(19) Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 11 2021 007 764 T5** 2024.08.22

(12) # Veröffentlichung

der internationalen Anmeldung mit der
(87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2023/047591**
in der deutschen Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2 IntPatÜbkG)
(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2021 007 764.3**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/JP2021/035409**
(86) PCT-Anmeldetag: **27.09.2021**
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **30.03.2023**
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung in deutscher Übersetzung: **22.08.2024**

(51) Int Cl.: ***B25J 9/10*** (2006.01)

(71) Anmelder:
FANUC CORPORATION, Oshino-mura, Yamanashi, JP

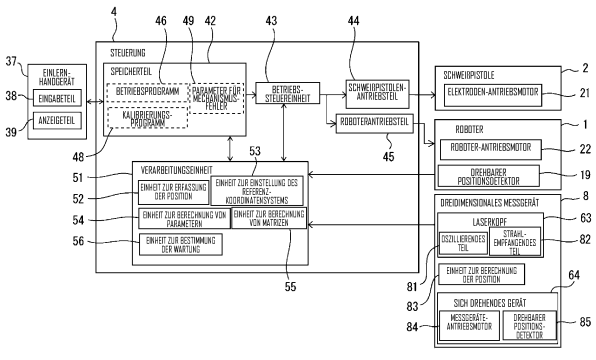
(74) Vertreter:
Wuesthoff & Wuesthoff Patentanwälte und Rechtsanwalt PartG mbB, 81541 München, DE

(72) Erfinder:
Wang, Yuelai, Oshino-mura, Yamanashi, JP;
Naitou, Yasuhiro, Oshino-mura, Yamanashi, JP;
Harada, Kunihiko, Oshino-mura, Yamanashi, JP

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **KALIBRIERUNGSGERÄT ZUR KALIBRIERUNG VON PARAMETERN FÜR MECHANISMUSFEHLER UND BESTIMMUNGSGERÄT ZUR BESTIMMUNG DER NOTWENDIGKEIT DER KALIBRIERUNG VON PARAMETERN FÜR MECHANISMUSFEHLER**

(57) Zusammenfassung: Dieses Kalibrierungsgerät umfasst eine Einheit zur Erfassung der Position zum Erfassen der Position eines Roboters in einem Referenz-Koordinatensystem und eine Einheit zur Berechnung von Parametern zum Berechnen eines Parameters für Mechanismusfehler. Ein erster Zustand des Roboters und ein zweiter Zustand des Roboters, der später als der erste Zustand ist, werden definiert. Die Einheit zur Berechnung von Parametern berechnet den Parameter für Mechanismusfehler so, dass, wenn der Roboter durch einen Befehlswert eines Bewegungsprogramms angetrieben wird, die Position des Roboters in dem Referenz-Koordinatensystem zum Zeitpunkt des zweiten Zustands mit der Position des Roboters in dem Referenz-Koordinatensystem zum Zeitpunkt des ersten Zustands übereinstimmt.



Beschreibung

Technischer Bereich

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Kalibrierungsgerät zur Kalibrierung von Parametern für Mechanismusfehler und ein Bestimmungsgerät zur Bestimmung der Notwendigkeit der Kalibrierung von Parametern für Mechanismusfehler.

Technischer Hintergrund

[0002] Aus dem Stand der Technik ist ein Robotergerät bekannt, das ein Arbeitswerkzeug und einen Roboter zum Bewegen des Arbeitswerkzeugs umfasst. Wenn der Roboter angetrieben wird, können verschiedene Arbeiten durchgeführt werden, während die Position und die Ausrichtung des Arbeitswerkzeugs geändert werden. Die Position und Ausrichtung des Roboters werden in einem Betriebsprogramm festgelegt. In einem Robotersystem mit einer Vielzahl von Robotergeräten ist eine Steuerung bekannt, bei der der Betrieb eines Roboters so gesteuert wird, dass er dem Betrieb eines anderen Roboters folgt (z. B. Japanische Patentveröffentlichung Nr. 10-83208A).

[0003] Vorzugsweise stimmt die Position und Ausrichtung des Roboters mit der im Arbeitsprogramm festgelegten Position und Ausrichtung überein. Nach dem Austausch eines Roboters kann es jedoch vorkommen, dass der Roboter aufgrund eines Fehlers in der Installationsposition des Roboters und individueller Unterschiede bei den Robotern nicht die gewünschte Position und Ausrichtung erreicht. Es ist bekannt, dass nach dem Auswechseln eines Roboters die Position des Ursprungs eines Basis-Koordinatensystems am Roboter gemessen und die Positionsabweichung des Basis-Koordinatensystems durch einen Bildsensor berechnet wird. Auf der Grundlage des Bestimmungsergebnisses wird dann in der Regel das Betriebsprogramm für den Antrieb des Roboters modifiziert (z. B. Japanisches Patent Nr. 6603289B und Japanische ungeprüfte Patentveröffentlichung Nr. 2019-14011A).

Zitierliste

Patentliteratur

PTL 1: Japanische ungeprüfte Patentveröffentlichung Nr. 10-83208A

PTL 2: Japanisches Patent Nr. 6603289B

PTL 3: Japanische ungeprüfte Patentveröffentlichung Nr. 2019-14011A

Zusammenfassung der Erfindung

Technisches Problem

[0004] Wenn ein Roboter auf der Grundlage eines Betriebsprogramms angetrieben wird, werden die Position und die Ausrichtung des Roboters durch Produktionsfehler bei den Komponenten während der Roboterproduktion und durch die Schwerkraft beeinflusst, wenn der Roboter angetrieben wird. Daher können die Position und die Ausrichtung des Roboters geringfügig von der im Betriebsprogramm angegebenen Position und Ausrichtung abweichen. Zu den Produktionsfehlern in den Bauteilen gehören Fehler in der Länge der Arme zwischen den Gelenkachsen und Fehler im Übersetzungsverhältnis eines Untersetzungsgetriebes. Die Faktoren, die solche Fehler verursachen, können als Parameter für Mechanismusfehler des Roboters eingestellt werden, und für jeden Parameter für Mechanismusfehler können Werte festgelegt werden. Eine Steuerung kann die Position und Ausrichtung des Roboters genau steuern, indem sie den Roboter unter Verwendung der Parameter für Mechanismusfehler antreibt.

[0005] Unmittelbar nach der Installation des Roboters kann der Roboter durch die Einstellung der Parameter für Mechanismusfehler so gesteuert werden, dass er sich in einer gewünschten Position und Ausrichtung in Bezug auf den Befehlswert des Betriebsprogramms befindet. Wenn der Roboter jedoch über einen längeren Zeitraum betrieben wird, verschlechtert sich die Genauigkeit der Steuerung des Roboters aufgrund von Abnutzung der Roboterkomponenten usw. Aus diesem Grund können die Roboterkomponenten, wie z. B. ein Motor, ein Untersetzungsgetriebe oder ein Arm, ausgetauscht werden. In diesem Fall ist es schwierig, die Position, die der Roboter nach dem Austausch der Komponenten erreicht hat, mit der Position abzugleichen, die der Roboter vor dem Austausch der Komponenten erreicht hat.

[0006] Wenn der gesamte Roboter ausgetauscht wird, kommt es außerdem zu einem Installationsfehler aufgrund einer Abweichung von der Installationsreferenz des Roboters oder einer Neigung der Installationsebene. Aufgrund des Fehlers bei der Installation des Roboters kann es zu einem schwerwiegenden Fehler bei der Position und Ausrichtung des Roboters kommen. Das Problem ist jedoch, dass es schwierig ist, die vom Roboter nach dem Austausch des Roboters erreichte Position mit der vor dem Austausch des Roboters erreichten Position abzugleichen. Mit anderen Worten, es ist schwierig, das Basis-Koordinatensystem des Roboters vor dem Austausch wiederherzustellen.

[0007] Der Fehler in der Position und der Ausrichtung des Roboters kann durch erneutes Einlernen der Position und der Ausrichtung nach dem Aus-

tausch der Komponenten oder des Roboters geändert werden. Das Problem ist jedoch, dass das Einlernen des Roboters zeitaufwendig ist und die Produktivität einer Roboteranlage sinkt. Darüber hinaus muss die Korrektur der Einlern-Position des Roboters für jedes Betriebsprogramm durchgeführt werden. Das Problem ist, dass das Einlernen viel Zeit in Anspruch nimmt. Außerdem kann bei der Korrektur der Einlern-Position des Programms, wenn es einen Einlern-Punkt gibt, für den die Einlern-Position nicht korrigiert wird, die Genauigkeit beim Fahren des Roboters verringert werden, oder der Roboter kann mit peripheren Geräten interferieren.

Lösung des Problems

[0008] Ein erster Aspekt der vorliegenden Offenbarung ist ein Kalibrierungsgerät, das so konfiguriert ist, dass es Parameter für Mechanismusfehler zur Einstellung der Steuerung eines Roboters auf der Grundlage eines Betriebsprogramms kalibriert. Das Kalibrierungsgerät umfasst eine Einheit zur Erfassung der Position, die so konfiguriert ist, dass sie eine Position des Roboters in einem Referenz-Koordinatensystem erfasst. Das Kalibrierungsgerät umfasst eine Einheit zur Berechnung von Parametern, die so konfiguriert ist, dass sie die Parameter für Mechanismusfehler auf der Grundlage der Position des Roboters in dem Referenz-Koordinatensystem berechnet. Die Einheit zur Berechnung von Parametern ist so konfiguriert, dass sie die Parameter für Mechanismusfehler so berechnet, dass die Position des Roboters in dem Referenz-Koordinatensystem in einem zweiten Zustand nach einem ersten Zustand mit einer Position des Roboters in dem Referenz-Koordinatensystem in dem ersten Zustand übereinstimmt, wenn der Roboter durch einen Befehlswert des Betriebsprogramms gesteuert wird.

[0009] Ein zweiter Aspekt der vorliegenden Offenbarung ist ein Bestimmungsgerät, das so konfiguriert ist, dass es die Notwendigkeit der Kalibrierung von Parametern für Mechanismusfehler zur Einstellung der Robotersteuerung auf der Grundlage eines Betriebsprogramms bestimmt. Das Bestimmungsgerät umfasst eine Einheit zur Erfassung der Position, die so konfiguriert ist, dass sie eine Position des Roboters in einem Referenz-Koordinatensystem erfasst. Das Bestimmungsgerät umfasst eine Einheit zur Bestimmung der Wartung, die so konfiguriert ist, dass sie die Genauigkeit der Position des Roboters in Bezug auf einen Befehlswert des Betriebsprogramms bewertet. Die Einheit zur Bestimmung der Wartung ist so konfiguriert, dass sie auf der Grundlage der Position des Roboters in dem Referenz-Koordinatensystem in einem ersten Zustand und der Position des Roboters in dem aktuellen Referenz-Koordinatensystem die Notwendigkeit einer Kalibrierung der Parameter für Mechanismusfehler bestimmt, wenn der Roboter durch den Befehlswert des Betriebsprogramms gesteuert wird.

Vorteilhafte Auswirkungen der Erfindung

[0010] Gemäß einem Aspekt der vorliegenden Offenbarung kann ein Kalibrierungsgerät, das die Parameter für Mechanismusfehler eines Roboters leicht kalibrieren kann, und ein Bestimmungsgerät, das die Notwendigkeit der Kalibrierung der Parameter für Mechanismusfehler bestimmt, bereitgestellt werden.

Kurzbeschreibung der Zeichnungen

[**Fig.** 1] **Fig.** 1 ist eine perspektivische Ansicht eines Robotersystems in einer Ausführungsform.

[**Fig.** 2] **Fig.** 2 ist eine perspektivische Ansicht eines Robotergeräts, eines dreidimensionalen Messgeräts und eines Hilfsglieds in einem ersten Zustand.

[**Fig.** 3] **Fig.** 3 ist ein Blockdiagramm eines Robotergeräts und eines dreidimensionalen Messgeräts.

[**Fig.** 4] **Fig.** 4 ist ein Flussdiagramm einer ersten Steuerung eines Kalibrierungsgeräts in einer Ausführungsform.

[**Fig.** 5] **Fig.** 5 ist eine perspektivische Ansicht eines Robotergeräts, eines dreidimensionalen Messgeräts und eines Hilfsglieds in einem zweiten Zustand.

[**Fig.** 6] **Fig.** 6 ist ein Flussdiagramm einer zweiten Steuerung eines Kalibrierungsgeräts.

[**Fig.** 7] **Fig.** 7 ist eine perspektivische Ansicht eines Robotergeräts, eines dreidimensionalen Messgeräts und eines Hilfsglieds in einem ersten Zustand.

[**Fig.** 8] **Fig.** 8 ist ein Flussdiagramm einer dritten Steuerung eines Kalibrierungsgeräts.

[**Fig.** 9] **Fig.** 9 ist eine perspektivische Ansicht eines Robotergeräts, eines dreidimensionalen Messgeräts und eines Hilfsglieds in einem zweiten Zustand.

[**Fig.** 10] **Fig.** 10 ist ein Flussdiagramm einer vierten Steuerung eines Kalibrierungsgeräts

[**Fig.** 11] **Fig.** 11 ist ein Flussdiagramm einer Steuerung durch eine Einheit zur Bestimmung der Wartung einer Steuerung.

Beschreibung der Ausführungsformen

[0011] Eine Kalibrierungsgerät und ein Bestimmungsgerät in einer Ausführungsform werden unter Bezugnahme auf die **Fig.** 1 bis **Fig.** 11 beschrieben.

Das Kalibrierungsgerät in der vorliegenden Ausführungsform kalibriert Parameter für Mechanismusfehler zur Einstellung des Betriebs eines Roboters auf der Grundlage eines Betriebsprogramms. Darüber hinaus bestimmt das Bestimmungsgerät der vorliegenden Ausführungsform die Notwendigkeit der Kalibrierung der Parameter für Mechanismusfehler.

