die in Fig. 1 strichpunktiert angedeutet ist.

Diese kann bereits beim Anfahren, während oder auch erst nach der Abklingzeit ausgeübt, insbesondere aufgebaut, werden und verformt den dünnen Träger 31 elastisch, wie in Fig. 1 durch dessen gestrichelte unverformte Konfiguration angedeutet.

Diese in Schritt S20 erfasste Pose wird als Ausgangspose abgespeichert und der nächste Messpunkt in analoger Weise abgearbeitet (S30).

In einer Abwandlung kann auch die Kraft, die der Roboter mit dem Taster 11 auf den Messpunkt 31 ausübt, bei oder nach dessen Anfahren solange erhöht werden, bis eine gewünschte elastische Verformung des Trägers 30 resultiert, und diese Kraft dann für diesen Messpunkt als Referenzkraft F abgespeichert werden.

Soll der Roboter 10 nun rekalibriert werden, werden die Messpunkte, insbesondere also der exemplarisch dargestellte nachgiebige Messpunkt 31, erneut angefahren.

Dabei wird wiederum Messpunkt 31 mit Taster 11 angefahren und dann die Abklingzeit abgewartet (S40), um den Träger 30 ausschwingen zu lassen, und anschließend bei mit dem Taster 11 auf den Messpunkt 31 ausgeübter Referenzkraft F die Pose des Roboters 10 erfasst (S50) und als Messpose abgespeichert und anschließend die anderen Messpunkte in analoger Weise abgearbeitet (S60).

Auf diese Weise werden Ausgangs- und Messpose(n) unter den gleichen (Mess)Bedingungen bzw. elastischen Verformungen des Trägers 30 erfasst bzw. beim Erfassen der Messpose(n) die Bedingungen beim Erfassen der Ausgangspose(n) reproduziert.

Daher können diese Posen direkt miteinander verglichen und der Roboter 10 in einem Schritt S70 auf Basis dieser Posen rekalibriert werden, indem Parameter einer Vor- und/oder Rückwärtstransformation, die ein roboter- und ein umgebungsfestes Koordinatensystem ineinander überführt, entsprechend modifiziert werden.

Haben sich beispielsweise die Achsabstände thermisch oder mechanisch bedingt geändert, können die entsprechenden Parameter der Transformation so angepasst werden, dass die in der Messpose gemessenen Gelenkwinkel q_1-q_5 wieder derselben Position des Tasters 11 in Messpunkt bzw. Vertiefung 31 entsprechen wie bei den in der Ausgangspose gemessenen Gelenkwinkeln q_1-q_5, da aufgrund der reproduzierten Belastung bzw. elastischen Verformung des Trägers 30 diese Position von Taster 11 bzw. Messpunkt bzw. Vertiefung 31 übereinstimmen sollten.

Haben sich beispielsweise die Achsabstände aufgrund von thermischen oder mechanischen Verformungen vergrößert, muss der Roboter 10 zum Anfahren des Messpunktes 31 auf dem gleich elastisch verformten Träger 30 nun einen größeren Gelenkwinkel q_2 und einen kleineren Gelenkwinkel q_3 einnehmen als in der Ausgangspose bei den kleineren Achsabständen. Entsprechend kann aus diesem Unterschied der Gelenkwinkel q_2, q_3 die Änderung der Achsabstände ermittelt und so eine Vor- und/oder Rückwärtstransformation rekalibriert bzw. entsprechend korrigiert werden.

Die beiden Aspekte können vorteilhaft miteinander kombiniert sein, indem Messpunkt 31 in den Schritten S10 und/oder S40 in der vorstehend mit Bezug auf Fig. 2 beschriebenen Weise unter automatischem Abfahren der Lissajous-Figur 30 durch den Taster 11 und überlagerter Handführung 41 auf den Messpunkt 31 zu angefahren bzw. gesucht wird. Gleichermaßen können diese beiden Aspekte auch einzeln realisiert sein.

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

So ist im Ausführungsbeispiel der Messpunkt 31 in dem dünnen Träger 31 elastisch gelagert bzw. ein nachgiebiger Messpunkt, der beim Anfahren mit dem Taster 11 elastisch ausweicht. Zusätzlich oder alternativ kann in einer nicht dargestellten Abwandlung auch ein nachgiebige roboterfeste bzw. –geführte Referenz, insbesondere ein elastisch (am Roboter) gelagertes bzw. abgestütztes Werkzeug, verwendet werden.