[0012] Fig. 1 ist eine perspektivische Ansicht eines Robotersystems in der vorliegenden Ausführungsform. Das Robotersystem der vorliegenden Ausführungsform führt Punktschweißen mit drei Robotergeräten 5, 6 und 7 durch. Jedes der Robotergeräte 5, 6 und 7 ist mit einer Schweißzange 2 als Arbeitswerkzeug und einem Roboter 1 ausgestattet, der die Position und Ausrichtung der Schweißzange 2 ändert. Ein zu schweißendes Werkstück wird in einen Bereich befördert, der von den Robotergeräten 5, 6 und 7 umgeben ist. Zum Beispiel wird eine Fahrzeugkarosserie als Werkstück an einer Fördermaschine aufgehängt transportiert. Das Punktschweißen wird von den Robotergeräten 5, 6 und 7 durchgeführt.

[0013] Fig. 2 zeigt eine perspektivische Ansicht eines Robotergeräts, eines dreidimensionalen Messgeräts und eines Hilfsglieds. In diesem Fall wird von den mehreren Robotergeräten 5, 6 und 7 das Robotergerät 5 als Beispiel verwendet. Die Robotergeräte 6 und 7 haben die gleiche Konfiguration wie das Robotergerät 5. Der Roboter 1 der vorliegenden Ausführungsform ist ein Gelenkroboter mit einer Vielzahl von Gelenken.

[0014] Der Roboter 1 umfasst ein Basisteil 14, das an einer Installationsfläche befestigt ist, und einen drehbaren Sockel 13, der von dem Basisteil 14 getragen wird. Der Roboter 1 umfasst einen oberen Arm 11 und einen unteren Arm 12. Der untere Arm 12 ist so gelagert, dass er sich in Bezug auf den drehbaren Sockel 13 drehen kann. Der obere Arm 11 ist so gelagert, dass er sich gegenüber dem unteren Arm 12 drehen kann. Darüber hinaus dreht sich der obere Arm 11 um eine Drehachse, die parallel zu einer Richtung verläuft, in der sich der obere Arm 11 erstreckt. Der Roboter 1 umfasst ein Handgelenk 15, das drehbar am oberen Arm 11 gelagert ist. Das Handgelenk 15 umfasst auch einen Flansch 16, der drehbar ausgeführt ist. Die Schweißpistole 2 ist an dem Flansch 16 befestigt.

[0015] Der Roboter der vorliegenden Ausführungsform umfasst sechs Antriebsachsen, ist aber nicht auf diese Konfiguration beschränkt. Es kann ein Roboter verwendet werden, der seine Position und Ausrichtung durch einen beliebigen Mechanismus ändern kann. Darüber hinaus ist ein Arbeitsgerät der vorliegenden Ausführungsform eine Schweißzange, die Punktschweißen durchführt, aber nicht auf diese Konfiguration beschränkt ist. Der Bediener kann ein geeignetes Arbeitsgerät für die von dem Robotergerät auszuführende Tätigkeit auswählen. Zum Beispiel kann ein Werkzeug zum Transportieren eines Werkstücks oder ein Werkzeug zum Auftragen eines Klebstoffs verwendet werden.

[0016] In der vorliegenden Ausführungsform wird ein Basis-Koordinatensystem 71 für das Robotergerät 5 festgelegt. In dem in **Fig.** 2 dargestellten Beispiel befindet sich der Ursprung des Basis-Koordinatensystems 71 am Basisteil 14 des Roboters 1. Das Basis-Koordinatensystem 71 ist ein Koordinatensystem, bei dem die Position des Ursprungs fest mit dem Roboter verbunden ist und die Orientierungen der Koordinatenachsen fest sind. Die Position und Ausrichtung des Basis-Koordinatensystems 71 ändern sich nicht, selbst wenn sich die Position und Ausrichtung des Roboters 1 ändern. Das Basis-Koordinatensystem 71 umfasst X-, Y- und Z-Achsen, die als Koordinatenachsen senkrecht zueinander stehen. Zusätzlich ist eine W-Achse als Koordinatenachse um die X-Achse festgelegt. Eine P-Achse wird als Koordinatenachse um die Y-Achse festgelegt. Eine R-Achse wird als Koordinatenachse um die Z-Achse festgelegt.

[0017] Das Robotergerät 5 verfügt über ein Werkzeug-Koordinatensystem, dessen Ursprung auf eine beliebige Position des Arbeitswerkzeugs festgelegt ist. In der vorliegenden Ausführungsform ist der Ursprung des Werkzeug-Koordinatensystems auf einen Werkzeugmittelpunkt festgelegt, der ein distales Ende einer festen Elektrode der Schweißzange 2 ist. Das Werkzeug-Koordinatensystem ist ein Koordinatensystem, in dem sich die Position und die Orientierung mit dem Arbeitswerkzeug ändern. Die Position des Roboters 1 entspricht der Position des Ursprungs des Werkzeug-Koordinatensystems im Basis-Koordinatensystem 71. Die Orientierung des Werkzeug-Koordinatensystems in Bezug auf das Basis-Koordinatensystem 71 entspricht der Orientierung des Roboters 1. Die Position und Orientierung des Roboters 1 kann durch einen Koordinatenwert des Basis-Koordinatensystems 71 dargestellt werden.

[0018] Fig. 3 zeigt ein Blockdiagramm des Robotergeräts und des dreidimensionalen Messgeräts in der vorliegenden Ausführungsform. Wie in **Fig.** 2 und **Fig.** 3 gezeigt, umfasst der Roboter 1 ein Roboterantriebsgerät, das die Position und Ausrichtung des Roboters 1 verändert. Das Roboterantriebsgerät umfasst Roboterantriebsmotoren 22, die Komponenten wie den oberen Arm 11, den unteren Arm 12 und das Handgelenk 15 antreiben.

[0019] Die Schweißzange 2 ist mit einem Antriebsgerät für die Schweißzange ausgestattet, die die Schweißzange 2 antreibt. Das Antriebsgerät der Schweißzange umfasst einen Elektrodenantriebsmotor 21, der eine bewegliche Elektrode der

Schweißzange 2 antreibt. Die bewegliche Elektrode bewegt sich in Bezug auf die feststehende Elektrode, indem sie durch den Elektrodenantriebsmotor 21 angetrieben wird. Durch die Bewegung der beweglichen Elektrode kann Punktschweißen durchgeführt werden, wobei das Werkstück zwischen der festen Elektrode und der beweglichen Elektrode liegt.

[0020] Das Robotergerät 5 umfasst eine Steuerung 4, die den Roboter 1 und die Schweißpistole 2 steuert, sowie ein Programmierhandgerät 37, mit dem der Bediener die Steuerung 4 bedient. Die Steuerung 4 umfasst ein arithmetisches Verarbeitungsgerät (Computer) mit einer Zentraleinheit (CPU) als Prozessor. Die Steuerung 4 umfasst einen RAM-Speicher (Random Access Memory), einen ROM-Speicher (Read Only Memory) oder ähnliches, die über einen Bus mit der CPU verbunden sind.

[0021] Das Programmierhandgerät 37 enthält ein Eingabeteil 38 zur Eingabe von Informationen in Bezug auf den Roboter 1 und die Schweißzange 2. Das Eingabeteil 38 umfasst eine Tastatur, einen Drehknopf oder ähnliches. Der Bediener kann mit Hilfe des Eingabeteils 38 ein Betriebsprogramm, einen Einstellwert einer Variablen und einen Bestimmungswert einer Variablen in die Steuerung 4 eingeben. Das Programmierhandgerät 37 enthält ein Anzeigeteil 39, das Informationen über den Roboter 1 und die Schweißzange 2 anzeigt.

[0022] Ein im Voraus erstelltes Betriebsprogramm 46 zur Steuerung des Roboters 1 und der Schweißzange 2 wird in die Steuerung 4 eingegeben. Alternativ können Einlern-Punkte des Roboters 1 durch den Bediener gesetzt werden, der das Programmierhandgerät 37 bedient und den Roboter 1 fährt. Auf der Grundlage der Einlern-Punkte kann die Steuerung 4 das Betriebsprogramm 46 für den Betrieb des Roboters 1 und der Schweißzange 2 erstellen.

[0023] Die Steuerung 4 umfasst ein Speicherteil 42, das Informationen zur Steuerung des Roboters 1 und der Schweißzange 2 speichert. Das Speicherteil 42 kann mit einem nicht temporären Speichermedium konfiguriert werden, das Informationen speichern kann. Das Speicherteil 42 kann beispielsweise mit einem Speichermedium wie einem flüchtigen Speicher, einem nichtflüchtigen Speicher, einem magnetischen Speichermedium oder einem optischen Speichermedium konfiguriert werden. Der Prozessor, der als Einheit zur Steuerung des Betriebs 43 fungiert, ist so ausgebildet, dass er in der Lage ist, im Speicherteil 42 gespeicherte Informationen zu lesen. Das Betriebsprogramm 46 ist in dem Speicherteil 42 gespeichert. Das Robotergerät 5 führt den Betrieb automatisch auf der Grundlage des Betriebsprogramms 46 durch.

[0024] Die Steuerung 4 umfasst die Einheit zur Steuerung des Betriebs 43, die einen Betriebsbefehl an den Roboter 1 und die Schweißzange 2 sendet. Die Einheit zur Steuerung des Betriebs 43 sendet auf der Grundlage des Betriebsprogramms 46 einen Betriebsbefehl zum Antrieb des Roboters 1 an ein Roboterantriebsteil 45. Das Roboterantriebsteil 45 enthält einen elektrischen Schaltkreis, der den Roboterantriebsmotor 22 antreibt. Das Roboterantriebsteil 45 versorgt den Roboterantriebsmotor 22 auf der Grundlage des Betriebsbefehls mit Strom. Darüber hinaus sendet die Einheit zur Steuerung des Betriebs 43 einen Betriebsbefehl zum Antrieb der Schweißzange 2 an ein Schweißzangenantriebsteil 44 auf der Grundlage des Betriebsprogramms 46. Das Schweißzangenantriebsteil 44 umfasst einen Stromkreis, der eine Elektrode mit Strom versorgt oder den Elektrodenantriebsmotor 21 antreibt. Das Schweißzangenantriebsteil 44 versorgt die Elektrode und den Elektrodenantriebsmotor 21 auf der Grundlage des Betriebsbefehls mit Strom.

[0025] Der Roboter 1 umfasst einen Zustandsdetektor zum Erfassen eines Zustands des Roboters 1, und der Zustand umfasst eine Position und eine Ausrichtung des Roboters 1. Der Zustandsdetektor in der vorliegenden Ausführungsform umfasst einen Drehpositionsdetektor 19, der an dem Roboterantriebsmotor 22 angebracht ist, der einer Antriebsachse einer Komponente, wie z. B. einem Arm, entspricht. Der Drehpositionsdetektor 19 ist mit einem Encoder oder ähnlichem ausgestattet, der einen Drehwinkel des Roboterantriebsmotors 22 erfasst. In der vorliegenden Ausführungsform werden die Position und die Ausrichtung des Roboters auf der Grundlage des Ausgangs einer Vielzahl von Rotationspositionsdetektoren 19 ermittelt.

[0026] Die Einheit zur Steuerung des Betriebs 43 steuert den Roboter 1 so, dass er sich an der im Betriebsprogramm 46 angegebenen Position und Ausrichtung befindet. Die Einheit zur Steuerung des Betriebs 43 steuert den Drehwinkel des Roboterantriebsmotors 22 auf der Grundlage der inversen Kinematik. Indem beispielsweise der Roboter 1 so gesteuert wird, dass sich das Werkzeug-Koordinatensystem an einer gewünschten Position und Ausrichtung befindet, kann das Arbeitswerkzeug so gesteuert werden, dass es sich an der gewünschten Position und Ausrichtung befindet.

[0027] Die tatsächliche Position und Ausrichtung des Roboters kann von der im Betriebsprogramm 46 angegebenen Position und Ausrichtung aufgrund von Produktionsfehlern bei den Komponenten des Roboters, Montagefehlern bei der Montage des Roboters, der Wirkung der Schwerkraft und dergleichen abweichen. In der vorliegenden Ausführungsform wird zusätzlich zum Betriebsprogramm 46 eine Vielzahl von Paramatern für Mechanismusfehler 49

zur Einstellung der Steuerung des Roboters 1 festgelegt. Die mehreren Paramater für Mechanismusfehler 49 werden in dem Speicherteil 42 gespeichert.

[0028] Die Paramater für Mechanismusfehler 49 umfassen alle Parameter, die Positions- und Orientierungsfehler beim Antrieb des Roboters 1 verursachen. Zu den Paramater für Mechanismusfehler 49 gehören Parameter wie die Länge einer Verbindung zwischen den Antriebsachsen, die Position jeder Antriebsachse, ein Übersetzungsfehler, der durch das Spiel des Untersetzungsgetriebes jeder Antriebsachse verursacht wird, und eine Variable, die die elastische Verformung der Verbindung betrifft, die durch die Schwerkraft verformt wird.

[0029] Zu den Paramater für Mechanismusfehler gehören zum Beispiel die DH-Parameter und die Fehler der DH-Parameter. Bei der Denavit-Hartenberg-Methode (DH) wird für jede Antriebsachse ein Koordinatensystem festgelegt, und die Position und Ausrichtung des Roboters kann anhand der Beziehung zwischen den Koordinatensystemen der Antriebsachsen ausgedrückt werden. Die DH-Parameter sind Parameter der DH-Methode. Zu den DH-Parametern gehört z. B. die Verbindungslänge.

[0030] Die Paramater für Mechanismusfehler umfassen auch eine Federkonstante für das Drehmoment um die Antriebsachse. Die Federkonstante ist ein Parameter, der sich auf den Betrag der Durchbiegung im Verhältnis zum Drehmoment bezieht. Zu den Fehlerparametern des Mechanismus gehört auch ein Fehler im Übersetzungsverhältnis des Untersetzungsgetriebes. Zu den Parametern für Mechanismusfehler gehört auch ein Fehler in der Position des Ursprungs des Basis-Koordinatensystems 71. Der Fehler in der Position des Ursprungs des Basis-Koordinatensystems wird durch einen Fehler im Drehwinkel oder Impulswert bestimmt, der vom Drehpositionsdetektor 19 ausgegeben wird. Diese Paramater für Mechanismusfehler können bei der Auslieferung des Roboters 1 in Abhängigkeit vom Aufstellungsort des Roboters 1 eingestellt werden.

[0031] Wie in **Fig.** 3 gezeigt, werden im Betriebsprogramm 46 die Position und die Ausrichtung des Roboters 1 durch einen Koordinatenwert des Basis-Koordinatensystems 71 bestimmt. Die Einheit zur Steuerung des Betriebs 43 berechnet einen Drehwinkel des Roboterantriebsmotors 22, so dass sich der Roboter 1 an der im Betriebsprogramm 46 festgelegten Position und Ausrichtung befindet, basierend auf der umgekehrten Kinematik. Zu diesem Zeitpunkt erfasst die Einheit zur Steuerung des Betriebs 43 die im Speicherteil 42 gespeicherten Parameter für Mechanismusfehler 49. Die Einheit zur Steuerung des Betriebs 43 berechnet einen Betriebsbefehl für den Roboterantriebsmotor 22 auf der Grundlage der einzelnen Parameter für Mechanismusfehler. Durch die Durchführung dieser Steuerung können die Position und die Ausrichtung des Roboters näher an die im Betriebsprogramm 46 angegebene Position und Ausrichtung gebracht werden.

[0032] Wie in **Fig.** 1 bis **Fig.** 3 gezeigt, umfasst das Robotersystem der vorliegenden Ausführungsform ein dreidimensionales Messgerät 8 zur genauen Messung der Position und Ausrichtung des Roboters 1. Das dreidimensionale Messgerät 8 in der vorliegenden Ausführungsform ist ein Laser-Tracker, der einen Laserstrahl aussendet und einen von den Reflektoren 67a und 67b reflektierten Laserstrahl empfängt. Das dreidimensionale Messgerät 8 umfasst einen Laserkopf 63, der einen Laserstrahl aussendet. Der Laserkopf 63 umfasst ein oszillierendes Teil 81, das den Laserstrahl aussendet, und ein Strahlempfangsteil 82, das den an den Reflektoren 67a und 67b reflektierten Laserstrahl empfängt. Das Strahlempfangsteil 82 befindet sich im Inneren des Laserkopfes 63.

[0033] Das dreidimensionale Messgerät 8 der vorliegenden Ausführungsform umfasst ein sich drehendes Gerät 64, das die Ausrichtung des Laserkopfes 63 ändert. Das sich drehende Gerät 64 umfasst einen Messgeräteantriebsmotor 84, der die Ausrichtung des Laserkopfes 63 ändert. Ein Drehpositionsdetektor 85, z. B. ein Encoder, ist an dem Messgeräteantriebsmotor 84 angebracht, um einen Drehwinkel des Messgeräteantriebsmotors 84 zu erfassen. Das sich drehende Gerät 64 der vorliegenden Ausführungsform dreht den Laserkopf 63 um eine Drehachse, die sich in horizontaler Richtung erstreckt, und um eine Drehachse, die sich in vertikaler Richtung erstreckt. Das sich drehende Gerät 64 wird von einem Stativ 65 getragen. Somit kann das dreidimensionale Messgerät 8 einen Laserstrahl in jede beliebige Richtung aussenden, indem es von dem sich drehenden Gerät 64 angetrieben wird.

[0034] Das dreidimensionale Messgerät 8 umfasst eine Recheneinheit mit einer CPU als Prozessor und einem RAM. Die Recheneinheit der dreidimensionalen Messvorrichtung 8 umfasst eine Einheit zur Berechnung der Position 83 zur Berechnung der Positionen der Reflektoren 67a und 67b. Die Einheit zur Berechnung der Position 83 entspricht einem Prozessor, der nach einem vorgegebenen Programm gesteuert wird. Die Einheit zur Berechnung der Position 83 der vorliegenden Ausführungsform berechnet einen Abstand von dem dreidimensionalen Messgerät 8 zu den Reflektoren 67a und 67b anhand der Phasendifferenz zwischen dem ausgesandten Laserstrahl und dem empfangenen Laserstrahl.

[0035] In der vorliegenden Ausführungsform wird für das dreidimensionale Messgerät 8 ein Messgeräte-Koordinatensystem 73 eingestellt. Das Messgeräte-Koordinatensystem 73 kann vom Bediener an einer beliebigen Stelle eingestellt werden. Der Ursprung des Messgeräte-Koordinatensystems 73 kann an einer beliebigen Stelle innerhalb des dreidimensionalen Messgeräts 8 liegen. Beispielsweise kann der Ursprung des Messgeräte-Koordinatensystems 73 am distalen Ende einer Laserstrahlquelle im Laserkopf 63 liegen.

[0036] Das Messgeräte-Koordinatensystem 73 umfasst Koordinatenachsen mit einer X-, Y- und Z-Achse, die senkrecht zueinander stehen. Die Ausrichtung des Messgeräte-Koordinatensystems 73 kann beliebig gewählt werden. Das Messgeräte-Koordinatensystem 73 ist ein Koordinatensystem, in dem die Position des Nullpunkts und die Ausrichtung der Koordinatenachsen festgelegt sind. Die Position und die Ausrichtung des Messgeräte-Koordinatensystems 73 ändern sich auch dann nicht, wenn sich die Ausrichtung des Laserkopfes 63 ändert.

[0037] Die Reflektoren 67a und 67b sind in der vorliegenden Ausführungsform kugelförmig. Die Reflektoren 67a und 67b sind so geformt, dass sie den Laserstrahl in dieselbe Richtung reflektieren wie der einfallende Laserstrahl. Die Reflektoren 67a und 67b werden mit Hilfe eines Begrenzungsbandes, eines Magneten oder ähnlichem in der gewünschten Position fixiert.

[0038] Das sich drehende Gerät 64 des dreidimensionalen Messgeräts 8 stellt die Ausrichtung des Laserkopfes 63 so ein, dass der Laserstrahl nach der Reflexion durch die Reflektoren 67a, 67b zum Laserkopf 63 zurückkehrt. Der Bediener kann die Ausrichtung des Laserkopfes 63 durch manuelle Betätigung des sich drehenden Geräts 64 einstellen. Alternativ kann das dreidimensionale Messgerät 8 eine automatische Suchfunktion für die Abtastung des Laserstrahls enthalten, so dass er in einem kreisförmigen Muster austritt. In diesem Fall stellt der Bediener die ungefähre Ausrichtung des Laserkopfes 63 so ein, dass der von dem dreidimensionalen Messgerät 8 ausgesandte Laserstrahl auf die Reflektoren 67a, 67b gerichtet ist. Danach kann das dreidimensionale Messgerät 8 die Ausrichtung des Laserkopfes 63 so einstellen, dass der von den Reflektoren 67a, 67b reflektierte Laserstrahl durch die automatische Suchfunktion zum Laserkopf 63 zurückkehrt.

[0039] Das sich drehende Gerät 64 kann die Ausrichtung des Laserkopfes 63 im Messgeräte-Koordinatensystem 73 anhand der Ausgabe des Drehpositionsdetektors 85 ermitteln. Durch den Empfang des von den Reflektoren 67a und 67b reflektierten Strahls berechnet die Einheit zur Berechnung der Position 83 den Abstand zwischen des dreidimensionalen Messgeräts 8 und den Reflektoren 67a und 67b. Die Einheit zur Berechnung der Position 83 kann dann auf der Grundlage des berechneten Abstands und der Ausrichtung des Laserkopfs 63 die Position der Reflektoren 67a, 67b im Messgeräte-Koordinatensystem 73 berechnen.

[0040] Gemäß **Fig.** 2 und **Fig.** 3 kalibriert ein Kalibrierungsgerät in der vorliegenden Ausführungsform die Parameter für Mechanismusfehler zur Einstellung der Steuerung des Roboters 1. Das Kalibrierungsgerät in der vorliegenden Ausführungsform umfasst die Steuerung 4. Die Steuerung 4 umfasst eine Verarbeitungseinheit 51, die die Steuerung zur Kalibrierung der Parameter für Mechanismusfehler 49 durchführt. Die Verarbeitungseinheit 51 umfasst eine Einheit zur Einstellung des Referenz-Koordinatensystems 53, die ein Referenz-Koordinatensystem 72 in dem Bereich, in dem der Roboter 1 angeordnet ist, basierend auf dem Ausgang des dreidimensionalen Messgeräts 8 einstellt. Das Referenz-Koordinatensystem 72 kann so bestimmt werden, dass es nicht vom Betrieb des Roboters und einem Installationszustand des Roboters abhängt. Der Installationszustand des Roboters 1 umfasst eine Position, an der der Roboter 1 installiert ist, und die Gesamtneigung des Roboters 1 in Bezug auf die Oberfläche, an der der Roboter 1 installiert ist. Das Referenz-Koordinatensystem 72 kann als unbewegliches Koordinatensystem eingestellt werden.

[0041] Die Verarbeitungseinheit 51 umfasst eine Einheit zur Erfassung der Position 52, die die Position des Roboters im Referenz-Koordinatensystem 72 erfasst. Die Verarbeitungseinheit 51 umfasst eine Einheit zur Berechnung der Parameter 54, die die Parameter für Mechanismusfehler 49 auf der Grundlage der Position des Roboters im Referenz-Koordinatensystem 72 berechnet. Die Verarbeitungseinheit 51 umfasst auch eine Einheit zur Berechnung von Matrizen 55, die eine Transformationsmatrix zur Umwandlung eines Koordinatenwertes des für den Roboter 1 eingestellten Koordinatenwertes des Basis-Koordinatensystems 71 und des Koordinatenwertes des Referenz-Koordinatensystems 72 in den anderen Koordinatenwert berechnet. Die Verarbeitungseinheit 51 enthält eine Einheit zur Bestimmung der Wartung 56, die die Genauigkeit der Position des Roboters in Bezug auf den Befehlswert des Betriebsprogramms 46 auswertet.

[0042] Die Verarbeitungseinheit 51 führt die Verarbeitung auf der Grundlage eines vorgegebenen Kalibrierungsprogramms 48 durch. Die Verarbeitungseinheit 51 entspricht einem Prozessor, der entsprechend dem Kalibrierungsprogramm 48 gesteuert wird. Jede Einheit der Einheit zur Erfassung der Position 52, der Einheit zur Einstellung des Referenz-Koordinatensystems 53, der Einheit zur Berechnung

von Parametern 54, der Einheit zur Berechnung von Matrizen 55 und der Einheit zur Bestimmung der Wartung 56 entspricht einem Prozessor, der entsprechend dem Kalibrierungsprogramm 48 gesteuert wird. Durch die Durchführung der im Kalibrierungsprogramm 48 vorgegebenen Steuerung funktioniert der Prozessor als jede Einheit.

[0043] Das Kalibrierungsgerät der vorliegenden Ausführungsform umfasst ein Hilfsglied 61 zur Einstellung des Referenz-Koordinatensystems 72 und den Reflektor 67a als ein Element, das als Referenzpunkt dient. Das Hilfsglied 61 trägt eine Vielzahl von Reflektoren 67a. Das Hilfsglied 61 ist in dem Bereich angeordnet, in dem das Robotersystem installiert ist. Das Hilfsglied 61 kann in der Nähe des Roboters 1 angeordnet sein, der die Kalibrierung durchführt. Das Hilfsglied 61 der vorliegenden Ausführungsform umfasst eine Basis 61a als Plattform und ein aufrechtes Teil 61b, das von der Basis 61a aufgerichtet wird. Das aufgerichtete Teil 61b erstreckt sich in vertikaler Richtung nach oben.

[0044] Der Reflektor 67a ist an einer Ecke auf der Oberseite der Basis 61a angeordnet. Außerdem ist der Reflektor 67a an der Oberseite einiger aufgerichteter Teile 61b aus der Vielzahl der aufgerichteten Teile 61b angeordnet. Somit ist das Hilfsglied 61 so geformt, dass es die Reflektoren 67a an einer Vielzahl von voneinander verschiedenen Positionen trägt. Das Hilfsglied 61 ist nicht auf diese Form beschränkt, und es kann ein Element verwendet werden, das eine Vielzahl von Reflektoren 67a hält.

[0045] Das Hilfsglied 61 kann ein Element sein, das sich in dem Bereich, in dem der Roboter 1 installiert ist, nicht bewegt, so dass sich die Positionen der mehreren Reflektoren 67a nicht ändern. Beispielsweise kann ein Regal oder ein Zaun, der in dem Bereich installiert ist, in dem das Robotersystem angeordnet ist, als Hilfselement für die Anbringung der Reflektoren verwendet werden.

[0046] Bei der Einstellung des Referenz-Koordinatensystems 72 berechnet die Einheit zur Berechnung der Position 83 des dreidimensionalen Messgeräts 8 die Positionen einer Vielzahl von Reflektoren 67a durch das Messgeräte-Koordinatensystem 73. Die Anzahl der zu messenden Reflektoren 67a kann vorgegeben werden.

[0047] Die Einheit zur Einstellung des Referenz-Koordinatensystems 53 der Verarbeitungseinheit 51 stellt das Referenz-Koordinatensystem 72 basierend auf den Positionen der Reflektoren 67a ein. Die Position des Ursprungs des Referenz-Koordinatensystems 72 und die Ausrichtung des Referenz-Koordinatensystems 72 können auf eine vorbestimmte relative Position und Ausrichtung in Bezug auf die gemessenen Positionen der mehreren Reflektoren 67a eingestellt werden. Im vorliegenden Beispiel wird ein Referenz-Koordinatensystem 72 so eingestellt, dass der Ursprung bei einem Reflektor 67a angeordnet ist.

[0048] So kann die Einheit zur Einstellung des Referenz-Koordinatensystems 53 auf der Grundlage der von dem dreidimensionalen Messgerät 8 gemessenen Position des Referenzpunktes das Referenz-Koordinatensystem 72 im dreidimensionalen Raum einstellen. Die Einheit zur Einstellung des Referenz-Koordinatensystems 53 kann das Referenz-Koordinatensystem 72 mit dem Koordinatenwert des Messgeräte-Koordinatensystems 73 einstellen. Das Referenz-Koordinatensystem 72 wird auf der Grundlage der Positionen einer Vielzahl von Reflektoren 67a bestimmt. Zu diesem Zweck kann das dreidimensionale Messgerät 8 durch Beibehaltung der gleichen Positionen der Reflektoren 67a die Positionen der Reflektoren 67a aus jeder Richtung messen. Das gleiche Referenz-Koordinatensystem 72 kann dann auf der Grundlage der relativen Positionen und Ausrichtungen in Bezug auf die Vielzahl der Reflektoren 67a reproduziert werden.