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

10	Roboter
11	Taster (Referenz)
20	Steuerung
30	Träger (Struktur)
31	Vertiefung (Messpunkt)
40	Lissajous-Figur
41	Handführung(skraft)
F	Kraft (Ausgangs-, Vor- und Referenzlast)
q_1-q_5	Gelenkwinkel (Pose)

Patentansprüche

1. Verfahren zum Kalibrieren eines Roboters (10), mit den Schritten:
Anfahren (S40) wenigstens eines Messpunktes (31) mit einer roboterfesten Referenz (11); und
Erfassen (S50) einer Messpose (q_1-q_5) des Roboters, in der dieser Messpunkt mit der Referenz angefahren ist;
wobei der Roboter beim Erfassen der Messpose mit der Referenz (11) eine vorgegebene Referenzlast (F) auf den Messpunkt (31) ausübt und der Messpunkt und/oder die Referenz nachgiebig ist, und/oder wobei der Roboter die Referenz (11) zum Anfahren des Messpunktes (31) auf Basis eines vorgegebenen Suchmusters (40) bewegt und dabei und/oder vorab die Referenz (11) handgeführt auf den Messpunkt (31) zu bewegbar ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen dem Anfahren und dem Erfassen wenigstens eine vorgegebene Abklingzeit abgewartet wird.

3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Referenzlast (F) und/oder Abklingzeit von einem variablen Eingabeparameter abhängt.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Referenzlast (F) derart vorgegeben ist, dass eine Struktur (30), an der der Messpunkt (31) angeordnet ist, und/oder eine roboterseitige Abstützung der Referenz sich elastisch und/oder nicht plastisch verformt.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, mit den vorhergehenden Schritten:
Anfahren (S10) des Messpunktes (31) mit der Referenz (11);
Erfassen (S20) einer Ausgangspose (q_1-q_5) des Roboters, in der der Messpunkt mit der Referenz angefahren ist; und
Entfernen (S30) der Referenz (11) von dem Messpunkt (31);
wobei der Roboter mit der Referenz (11) beim Erfassen der Ausgangspose die vorgegebene Referenzlast (F) auf den Messpunkt (31) ausübt und/oder zwischen

dem Anfahren und dem Erfassen wenigstens die vorgegebene Abklingzeit abgewartet wird und/oder eine beim Erfassen der Ausgangspose von dem Roboter mit der Referenz (11) auf den Messpunkt (31) ausgeübte Last erfasst und die Referenzlast (F) auf Basis dieser erfassten Last vorgegeben und/oder eine Zeit zwischen dem Anfahren und dem Erfassen erfasst und die Abklingzeit auf Basis dieser erfassten Zeit vorgegeben wird.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Anfahren des Messpunkts umfasst:
formschlüssiges Festlegen der Referenz (11) durch den angefahrenen Messpunkt (31);
Bewegen der Referenz (11) durch den Roboter auf Basis des vorgegebenen Suchmusters (40); und/oder
Vorschalten und/oder Überlagern einer handgeführten Bewegung (41) der Referenz (11) auf den Messpunkt (31) zu.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Bewegen der Referenz (11) durch den Roboter auf Basis des vorgegebenen Suchmusters eine Impedanzregelung und/oder eine aufgeschaltete Kraftschwingung und/oder das Suchmuster eine Lissajous-Figur (40) umfasst.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Messpunkt (31) angefahren ist, falls eine erfasste Dauer einer Einschränkung der Bewegung der Referenz (11) durch den Roboter auf Basis des vorgegebenen Suchmusters (40) eine, insbesondere vorgegebene, Grenzdauer überschreitet und/oder ein erfasster Widerstand gegen ein Bewegen der Referenz (11) durch den Roboter auf Basis des vorgegebenen Suchmusters (40) einen, insbesondere vorgegebenen, Grenzwiderstand überschreitet.

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass bei der überlagerten handgeführten Bewegung der Referenz (11) auf den Messpunkt (31) zu keine Überschreitung des Grenzwiderstands und/oder der Grenzdauer erfasst wird.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Roboter auf Basis der erfassten Mess- und/oder Ausgangspose kalibriert wird (S70).

11. System (20) zum Kalibrieren eines Roboters (10), das zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche eingerichtet ist und/oder aufweist:
Mittel zum Anfahren wenigstens eines Messpunktes (31) mit einer roboterfesten Referenz (11); und
Mittel zum Erfassen einer Messpose (q_1-q_5) des Roboters, in der dieser Messpunkt (31) mit der Referenz (11) angefahren ist; sowie
Mittel zum Ausüben einer vorgegebene Referenzlast (F) auf den Messpunkt (31) durch den Roboter mit der Referenz (11) beim Erfassen der Messpose, wobei der Messpunkt und/oder die Referenz nachgiebig ist; und/oder
Mittel zum Bewegen der Referenz (11) durch den Roboter zum Anfahren des Messpunktes (31) auf Basis eines vorgegebenen Suchmusters (40) und handgeführtem Bewegen (41) der Referenz (11) auf den Messpunkt (31) zu dabei und/oder vorab.

12. Roboteranordnung mit einem Roboter (10) und einem System (20) zum Kalibrieren des Roboters (10) nach einem der vorhergehenden Ansprüche.

13. Computerprogrammprodukt mit einem Programmcode, der auf einem von einem Computer lesbaren Medium gespeichert ist, zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 10, insbesondere mittels einer Roboteranordung nach Anspruch 12.