[0049] In der vorliegenden Ausführungsform befindet sich ein Reflektor 67b am distalen Ende der festen Elektrode, der dem Werkzeugmittelpunkt der Schweißzange 2 entspricht. Somit entspricht die Position des Reflektors 67b der Position des Roboters 1. Die Einheit zur Berechnung der Position 83 des dreidimensionalen Messgeräts 8 kann die Position des Reflektors 67b im Messgeräte-Koordinatensystem 73 messen. Die Einheit zur Erfassung der Position 52 kann dann anhand der Position des Reflektors 67b im Messgeräte-Koordinatensystem 73 die Position des Roboters 1 im Referenz-Koordinatensystem 72 berechnen.

[0050] Fig. 4 zeigt ein Flussdiagramm einer ersten Steuerung zur Kalibrierung der Parameter für Mechanismusfehler in der vorliegenden Ausführungsform. Die erste Steuerung kalibriert die Parameter für Mechanismusfehler nach dem Austausch des Roboters 1. Wenn ein Roboter über einen längeren Zeitraum eingesetzt wird, kann z. B. der gesamte Roboter ausgetauscht werden.

[0051] In der vorliegenden Ausführungsform wird ein erster Zustand des Roboters in Bezug auf die Kalibrierung der Parameter für Mechanismusfehler definiert. In der vorliegenden Ausführungsform wird der erste Zustand als der Referenzzustand des Roboters vor der Kalibrierung der Parameter für Mechanismusfehler definiert. Ferner wird ein zweiter Zustand nach dem ersten Zustand definiert. Der zweite Zustand umfasst einen Zustand zur Kalibrierung der Parameter für Mechanismusfehler oder einen Zustand zur Entscheidung, ob die Parameter

für Mechanismusfehler kalibriert werden sollen oder nicht.

[0052] Bei der ersten Steuerung ist der erste Zustand ein Zustand, bevor ein alter Roboter ersetzt wird. Der zweite Zustand ist ein Zustand nach dem Austausch des Roboters durch einen neuen Roboter. In der vorliegenden Ausführungsform wird der Roboter vor dem Auswechseln als erster Roboter und der Roboter nach dem Auswechseln als zweiter Roboter bezeichnet. Bei der ersten Steuerung kann der erste Zustand der Zustand unmittelbar vor dem Austausch des ersten Roboters sein. Alternativ kann der erste Zustand ein Zustand unmittelbar nach der Kalibrierung der Fehlerparameter des Mechanismus zu einem beliebigen Zeitpunkt nach der Installation des ersten Roboters sein.

[0053] Unter Bezugnahme auf **Fig.** 2 bis **Fig.** 4 wird in Schritt 101 ein Referenz-Koordinatensystem 72 durch Messung des dreidimensionalen Messgeräts 8 in einem vorbestimmten ersten Zustand nach der Installation eines ersten Roboters 1 erzeugt. Der erste Zustand kann ein Zustand sein, in dem der Roboter mit hoher Genauigkeit in Bezug auf den Sollwert gefahren wird. Das dreidimensionale Messgerät 8 wird in einem beliebigen Bereich angeordnet, in dem der Roboter 1 angeordnet ist, und die Position des Reflektors 67a wird gemessen. Die Einheit zur Einstellung des Referenzkoordinatensystems 53 erzeugt das Referenz-Koordinatensystem 72 mit dem Koordinatenwert im Messgeräte-Koordinatensystem 73.

[0054] In Schritt 102 steuert die Verarbeitungseinheit 51 den Roboter 1 mit den Sollwerten eines vorgegebenen Betriebsprogramms. Der Befehlswert für die Position und Ausrichtung des Roboters im Betriebsprogramm wird durch den Koordinatenwert im Basis-Koordinatensystem 71 angegeben. Zum Beispiel wird der Roboter 1 mit dem Befehlswert des Betriebsprogramms zur Durchführung der Kalibrierung gesteuert. In dem in **Fig.** 2 dargestellten Beispiel wird der Reflektor 67b an einem Messpunkt 76 angeordnet, indem der Roboter 1 mit einem Befehlswert gesteuert wird. Wenn der Roboter 1 anhält, berechnet die Einheit zur Berechnung der Position 83 des dreidimensionalen Messgeräts 8 die Position des Reflektors 67b im Messgeräte-Koordinatensystem 73. Die Einheit zur Erfassung der Position 52 wandelt den Koordinatenwert der Position des Reflektors 67b im Messgeräte-Koordinatensystem 73 in den Koordinatenwert der Position im Referenz-Koordinatensystem 72 um. In diesem Beispiel entspricht die Position des Reflektors 67b der Position des Roboters. Die Einheit zur Erfassung der Position 52 ermittelt also den Koordinatenwert der Position des Roboters im Referenz-Koordinatensystem 72 auf der Grundlage der Ausgabe des dreidimensionalen Messgeräts 8.

[0055] Die Verarbeitungseinheit 51 wiederholt die Steuerung zum Erfassen der Position des Roboters in Bezug auf den Befehlswert. Die Verarbeitungseinheit 51 steuert den Roboter 1 mit einer Vielzahl von Sollwerten an. Wenn der Reflektor 67b an jedem Messpunkt 76 angeordnet ist, erfasst die Einheit zur Erfassung der Position 52 den Koordinatenwert für die Position des Roboters im Referenz-Koordinatensystem 72. Der Speicherteil 42 speichert eine Vielzahl von Befehlswerten und die Koordinatenwerte einer Vielzahl von Positionen der Roboter im Referenz-Koordinatensystem entsprechend der Vielzahl von Befehlswerten. Um die Parameter für Mechanismusfehler genau zu messen, ist es vorteilhaft, beispielsweise an Dutzenden von Messpunkten 76 zu messen.

[0056] Anschließend wird in Schritt 103 der erste Roboter 1 durch einen zweiten Roboter 3 ersetzt. In der vorliegenden Ausführungsform erfolgt der Austausch gegen einen Roboter desselben Herstellers und derselben Modellnummer. Zu diesem Zeitpunkt ist es vorteilhaft, den zweiten Roboter so zu installieren, dass die Position auf der Installationsfläche und die Neigung zur Installationsfläche des zweiten Roboters der Position und Neigung des ersten Roboters so ähnlich wie möglich sind.

[0057] **Fig.** 5 zeigt eine perspektivische Ansicht des Robotergeräts, des dreidimensionalen Messgeräts und des Hilfsglieds, wenn ein neuer Roboter installiert wird. Anstelle des ersten Roboters 1 wird der zweite Roboter 3 auf dem Boden installiert. Vorzugsweise wird der Roboter 3 in der gleichen Position und Neigung wie der Roboter 1 installiert. Aufgrund von Produktionsfehlern und individuellen Unterschieden in der Roboterproduktion kann die erreichte Position jedoch von den Sollwerten des Betriebsprogramms abweichen. Aus diesem Grund wird eine Kalibrierung der Parameter für Mechanismusfehler des zweiten Roboters 3 durchgeführt.

[0058] Bezugnehmend auf **Fig.** 4 und **Fig.** 5 erzeugt die Einheit zum Einstellen des Referenz-Koordinatensystems 53 in Schritt 104, nachdem der zweite Roboter 3 installiert ist, das Referenz-Koordinatensystem 72 unter Verwendung der Ausgabe des dreidimensionalen Messgeräts 8. In diesem Beispiel unterscheidet sich die Position des dreidimensionalen Messgeräts 8 von der in **Fig.** 2 dargestellten Position. Durch die Messung der Positionen einer Vielzahl von vorbestimmten Reflektoren 67a kann jedoch ein Referenz-Koordinatensystem 72 mit der gleichen Position und Orientierung in Bezug auf eine Vielzahl von Reflektoren 67a reproduziert werden. Mit anderen Worten, ein Referenz-Koordinatensystem mit der gleichen Position und Orientierung wie das für den ersten Roboter 1 verwendete Referenz-Koordinatensystem kann wiederhergestellt werden.

[0059] Als Nächstes, in Schritt 105, steuert die Verarbeitungseinheit 51 den zweiten Roboter 3 mit demselben Befehlswert an wie der Befehlswert des für den ersten Roboter 1 verwendeten Betriebsprogramms. Durch den Antrieb des Roboters 3 mit einer Vielzahl von Befehlswerten bewegt sich der Reflektor 67b zu einem Messpunkt 77. Die Position des Messpunkts 77 kann von der Position des Messpunkts 76 des ersten Roboters 1 in **Fig.** 2 abweichen. Wenn der Reflektor 67b an jedem Messpunkt 77 angeordnet ist, erfasst die Einheit zur Erfassung der Position 52 den Koordinatenwert des Messpunkts 77 im Referenz-Koordinatensystem als Position des Roboters 3 unter Verwendung der Ausgabe des dreidimensionalen Messgeräts 8. Mit anderen Worten, wenn der zweite Roboter 3 mit demselben vorbestimmten Befehlswert wie der erste Roboter 1 gefahren wird, erfasst die Einheit zur Erfassung der Position 52 die Position des Reflektors 67b im Referenz-Koordinatensystem 72.

[0060] In Schritt 106 berechnet die Einheit zur Berechnung von Parametern 54 die Parameter für Mechanismusfehler des zweiten Roboters 3. Die Parameterberechnungseinheit 54 berechnet die Parameter für Mechanismusfehler des zweiten Roboters 3 so, dass die Position des Roboters im Referenz-Koordinatensystem 72 des zweiten Roboters 3 (die Position des Messpunkts 77) mit der Position des Roboters im Referenz-Koordinatensystem 72 des ersten Roboters 1 (die Position des Messpunkts 76) übereinstimmt. Mit anderen Worten, wenn der zweite Roboter 3 mit demselben Befehlswert wie der erste Roboter 1 angetrieben wird, werden die Parameter für Mechanismusfehler des zweiten Roboters 3 so berechnet, dass der Werkzeugmittelpunkt dieselbe Position erreicht.

[0061] Die Einheit zur Berechnung von Parametern 54 kann die Parameter für Mechanismusfehler durch die Methode der kleinsten Quadrate so einstellen, dass z.B. beim Antrieb des Roboters mit einer Vielzahl von Befehlswerten der Fehler in der Position des zweiten Roboters 3 in Bezug auf die Position des ersten Roboters 1 klein wird. Die Einheit zur Berechnung von Parametern 54 kann eine Vielzahl von Konstanten berechnen, die in den Parameter für Mechanismusfehler enthalten sind. Alternativ kann die Einheit zur Berechnung von Parametern 54 die in den Parameter für Mechanismusfehler enthaltenen Variablen zufällig ändern und Variablen annehmen, die die Differenz zwischen der Position des zweiten Roboters 3 und der Position des ersten Roboters 1 für denselben Befehlswert verringern.

[0062] Die Verarbeitungseinheit 51 kann das Speicherteil 42 veranlassen, die von der Einheit zur Berechnung von Parametern 54 berechneten neuen Parameter für Mechanismusfehler zu speichern. Wenn der zweite Roboter 3 Punktschweißen durchführt, kann der Roboter 3 unter Verwendung neuer Parameter für Mechanismusfehler gesteuert werden. Infolgedessen kann der zweite Roboter 3 so gesteuert werden, dass er fast die gleiche Position und Ausrichtung wie der erste Roboter 1 einnimmt, ohne dass das Einlernen für den zweiten Roboter 3 erneut durchgeführt werden muss.

[0063] **Fig.** 6 zeigt ein Flussdiagramm einer zweiten Steuerung zur Kalibrierung der Parameter für Mechanismusfehler in der vorliegenden Ausführungsform. Bei der zweiten Steuerung werden die Parameter für Mechanismusfehler kalibriert, wenn einige Komponenten des Roboters ausgetauscht werden. Beim Einsatz eines Roboters können einige Komponenten des Roboters ausfallen. Zum Beispiel kann ein Zahnrad eines Untersetzungsgetriebes mit der Zeit verschleißen. Oder die Kraft eines Arms kann nachlassen, und die Durchbiegung des Arms kann zunehmen. In solchen Fällen wird die Kalibrierung der Parameter für Mechanismusfehler durchgeführt, nachdem einige Komponenten des Roboters ausgetauscht worden sind.

[0064] Bei der zweiten Steuerung ist ein erster Zustand der Zustand, bevor einige Komponenten des Roboters ausgetauscht werden. Ein zweiter Zustand ist der Zustand nach dem Austausch einiger Bauteile des Roboters. Insbesondere ist der zweite Zustand ein Zustand, in dem sich einige der Komponenten des Roboters verschlechtern. In diesem Zusammenhang wird der Fall des Austauschs des Oberarms unter den Komponenten des Roboters als Beispiel beschrieben. Die auszutauschenden Komponenten sind nicht auf den Oberarm beschränkt, sondern können beispielsweise ein Handgelenk, einen Drehpositionsdetektor, einen Motor oder ein Untersetzungsgetriebe umfassen.

[0065] Bei der zweiten Steuerung sind die Schritte 101 und 102 die gleichen wie bei der ersten Steuerung (siehe **Fig.** 4). Der erste Roboter 1 wird durch eine Vielzahl von Befehlswerten gesteuert, und die Position des Roboters im Referenz-Koordinatensystem 72 wird gespeichert. Als nächstes wird in Schritt 111 der obere Arm 11 des ersten Roboters 1 ausgetauscht. Dann, in Schritt 112, reproduziert die Einheit zur Einstellung des Referenz-Koordinatensystems 53 das Referenz-Koordinatensystem 72 durch die Ausgabe des dreidimensionalen Messgeräts 8 nach dem Austausch des oberen Arms 11.

[0066] Im nächsten Schritt 113 steuert die Verarbeitungseinheit 51 den ersten Roboter 1 mit denselben Befehlswerten wie vor dem Austausch des oberen Arms 11. Die Einheit zur Erfassung der Position 52 erfasst die Position des Reflektors 67b im Referenz-Koordinatensystem 72. Mit anderen Worten, die Einheit zur Erfassung der Position 52 erfasst die Posi-

tion des ersten Roboters 1 mit einem neuen oberen Arm.

[0067] Als nächstes, in Schritt 114, berechnet die Einheit zur Berechnung von Parametern 54 die Parameter für Mechanismusfehler des ersten Roboters 1. Zu diesem Zeitpunkt, wie in der ersten Steuerung, berechnet die Einheit zur Berechnung von Parametern 54 die Parameter für Mechanismusfehler so, dass die Position des Roboters im Referenz-Koordinatensystem 72 nach dem Austausch des oberen Arms 11 mit der Position des Roboters im Referenz-Koordinatensystem 72 vor dem Austausch des oberen Arms 11 übereinstimmt. Mit anderen Worten, wenn der Roboter mit demselben Befehlswert angetrieben wird, werden die Parameter für Mechanismusfehler so berechnet, dass der Werkzeugmittelpunkt des Roboters dieselbe Position erreicht.

[0068] Somit kann dieselbe Kalibrierungssteuerung durchgeführt werden, wenn der gesamte Roboter ausgetauscht wird und wenn einige Komponenten des Roboters ausgetauscht werden. Das Kalibrierungsgerät in der vorliegenden Ausführungsform kann den Parameter für Mechanismusfehler leicht kalibrieren, so dass die Änderung der vom Roboter erreichten Position auch nach dem Austausch des Roboters oder der Komponenten des Roboters gering ist.

[0069] Insbesondere beim Austausch des gesamten Roboters kommt es aufgrund der Neigung der Oberfläche, auf der der Roboter installiert ist, zu Fehlern bei der Position oder Neigung der Roboterinstallation. Durch die Korrektur der Parameter für Mechanismusfehler kann die vom Roboter nach dem Austausch erreichte Position jedoch leicht an die vom Roboter vor dem Austausch erreichte Position angenähert werden.

[0070] Durch die Durchführung der ersten Steuerung und der zweiten Steuerung kann eine Änderung der vom Werkzeugmittelpunkt des Roboters erreichten Position in einem Arbeitsprogramm unterdrückt werden. Aus diesem Grund kann das gleiche Arbeitsprogramm nach dem Austausch des Bauteils oder des Roboters verwendet werden. Mit anderen Worten, dasselbe Betriebsprogramm kann nach dem Austausch des gesamten Roboters oder nach dem Austausch von Roboterkomponenten verwendet werden, ohne dass die Einlern-Arbeiten zum Einlernen der Position des Roboters im Betriebsprogramm erneut durchgeführt werden müssen.

[0071] Als nächstes wird die dritte Steuerung in dem Kalibrierungsgerät in der vorliegenden Ausführungsform beschrieben. Bei der dritten Steuerung werden die Parameter für Mechanismusfehler kalibriert, nachdem der gesamte Roboter ausgetauscht wurde. Vor dem Austausch des Roboters kann die Beziehung zwischen dem Befehlswert (der Position des Roboters im Basis-Koordinatensystem) und der Position des Roboters im Referenz-Koordinatensystem berechnet werden. Mit anderen Worten, das Verhältnis der relativen Position und Orientierung zwischen dem Basis-Koordinatensystem und dem Referenz-Koordinatensystem kann berechnet werden. In der dritten Steuerung werden die Parameter für Mechanismusfehler im zweiten Zustand unter Verwendung der Transformationsmatrix des Referenz-Koordinatensystems 72 aus Sicht des Basis-Koordinatensystems 71 im ersten Zustand kalibriert.

[0072] Fig. 7 zeigt eine perspektivische Ansicht, wenn die Koordinatenwerte der Position des Roboters mit einem dreidimensionalen Messgerät gemessen werden. Im ersten Zustand fährt die Verarbeitungseinheit 51 den Roboter 1 auf der Grundlage eines vorgegebenen Befehlswertes. Die Einheit zur Erfassung der Position 52 erfasst die Position jedes Messpunkts 76, der der Position des Roboters 1 entspricht, im Referenz-Koordinatensystem 72. Um eine genaue Transformationsmatrix zu berechnen, ist es vorteilhaft, beispielsweise an Dutzenden von Messpunkten 76 zu messen.

[0073] Dabei wird davon ausgegangen, dass sich die Position jedes Messpunkts 76 auf einem Koordinatenwert P_0 im Referenz-Koordinatensystem 72 befindet. Die Matrix des Referenz-Koordinatensystems 72 aus der Sicht des Basis-Koordinatensystems 71 wird als Transformationsmatrix Ac angenommen. Eine inverse Matrix Ac^{-1} der Transformationsmatrix Ac ist eine Matrix, die den Koordinatenwert des Basis-Koordinatensystems 71 in den Koordinatenwert des Referenz-Koordinatensystems 72 umwandelt. Wenn der Messpunkt 76 im Basis-Koordinatensystem 71, d. h. die Position des Roboters für den Befehlswert, ein Koordinatenwert P_1 ist, gilt die folgende Gleichung (1).

$$P_0 = Ac^{-1}P_1 \qquad (1)$$

[0074] Unter Bezugnahme auf **Fig.** 3 und **Fig.** 7 erfasst die Einheit zur Berechnung von Matrizen 55 der Verarbeitungseinheit 51 den Koordinatenwert P_1 des im Basis-Koordinatensystem 71 ausgedrückten Befehlswerts. Wenn der Roboter 1 auf der Grundlage des Befehlswertes gefahren wird, erfasst die Einheit zur Berechnung von Matrizen 55 den Koordinatenwert P_0 im Referenz-Koordinatensystem 72 jedes Messpunktes 76 von der Einheit zur Erfassung der Position 52. Die Einheit zur Berechnung von Matrizen 55 berechnet die Transformationsmatrix Ac basierend auf dem Koordinatenwert P_0 der Position jedes Messpunkts 76 im Referenz-Koordinatensystem und dem Koordinatenwert P_1 des Befehlswerts. Wenn beispielsweise der Koordinatenwert im Referenz-Koordinatensystem 72 aus dem Koordinaten-

wert P_1 unter Verwendung der Transformationsmatrix Ac berechnet wird, kann die Transformationsmatrix Ac durch die Methode der kleinsten Quadrate so berechnet werden, dass der Fehler (Abstand) zwischen diesem Koordinatenwert und dem Koordinatenwert P_0 minimiert wird. Alternativ kann, wenn der Koordinatenwert P_0 im Referenz-Koordinatensystem 72 in den Koordinatenwert im Basis-Koordinatensystem unter Verwendung der Transformationsmatrix Ac umgewandelt wird, die Transformationsmatrix Ac durch die Methode der kleinsten Quadrate so berechnet werden, dass der Fehler (Abstand) zwischen diesem Koordinatenwert und dem Sollwert des Roboters minimiert wird.

[0075] Die Transformationsmatrix Ac kann beispielsweise eine homogene 4 Zeilen × 4 Spalten große Transformationsmatrix sein. Mit anderen Worten, es kann eine Matrix verwendet werden, die die Rotation und Translation des Koordinatensystems beinhaltet. Das Speicherteil 42 speichert die berechnete Transformationsmatrix Ac. Somit kann die Verarbeitungseinheit 51 die Transformationsmatrix Ac im ersten Zustand berechnen.

[0076] In der vorliegenden Ausführungsform wird eine Transformationsmatrix berechnet, die den Koordinatenwert des Basis-Koordinatensystems 71 in den Koordinatenwert des Referenz-Koordinatensystems 72 umwandelt, ist aber nicht auf diese Form beschränkt. Die Einheit zur Berechnung von Matrizen kann eine Transformationsmatrix berechnen, die den Koordinatenwert des Referenz-Koordinatensystems in den Koordinatenwert des Basis-Koordinatensystems umwandelt. Mit Hilfe dieser Matrix kann der Koordinatenwert des Referenz-Koordinatensystems auch in den Koordinatenwert des Basis-Koordinatensystems umgewandelt werden, oder der Koordinatenwert des Basis-Koordinatensystems kann in den Koordinatenwert des Referenz-Koordinatensystems umgewandelt werden.

[0077] **Fig.** 8 zeigt ein Flussdiagramm der dritten Steuerung zur Kalibrierung des Parameters für Mechanismusfehler in der vorliegenden Ausführungsform. Unter Bezugnahme auf **Fig.** 3, **Fig.** 7 und **Fig.** 8 sind die Schritte 101 und 102 die gleichen wie bei der ersten Steuerung in der vorliegenden Ausführungsform (siehe **Fig.** 4). Der Koordinatenwert des Messpunktes 76 im Referenz-Koordinatensystem 72 (Position des Roboters 1) wird erfasst, indem der erste Roboter 1 mit einer Vielzahl von Befehlswerten gefahren wird, bevor der Roboter 1 ausgetauscht wird. Im ersten Zustand erfasst die Einheit zur Erfassung der Position 52 eine Vielzahl von Positionen des Roboters im Referenz-Koordinatensystem 72, wenn der Roboter 1 auf der Grundlage der Vielzahl von Befehlswerten des Roboters 1 angetrieben wird.

[0078] Als nächstes, in Schritt 121, berechnet die Einheit zur Berechnung von Matrizen 55 im ersten Zustand die Transformationsmatrix Ac basierend auf einer Vielzahl von Befehlswerten des ersten Roboters 1 und einer Vielzahl von Positionen des ersten Roboters 1 im Referenz-Koordinatensystem 72. Das Speicherteil 42 speichert die Transformationsmatrix Ac. Dann wird in Schritt 122 der erste Roboter durch den zweiten Roboter ersetzt. Das Robotergerät 5 geht in den zweiten Zustand über.

[0079] **Fig.** 9 zeigt eine perspektivische Ansicht des Roboters, des dreidimensionalen Messgeräts und des Hilfsglieds nach dem Austausch des ersten Roboters durch den zweiten Roboter. Unter Bezugnahme auf **Fig.** 3, **Fig.** 8 und **Fig.** 9 reproduziert die Einheit zur Einstellung des Referenz-Koordinatensystems 53 in Schritt 123 nach der Installation des zweiten Roboters 3 das Referenz-Koordinatensystem 72 auf der Grundlage der Ausgabe des dreidimensionalen Messgeräts 8.

[0080] In Schritt 124 wird der zweite Roboter 3 mit einer Vielzahl von Befehlswerten angetrieben. Die zu diesem Zeitpunkt im Basis-Koordinatensystem 71 angegebenen Befehlswerte können sich von den Befehlswerten beim Fahren des ersten Roboters 1 unterscheiden. Der zweite Roboter 3 kann mit einer beliebigen Anzahl von Befehlswerten angetrieben werden. **Fig.** 9 zeigt die Messpunkte 77, die vom Werkzeugmittelpunkt erreicht werden, wenn der zweite Roboter 3 mit einer Vielzahl von Befehlswerten angetrieben wird. Um genaue Parameter für Mechanismusfehler zu berechnen, ist es vorteilhaft, z. B. an Dutzenden von Messpunkten 77 zu messen.

[0081] An jeder Position des Roboters 3 erfasst die Einheit zur Berechnung der Position 83 des dreidimensionalen Messgeräts 8 die Position jedes Messpunktes 77 anhand des Koordinatenwertes des Messgeräte-Koordinatensystems 73. Die Einheit zur Erfassung der Position 52 rechnet den im Messgeräte-Koordinatensystem 73 berechneten Koordinatenwert der Position des Messpunktes 77 in den Koordinatenwert P_0 des Messpunktes 77 im Referenz-Koordinatensystem 72 um. Mit anderen Worten, die Einheit zur Erfassung der Position 52 erfasst eine Vielzahl von Positionen des Roboters im Referenz-Koordinatensystem 72.

[0082] Als nächstes, in Schritt 125, konvertiert die Einheit zur Berechnung von Parametern 54 den Koordinatenwert des Messpunkts 77 im Referenz-Koordinatensystem 72 in den Koordinatenwert im Basis-Koordinatensystem 71 des ersten Roboters 1 unter Verwendung der Transformationsmatrix Ac. Mit anderen Worten, die theoretische Position des Roboters im Basis-Koordinatensystem 71 des ersten Roboters 1 wird aus der Position des zweiten Roboters auf der Grundlage des Referenz-Koordinaten-

systems 72 unter Verwendung der obigen Gleichung (1) berechnet.

[0083] Als nächstes, in Schritt 126, berechnet die Einheit zur Berechnung von Parametern 54 den Parametern für Mechanismusfehler des zweiten Roboters 3. Die Einheit zur Berechnung von Parametern 54 erfasst den Befehlswert des zweiten Roboters 3. Die Einheit zur Berechnung von Parametern 54 berechnet den Parameter für Mechanismusfehler so, dass der Befehlswert des zweiten Roboters 3 mit dem Koordinatenwert der theoretischen Position des Roboters im Basis-Koordinatensystem 71 des ersten Roboters 1 übereinstimmt. Diese Steuerung ermöglicht es der Einheit zur Berechnung von Parametern 54, die Parameter für Mechanismusfehler so zu berechnen, dass die vom zweiten Roboter 3 erreichte Position im Referenz-Koordinatensystem mit der vom ersten Roboter 1 erreichten Position im Referenz-Koordinatensystem übereinstimmt. Zum Beispiel berechnet die Einheit zur Berechnung von Parametern 54 den Parameter für Mechanismusfehler durch die Methode der kleinsten Quadrate, so dass der Fehler (Abstand) zwischen dem Befehlswert des zweiten Roboters 3 und dem Koordinatenwert der theoretischen Position im Basis-Koordinatensystem des ersten Roboters 1 minimiert wird.

[0084] So kann in der dritten Steuerung die im ersten Zustand gewonnene Transformationsmatrix Ac gespeichert werden. Im zweiten Zustand kann mit Hilfe der Transformationsmatrix Ac die Position des Roboters im Referenz-Koordinatensystem in die theoretische Position des Basis-Koordinatensystems im ersten Zustand umgerechnet werden. Dann kann der Parameter für Mechanismusfehler so berechnet werden, dass die durch den Befehlswert des zweiten Roboters erreichte Position mit der theoretischen Position übereinstimmt. Alternativ kann im zweiten Zustand der Befehlswert des zweiten Roboters mit Hilfe der Transformationsmatrix Ac in die theoretische Position des Roboters im Referenz-Koordinatensystem umgerechnet werden. Dann können die Fehlerparameter des Mechanismus so berechnet werden, dass diese theoretische Position mit der Position im Referenz-Koordinatensystem übereinstimmt, die der zweite Roboter erreicht hat (die von der Einheit zur Erfassung der Position 52 erfasste Position).