Fig. 1

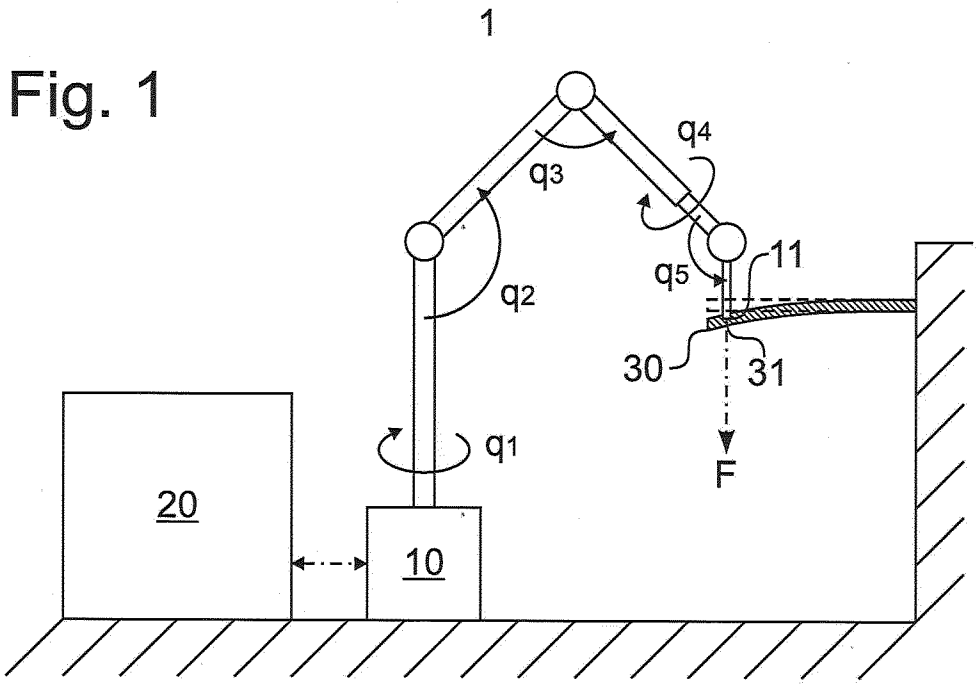


Fig. 2

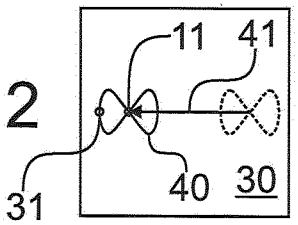
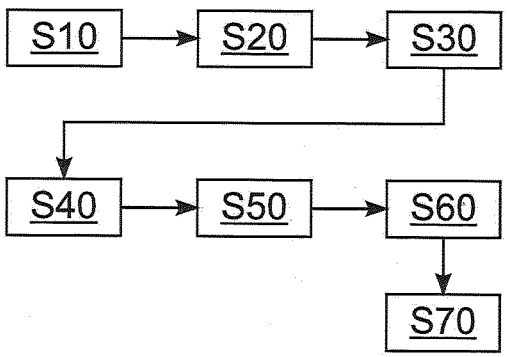


Fig. 3



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/EP2018/060427

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

B25J 9/16(2006.01)i

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 5687293 A (SNELL JOHN-ERIK [SE]) 11 November 1997 (1997-11-11) column 4, lines 20-42; figures 1-5 column 6, lines 15-46	1-13
A	EP 2322897 A1 (BATTENBERG GUENTHER [DE]) 18 May 2011 (2011-05-18) paragraphs [0050] - [0052]; figures 3a,3b	1-13

☐ 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	Date of mailing of the international search report
27 September 2018	**05 October 2018**

Name and mailing address of the ISA/EP	Authorized officer
European Patent Office **p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk** **Netherlands** Telephone No. **(+31-70)340-2040** Facsimile No. **(+31-70)340-3016**	**Groen, Fokke** Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/EP2018/060427

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
US	5687293	A	11 November 1997	DE	69411130	D1	23 July 1998
				DE	69411130	T2	11 February 1999
				EP	0655301	A1	31 May 1995
				ES	2119946	T3	16 October 1998
				JP	H07186073	A	25 July 1995
				US	5687293	A	11 November 1997
EP	2322897	A1	18 May 2011	NONE			

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2018/060427

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 5 687 293 A (SNELL JOHN-ERIK [SE]) 11. November 1997 (1997-11-11) Spalte 4, Zeilen 20-42; Abbildungen 1-5 Spalte 6, Zeilen 15-46 -----	1-13
A	EP 2 322 897 A1 (BATTENBERG GUENTHER [DE]) 18. Mai 2011 (2011-05-18) Absätze [0050] - [0052]; Abbildungen 3a,3b -----	1-13

☐ 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	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
27. September 2018	05/10/2018

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

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2018/060427

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 5687293 A	11-11-1997	DE 69411130 D1	23-07-1998
		DE 69411130 T2	11-02-1999
		EP 0655301 A1	31-05-1995
		ES 2119946 T3	16-10-1998
		JP H07186073 A	25-07-1995
		US 5687293 A	11-11-1997
EP 2322897 A1	18-05-2011	KEINE	