[0085] Fig. 10 zeigt ein Flussdiagramm der vierten Steuerung zur Kalibrierung der Parameter für Mechanismusfehler des Roboters. Bei der vierten Steuerung werden die Parameter für Mechanismusfehler nach dem Austausch einiger Komponenten des Roboters kalibriert. In diesem Fall wird ein Beispiel für den Austausch des oberen Arms des Roboters 1 beschrieben. Bei der vierten Steuerung wird, wie bei der dritten Steuerung, die Transformationsmatrix Ac im ersten Zustand im Voraus berechnet. Dann, im zweiten Zustand, werden die Parameter für Mechanismusfehler auf der Grundlage der Transformationsmatrix Ac kalibriert.

[0086] Die Schritte 101 und 102 sowie der Schritt 121 sind die gleichen wie bei der dritten Steuerung der vorliegenden Ausführungsform (siehe **Fig.** 8). Als nächstes wird in Schritt 131 der obere Arm 11 des ersten Roboters 1 ausgetauscht.

[0087] In Schritt 132 reproduziert die Einheit zur Einstellung des Referenz-Koordinatensystems 53 das Referenz-Koordinatensystem 72 basierend auf den Messergebnissen des dreidimensionalen Messgeräts 8 nach dem Austausch des oberen Arms 11. In Schritt 133 steuert die Verarbeitungseinheit 51 den ersten Roboter 1 mit einer beliebigen Anzahl von Befehlswerten an. Die Einheit zur Erfassung der Position 52 erfasst auf der Grundlage der Ausgabe des dreidimensionalen Messgeräts 8 die Koordinatenwerte der Messpunkte 77 im Referenz-Koordinatensystem 72 (die Position des Roboters 1).

[0088] In Schritt 134 rechnet die Einheit zur Berechnung von Parametern 54 die Koordinatenwerte der Messpunkte 77 im Referenz-Koordinatensystem in die theoretische Position im Basis-Koordinatensystem 71 des ersten Roboters 1 um, indem sie die Transformationsmatrix Ac verwendet. Da in diesem Beispiel der obere Arm ersetzt wird, ändern sich die Position und die Ausrichtung des Ursprungs des Basis-Koordinatensystems 71, das auf das Basisteil 14 festgelegt ist, nicht.

[0089] In Schritt 135 berechnet die Einheit zur Berechnung von Parametern 54 die Parameter für Mechanismusfehler des ersten Roboters 1. Die Parameterberechnungseinheit 54 berechnet den Parameter für Mechanismusfehler so, dass der Befehlswert des Roboters im Basis-Koordinatensystem 71 dem Koordinatenwert der theoretischen Position des Roboters im Basis-Koordinatensystem 71 des ersten Roboters 1 entspricht. So kann bei der vierten Steuerung der Parameter für Mechanismusfehler durch die gleiche Steuerung wie bei der dritten Steuerung kalibriert werden, wenn einige Komponenten des Roboters ausgetauscht werden.

[0090] Wenn das Robotergerät über einen längeren Zeitraum betrieben wird, verschlechtern sich die Komponenten des Roboters oder verformen sich allmählich. Die Position, an der der Werkzeugmittelpunkt des Roboters erreicht wird, kann vom Befehl des Betriebsprogramms abweichen, kann abweichen. In diesem Fall kann die gleiche Steuerung wie die zweite Steuerung oder die vierte Steuerung in der vorliegenden Ausführungsform durchgeführt werden. Während der Fahrt des Roboters kann der Roboter jederzeit kalibriert werden, indem die gleiche Steuerung wie die zweite Steuerung oder die

vierte Steuerung durchgeführt wird, ohne dass die Komponenten ausgetauscht werden müssen. Beispielsweise kann bei der vierten Steuerung die Steuerung der Kalibrierung von Schritt 112 bis Schritt 114 in **Fig.** 6 durchgeführt werden, ohne den oberen Arm in Schritt 111 auszutauschen. Eine solche Kalibrierung des Roboters kann beispielsweise in vorgegebenen Zeitabständen erfolgen.

[0091] In diesem Fall ist der erste Zustand, der den Referenzzustand des Roboters darstellt, z. B. der Zustand unmittelbar nach der Installation des Roboters. Der zweite Zustand des Roboters ist der Zustand, in dem sich zumindest einige Komponenten des Roboters durch die Nutzung des Roboters verschlechtert haben.

[0092] Wie in **Fig.** 3 gezeigt, fungiert die Steuerung 4 in der vorliegenden Ausführungsform als Bestimmungsgerät zur Bestimmung der Notwendigkeit einer Kalibrierung des Parameters für Mechanismusfehler. Die Verarbeitungseinheit 51 in der vorliegenden Ausführungsform ist mit der Einheit zur Bestimmung der Wartung 56 ausgestattet, die die Genauigkeit der Position des Roboters 1 in Bezug auf den Befehlswert des Betriebsprogramms 46 auswertet. Die Einheit zur Bestimmung der Wartung 56 bestimmt die Notwendigkeit der Kalibrierung der Parameter für Mechanismusfehler auf der Grundlage der Position des Roboters im Referenz-Koordinatensystem 72 im ersten Zustand und der Position des Roboters im aktuellen Referenz-Koordinatensystem 72.

[0093] Insbesondere die Einheit zur Bestimmung der Wartung 56 der Verarbeitungseinheit 51 fungiert als Bestimmungsgerät. Die Einheit zur Bestimmung der Wartung 56 bewertet die Genauigkeit der vom Roboter erreichten Position, indem sie die Transformationsmatrix Ac verwendet, die in der vorliegenden Ausführungsform von der dritten Steuerung und der vierten Steuerung berechnet wird.

[0094] **Fig.** 11 zeigt ein Flussdiagramm der fünften Steuerung durch die Einheit zur Bestimmung der Wartung der vorliegenden Ausführungsform. Bezugnehmend auf **Fig.** 8 führt die Verarbeitungseinheit 51 zunächst die Schritte 101 und 102 sowie den Schritt 121 in der dritten Steuerung der vorliegenden Ausführungsform aus und berechnet die Transformationsmatrix Ac. Das Speicherteil 42 speichert die Transformationsmatrix Ac (vgl. **Fig.** 8). Die Steuerung zur Berechnung der Transformationsmatrix Ac wird vorzugsweise unmittelbar nach der Installation des Roboters und beispielsweise nach der Kalibrierung der Parameter für Mechanismusfehler durchgeführt.

[0095] Dann ist die Steuerung von Schritt 141 bis Schritt 143 die gleiche wie die Steuerung von Schritt 132 bis Schritt 134 in der vierten Steuerung. In Schritt 141 erzeugt die Einheit zur Einstellung des Referenz-Koordinatensystems 53 das Referenz-oordinatensystem 72 auf der Grundlage von Messungen des dreidimensionalen Messgeräts 8 zu einem beliebigen Zeitpunkt. In Schritt 142 steuert die Verarbeitungseinheit 51 den ersten Roboter mit einer beliebigen Anzahl von Befehlswerten an. Die Einheit zur Erfassung der Position 52 erfasst den Koordinatenwert der Position des Roboters im Referenz-Koordinatensystem 72. In Schritt 143 wandelt die Einheit zur Berechnung von Parametern 54 den Koordinatenwert der Position des Roboters im Referenz-Koordinatensystem 72 in den Koordinatenwert im Basis-Koordinatensystem 71 des Roboters unter Verwendung der Transformationsmatrix Ac um. Die Einheit zur Berechnung von Parametern 54 rechnet eine Vielzahl von Positionen des Roboters im Referenz-Koordinatensystem in die theoretischen Positionen um.

[0096] In Schritt 144 berechnet die Einheit zur Bestimmung der Wartung 56 einen Abstand zwischen dem vorgegebenen Roboterbefehlswert und der theoretischen Position im Basis-Koordinatensystem. Zum Beispiel berechnet die Einheit zur Bestimmung der Wartung 56 einen Abstand zwischen dem Koordinatenwert im Befehlswert des Roboters im Betriebsprogramm und dem Koordinatenwert in der theoretischen Position. Die Einheit zur Bestimmung der Wartung 56 berechnet den Abstand für jede Kombination aus einer Vielzahl von Befehlswerten und theoretischen Positionen.

[0097] In Schritt 145 berechnet die Einheit zur Bestimmung der Wartung 56 den Durchschnitt der mehreren Abstände. Die Einheit zur Bestimmung der Wartung 56 bestimmt, ob der Durchschnittswert des Abstands einen vorgegebenen Bestimmungswert überschreitet oder nicht. Wenn der Durchschnittswert des Abstands den Bestimmungswert überschreitet, geht die Steuerung zu Schritt 146 über.

[0098] In Schritt 146 stellt die Einheit zur Bestimmung der Wartung 56 fest, dass die Parameter für Mechanismusfehler kalibriert werden müssen. In der vorliegenden Ausführungsform zeigt das Anzeigeteil 39 des Programmierhandgeräts 37 an, dass die Parameter für Mechanismusfehler kalibriert werden müssen.

[0099] In Schritt 145, wenn der Durchschnittswert des Abstands kleiner oder gleich dem Bestimmungswert ist, geht die Steuerung zu Schritt 147 über. In Schritt 147 bestimmt die Einheit zur Bestimmung der Wartung 56, dass die Kalibrierung der Parameter für Mechanismusfehler nicht erforderlich ist. Dann zeigt der Anzeigeteil 39 an, dass die Kalibrierung

der Parameter für Mechanismusfehler nicht erforderlich ist.

[0100] In der vorliegenden Ausführungsform führt die Einheit zur Bestimmung der Wartung 56 die Bestimmung auf der Grundlage des Durchschnittswerts des Abstands zwischen dem Befehlswert des Roboters und der in das Basis-Koordinatensystem umgerechneten theoretischen Position durch, ist aber nicht auf diese Konfiguration beschränkt. Für die Bestimmung, ob der Befehlswert des Roboters weit von der theoretischen Position entfernt ist oder nicht, kann jede beliebige Steuerung verwendet werden. Wenn beispielsweise der Maximalwert des Abstands zwischen mehreren Abständen, die mehreren Befehlswerten entsprechen, größer ist als der Bestimmungswert, kann festgestellt werden, dass eine Kalibrierung erforderlich ist.

[0101] In jeder vorbestimmten Periode kann die Einheit zur Bestimmung der Wartung 56 bestimmen, ob die Genauigkeit der Position des Roboters von dem vorbestimmten Bestimmungsbereich abweicht oder nicht. Die Einheit zur Bestimmung der Wartung 56 kann bestimmen, dass eine Kalibrierung des Parameters für Mechanismusfehler erforderlich ist, wenn die Genauigkeit des Roboters von einem vorbestimmten Bestimmungsbereich abweicht. So kann beispielsweise für jede vorgegebene Fahrzeit des Roboters oder für jede vorgegebene Zeitspanne seit der Installation des Roboters bestimmt werden, ob die Parameter für Mechanismusfehler kalibriert werden müssen oder nicht.

[0102] Darüber hinaus kann die Einheit zur Bestimmung der Wartung 56 feststellen, dass die Kalibrierung der Parameter für Mechanismusfehler erforderlich ist, wenn der Austausch von Komponenten, aus denen der Roboter besteht, erkannt wird. Wenn beispielsweise ein Bediener am Eingabeteil 38 des Programmierhandgeräts 37 die Information eingibt, dass einige Komponenten des Roboters ausgetauscht wurden, bestimmt die Einheit zur Bestimmung der Wartung 56, dass die Parameter für Mechanismusfehler kalibriert werden müssen. Alternativ kann die Einheit zur Bestimmung der Wartung 56 feststellen, dass die Kalibrierung der Parameter für Mechanismusfehler erforderlich ist, wenn sie den Austausch des Roboters erkennt. Das Anzeigeteil 39 kann dann dem Bediener anzeigen, dass die Parameter für Mechanismusfehler kalibriert werden müssen. Der Bediener kann eine oder mehrere der vorgenannten ersten bis vierten Steuerungen durchführen, wenn die Kalibrierung der Parameter für Mechanismusfehler durchgeführt wird.

[0103] In der obigen Ausführungsform fungiert die Steuerung des Roboters als Kalibrierungsgerät und als Bestimmungsgerät, ist aber nicht auf diese Konfiguration beschränkt. Ein arithmetisches Verarbeitungsgerät, das als Kalibrierungsgerät fungiert, oder ein arithmetisches Verarbeitungsgerät, das als Bestimmungsgerät fungiert, kann über ein Kommunikationsgerät mit der Steuerung des Roboters verbunden sein.

[0104] In der vorliegenden Ausführungsform wird das Referenz-Koordinatensystem mit Hilfe des Laser-Trackers und des Hilfsglieds festgelegt, ist aber nicht auf diese Konfiguration beschränkt. Mit jedem Gerät und jeder Steuerung kann ein Referenz-Koordinatensystem im dreidimensionalen Raum festgelegt werden. Beispielsweise kann mit Hilfe eines dreidimensionalen Bildsensors die Position eines unbeweglichen charakteristischen Teils als Referenzpunkt erfasst werden, und ein Referenz-Koordinatensystem kann auf der Grundlage der Position des charakteristischen Teils festgelegt werden. Der dreidimensionale Bildsensor kann auch das charakteristische Teil des Roboters erfassen und die Position und Ausrichtung des Roboters ermitteln. Außerdem kann das Kalibrierungsgerät kein dreidimensionales Messgerät enthalten. Das Kalibrierungsgerät kann so konfiguriert sein, dass es Daten des dreidimensionalen Messgeräts, die außerhalb des Kalibrierungsgeräts erfasst wurden, erfasst und verarbeitet.

[0105] Bei jeder der oben beschriebenen Kontrollen kann die Reihenfolge der Schritte entsprechend geändert werden, sofern die Funktion und die Wirkung nicht verändert werden.

[0106] Die obigen Ausführungsformen können beliebig kombiniert werden. In jeder der oben beschriebenen Zeichnungen sind gleiche oder gleichwertige Teile mit dem gleichen Zeichen gekennzeichnet. Die obigen Ausführungsformen sind Beispiele und schränken die Erfindung nicht ein. Darüber hinaus umfassen die Ausführungsformen die in den Ansprüchen definierten Modifikationen der Ausführungsformen.

Referenz-Zeichenliste

1,3	Roboter
4	Steuerung
8	Dreidimensionales Messgerät
11	Oberer Arm
12	Unterer Arm
13	Drehbarer Sockel
14	Basisteil
15	Handgelenk
16	Flansch
46	Betriebsprogramm

49	Parameter für Mechanismusfehler
51	Verarbeitungseinheit
52	Einheit zur Erfassung der Position
53	Einheit zur Einstellung des Referenz-Koordinatensystems
54	Einheit zur Berechnung von Parametern
55	Einheit zur Berechnung von Matrizen
56	Einheit zur Bestimmung der Wartung
61	Hilfsglied
63	Laserkopf
67a, 67b	Reflektor
71	Basis-Koordinatensystem
72	Referenz-Koordinatensystem
76, 77	Messpunkt

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

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

Zitierte Patentliteratur

- JP 1083208 A [0002, 0003]
- JP 6603289 B [0003]
- JP 201914011 A [0003]

Patentansprüche

1. Ein Kalibrierungsgerät, das so konfiguriert ist, dass es einen Parameter für Mechanismusfehler zum Einstellen der Steuerung eines Roboters auf der Grundlage eines Betriebsprogramms kalibriert, wobei das Kalibrierungsgerät umfasst:
eine Einheit zur Erfassung der Position, die so konfiguriert ist, dass sie eine Position eines Roboters in einem Referenz-Koordinatensystem erfasst; und
eine Einheit zur Berechnung von Parametern, die so konfiguriert ist, dass sie einen Parameter für Mechanismusfehler auf der Grundlage der Position des Roboters in dem Referenz-Koordinatensystem berechnet, wobei
die Einheit zur Berechnung von Parametern so konfiguriert ist, dass sie den Parameter für Mechanismusfehler so berechnet, dass eine Position des Roboters in dem Referenz-Koordinatensystem in einem zweiten Zustand nach einem ersten Zustand mit einer Position des Roboters in dem Referenz-Koordinatensystem in dem ersten Zustand übereinstimmt, wenn der Roboter durch einen Befehlswert eines Betriebsprogramms gesteuert wird.

2. Das Kalibrierungsgerät nach Anspruch 1, wobei das Referenz-Koordinatensystem ein unbewegliches Koordinatensystem ist, das so definiert ist, dass es nicht von einem Betrieb des Roboters und einem Installationszustand des Roboters abhängt.

3. Das Kalibrierungsgerät nach Anspruch 1 oder 2, das eine Einheit zur Berechnung von Matrizen umfasst, die so konfiguriert ist, dass sie eine Transformationsmatrix berechnet, durch die ein Koordinatenwert aus einem Koordinatenwert eines für den Roboter eingestellten Basis-Koordinatensystems und einem Koordinatenwert des Referenz-Koordinatensystems in den anderen Koordinatenwert umgewandelt wird, wobei
das Betriebsprogramm einen Befehlswert des Roboters enthält, wobei der Befehlswert durch den Koordinatenwert des Basis-Koordinatensystems angegeben wird,
die Einheit zur Erfassung der Position so konfiguriert ist, dass sie im ersten Zustand eine Vielzahl von Positionen des Roboters in dem Referenz-Koordinatensystem erfasst, wenn der Roboter auf der Grundlage einer Vielzahl von Befehlswerten des Roboters angetrieben wird,
die Einheit zur Berechnung von Matrizen so konfiguriert ist, dass sie die Transformationsmatrix im ersten Zustand auf der Grundlage der mehreren Befehlswerte des Roboters und der mehreren Positionen des Roboters im Referenz-Koordinatensystem berechnet,
die Einheit zur Erfassung der Position so konfiguriert ist, dass sie eine Vielzahl von Positionen des Roboters in dem Referenz-Koordinatensystem erfasst, wenn der Roboter basierend auf der Vielzahl von Befehlswerten des Roboters in dem zweiten Zustand angetrieben wird, und
die Einheit zur Berechnung von Parametern so konfiguriert ist, dass sie eine theoretische Position des Roboters in dem Basis-Koordinatensystem auf der Grundlage der Position des Roboters in dem Referenz-Koordinatensystem und der Transformationsmatrix berechnet, wenn der Roboter durch jeden der mehreren Befehlswerte in dem zweiten Zustand angetrieben wird,
und den Parameter für Mechanismusfehler so berechnet, dass der Befehlswert des Roboters mit der theoretischen Position des Roboters in dem Basis-Koordinatensystem übereinstimmt.

4. Das Kalibrierungsgerät nach Anspruch 3, wobei die Einheit zur Berechnung von Matrizen so konfiguriert ist, dass sie die Transformationsmatrix so berechnet, dass ein Abstand zwischen dem Befehlswert des Roboters im Basis-Koordinatensystem und der theoretischen Position des Roboters im Basis-Koordinatensystem, die durch die Transformationsmatrix aus der Position des Roboters im Referenz-Koordinatensystem berechnet wird, im ersten Zustand minimiert wird.

5. Das Kalibrierungsgerät nach einem der Ansprüche 1 bis 4, umfassend eine Einheit zur Bestimmung der Wartung, die konfiguriert ist, um die Genauigkeit einer Position des Roboters in Bezug auf einen Befehlswert des Betriebsprogramms zu bewerten, wobei die Einheit zur Bestimmung der Wartung konfiguriert ist, um eine Notwendigkeit für eine Kalibrierung des Parameters für Mechanismusfehler zu bestimmen, basierend auf der Position des Roboters in dem Referenz-Koordinatensystem in dem ersten Zustand und einer gegenwärtigen Position des Roboters in dem Referenz-Koordinatensystem, wenn der Roboter mit einem Befehlswert eines vorbestimmten Betriebsprogramms gefahren wird.

6. Das Kalibrierungsgerät nach Anspruch 5, wobei die Einheit zur Bestimmung der Wartung konfiguriert ist, um zu bestimmen, ob die Genauigkeit der Position des Roboters von einem vorbestimmten Bestimmungsbereich pro vorbestimmter Periode abweicht oder nicht, und zu bestimmen, dass eine Kalibrierung des Parameters für Mechanismusfehler erforderlich ist, wenn die Genauigkeit der Position des Roboters von dem vorbestimmten Bestimmungsbereich abweicht.

7. Das Kalibrierungsgerät nach Anspruch 5 oder 6, wobei die Einheit zur Bestimmung der Wartung so konfiguriert ist, dass sie bestimmt, dass eine Kalibrierung des Parameters für Mechanismusfehler erforderlich ist, wenn ein Austausch von den Roboter bildenden Komponenten festgestellt wird.

8. Das Kalibrierungsgerät nach einem der Ansprüche 5 bis 7, wobei die Einheit zur Bestimmung der Wartung so konfiguriert ist, dass sie bestimmt, dass eine Kalibrierung des Parameters für Mechanismusfehler erforderlich ist, wenn ein Austausch des Roboters erkannt wird.

9. Das Kalibrierungsgerät nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei der erste Zustand ein Referenzzustand des Roboters ist, bevor die Kalibrierung des Parameters für Mechanismusfehler durchgeführt wird.

10. Das Kalibrierungsgerät nach Anspruch 9, wobei der erste Zustand ein Zustand unmittelbar nach der Installation des Roboters ist, und der zweite Zustand ist ein Zustand, in dem zumindest einige Komponenten des Roboters durch den Einsatz des Roboters beschädigt werden.

11. Das Kalibrierungsgerät nach Anspruch 9, wobei der erste Zustand ein Zustand ist, bevor der Roboter ausgetauscht wird und der zweite Zustand ist ein Zustand nach dem Austausch des Roboters, bei dem ein neuer Roboter installiert wird.

12. Das Kalibrierungsgerät nach Anspruch 9, wobei der erste Zustand ein Zustand ist, bevor einige Komponenten des Roboters ausgetauscht werden, und der zweite Zustand ist ein Zustand, nachdem einige Komponenten des Roboters ausgetauscht wurden.

13. Das Kalibrierungsgerät nach einem der Ansprüche 1 bis 12, umfassend:
eine Vielzahl von Elementen, die als Referenzpunkte dienen und in einem Bereich installiert sind, in dem der Roboter installiert ist;
ein dreidimensionales Messgerät, das so konfiguriert ist, dass es die Positionen der Referenzpunkte misst; und
eine Einheit zur Einstellung des Referenz-Koordinatensystems, die so konfiguriert ist, dass sie das Referenz-Koordinatensystem in einem dreidimensionalen Raum auf der Grundlage der von dem dreidimensionalen Messgerät gemessenen Positionen der Referenzpunkte einstellt.

14. Das Bestimmungsgerät, das so konfiguriert ist, dass es die Notwendigkeit der Kalibrierung eines Parameters für Mechanismusfehler zum Einstellen der Steuerung eines Roboters auf der Grundlage eines Betriebsprogramms bestimmt, wobei das Bestimmungsgerät umfasst:
eine Einheit zur Erfassung der Position, die so konfiguriert ist, dass sie eine Position des Roboters in einem Referenz-Koordinatensystem erfasst; und
eine Einheit zur Bestimmung der Wartung, die konfiguriert ist, um die Genauigkeit der Position des Roboters in Bezug auf einen Befehlswert des Betriebsprogramms zu bewerten, wobei die Einheit zur Bestimmung der Wartung so konfiguriert ist, dass sie auf der Grundlage einer Position des Roboters in dem Referenz-Koordinatensystem in einem ersten Zustand und einer aktuellen Position des Roboters in dem Referenz-Koordinatensystem eine Notwendigkeit für eine Kalibrierung des Parameters für Mechanismusfehler bestimmt, wenn der Roboter durch den Befehlswert des Betriebsprogramms angetrieben wird.

Es folgen 11 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig. 1

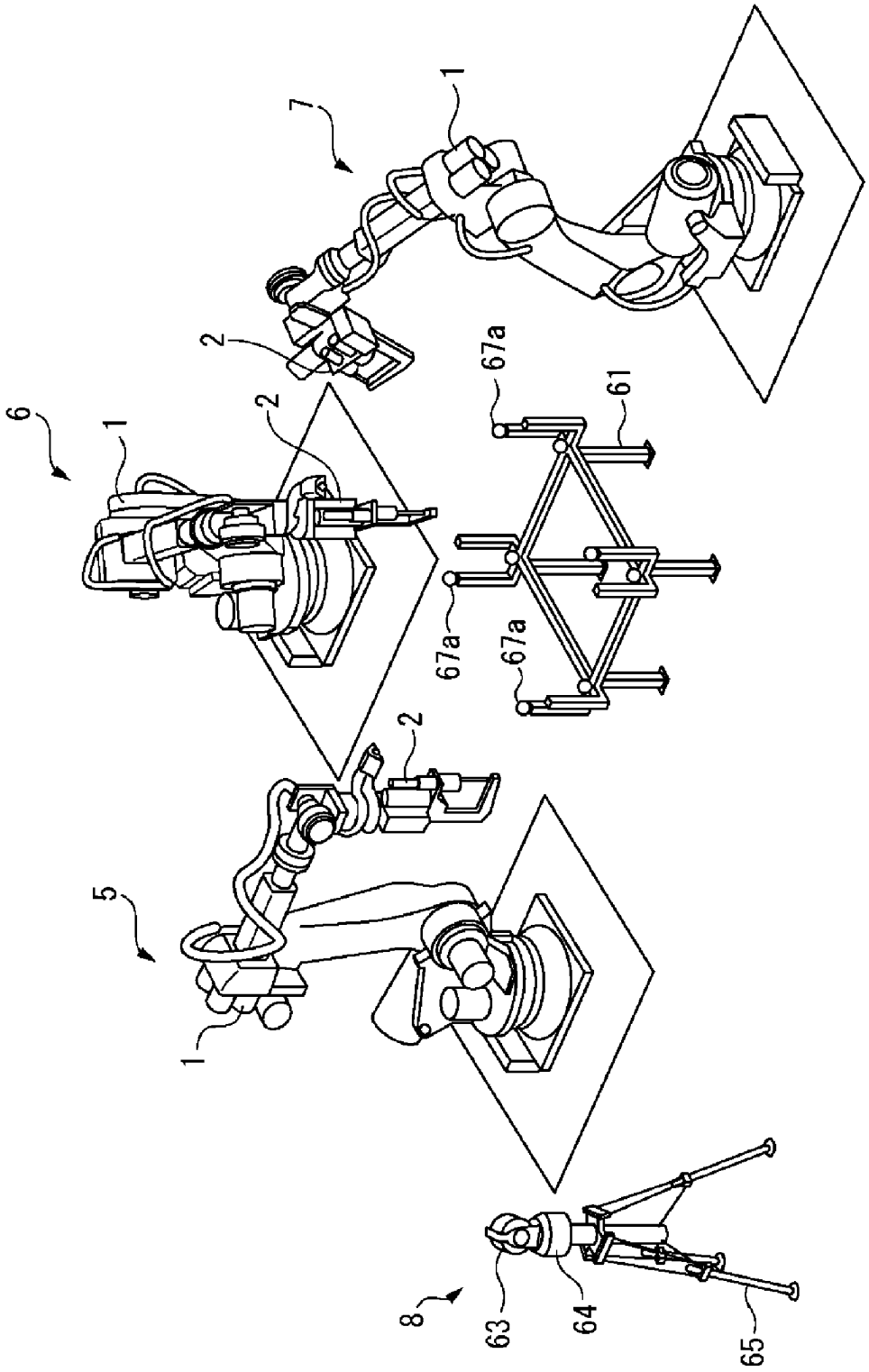


Fig. 2

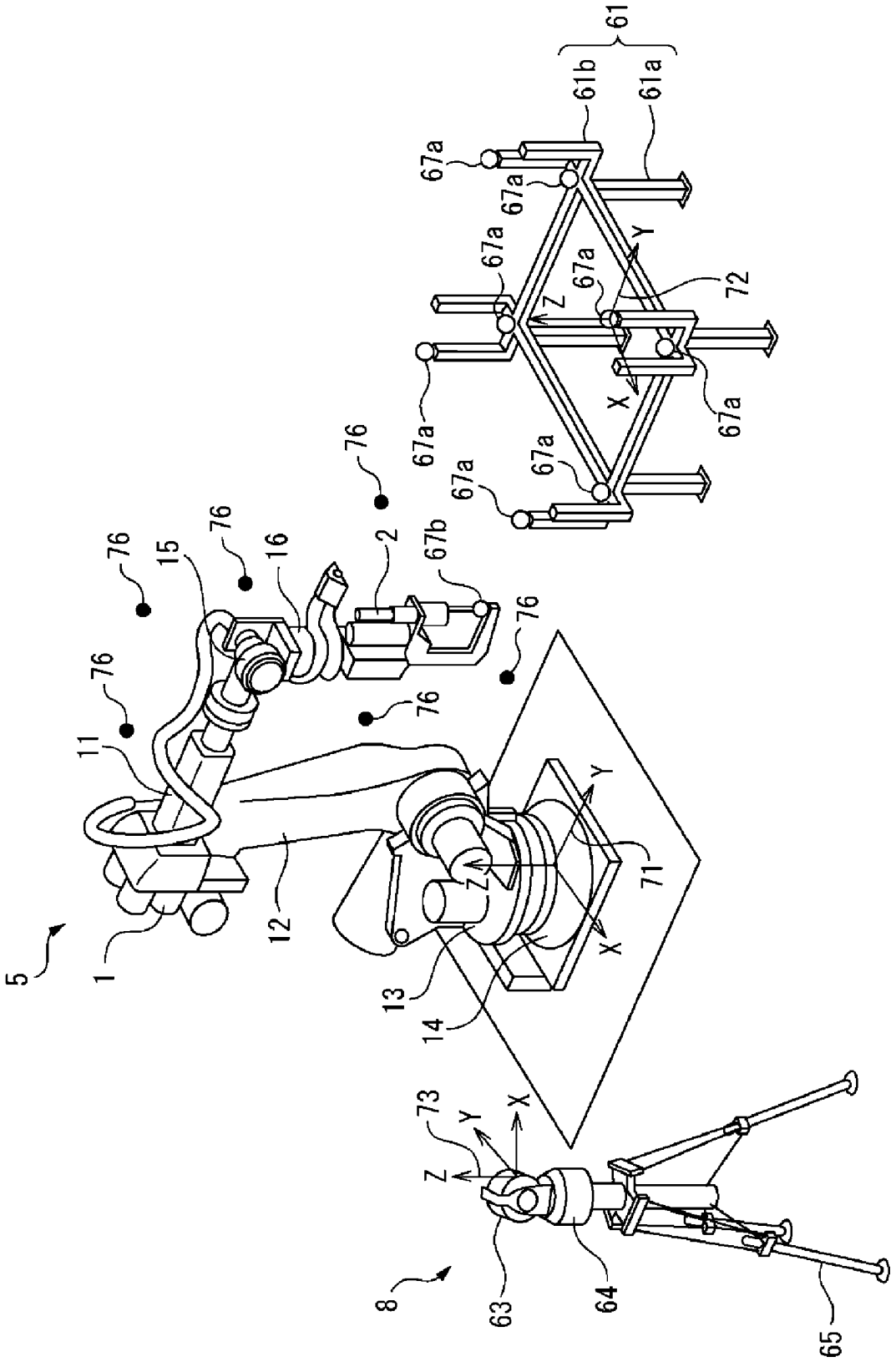


Fig. 3

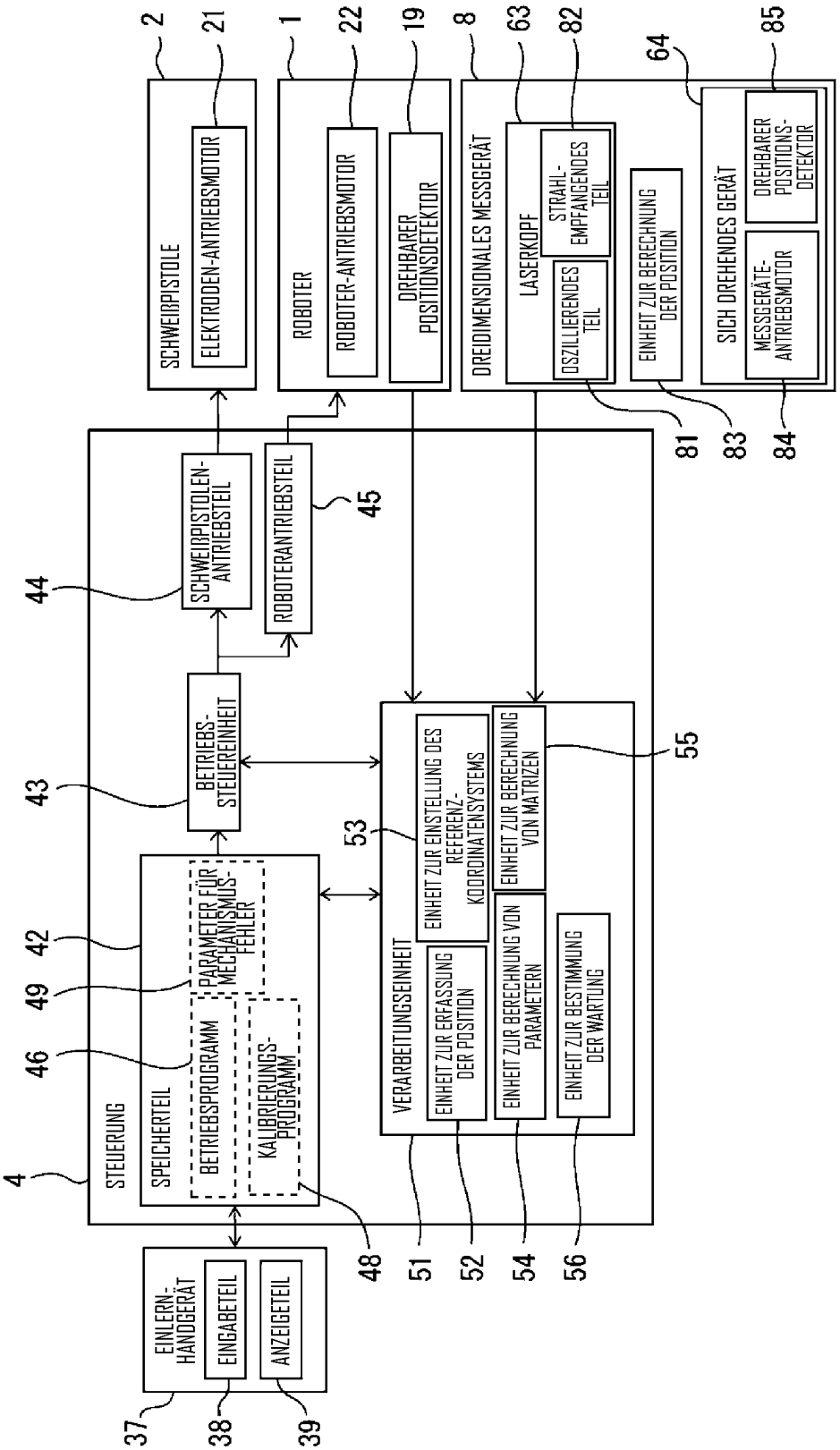

SCHWEIßPISTOLE
ELEKTRODEN-ANTRIEBSMOTOR
ROBOTER
ROBOTER-ANTRIEBSMOTOR
DREHBARER POSITIONSDETEKTOR
DREIDIMENSIONALES MESSGERÄT
LASERKOPF
OSZILLIERENDES TEIL
STRAHL-EMPFANGENDES TEIL
EINHEIT ZUR BERECHNUNG DER POSITION
SICH DREHENDES GERÄT
MESSGERÄTE-ANTRIEBSMOTOR
DREHBARER POSITIONS-DETEKTOR
SCHWEIßPISTOLEN-ANTRIEBSTEIL
ROBOTERANTRIEBSTEIL
BETRIEBS-STEUEREINHEIT
STEUERUNG
SPEICHERTEIL
BETRIEBSPROGRAMM
PARAMETER FÜR MECHANISMUS-FEHLER
KALIBRIERUNGS-PROGRAMM
VERARBEITUNGSEINHEIT
EINHEIT ZUR EINSTELLUNG DES REFERENZ-KOORDINATENSYSTEMS
EINHEIT ZUR BERECHNUNG VON MATRIZEN
EINHEIT ZUR ERFASSUNG DER POSITION
EINHEIT ZUR BERECHNUNG VON PARAMETERN
EINHEIT ZUR BESTIMMUNG DER WARTUNG
EINLERN-HANDGERÄT
EINGABETEIL
ANZEIGETEIL
2
21
1
22
19
8
63
82
64
85
81
83
84
45
44
43
53
55
42
49
46
4
48
51
52
54
56
37
38
39

Fig. 4

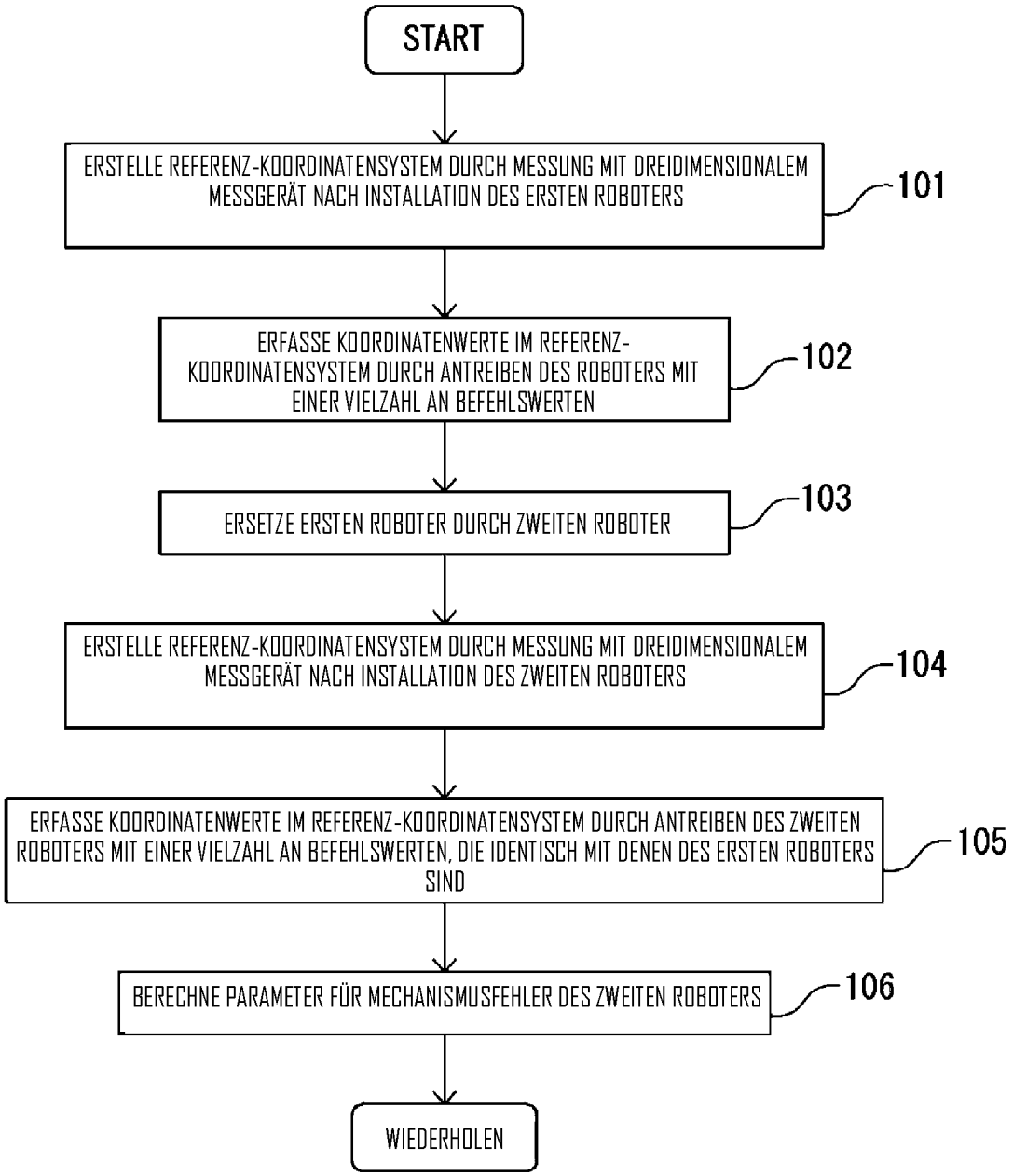

START
ERSTELLE REFERENZ-KOORDINATENSYSTEM DURCH MESSUNG MIT DREIDIMENSIONALEM MESSGERÄT NACH INSTALLATION DES ERSTEN ROBOTERS
101
ERFASSE KOORDINATENWERTE IM REFERENZ-KOORDINATENSYSTEM DURCH ANTREIBEN DES ROBOTERS MIT EINER VIELZAHL AN BEFEHLSWERTEN
102
ERSETZE ERSTEN ROBOTER DURCH ZWEITEN ROBOTER
103
ERSTELLE REFERENZ-KOORDINATENSYSTEM DURCH MESSUNG MIT DREIDIMENSIONALEM MESSGERÄT NACH INSTALLATION DES ZWEITEN ROBOTERS
104
ERFASSE KOORDINATENWERTE IM REFERENZ-KOORDINATENSYSTEM DURCH ANTREIBEN DES ZWEITEN ROBOTERS MIT EINER VIELZAHL AN BEFEHLSWERTEN, DIE IDENTISCH MIT DENEN DES ERSTEN ROBOTERS SIND
105
BERECHNE PARAMETER FÜR MECHANISMUSFEHLER DES ZWEITEN ROBOTERS
106
WIEDERHOLEN

Fig. 5

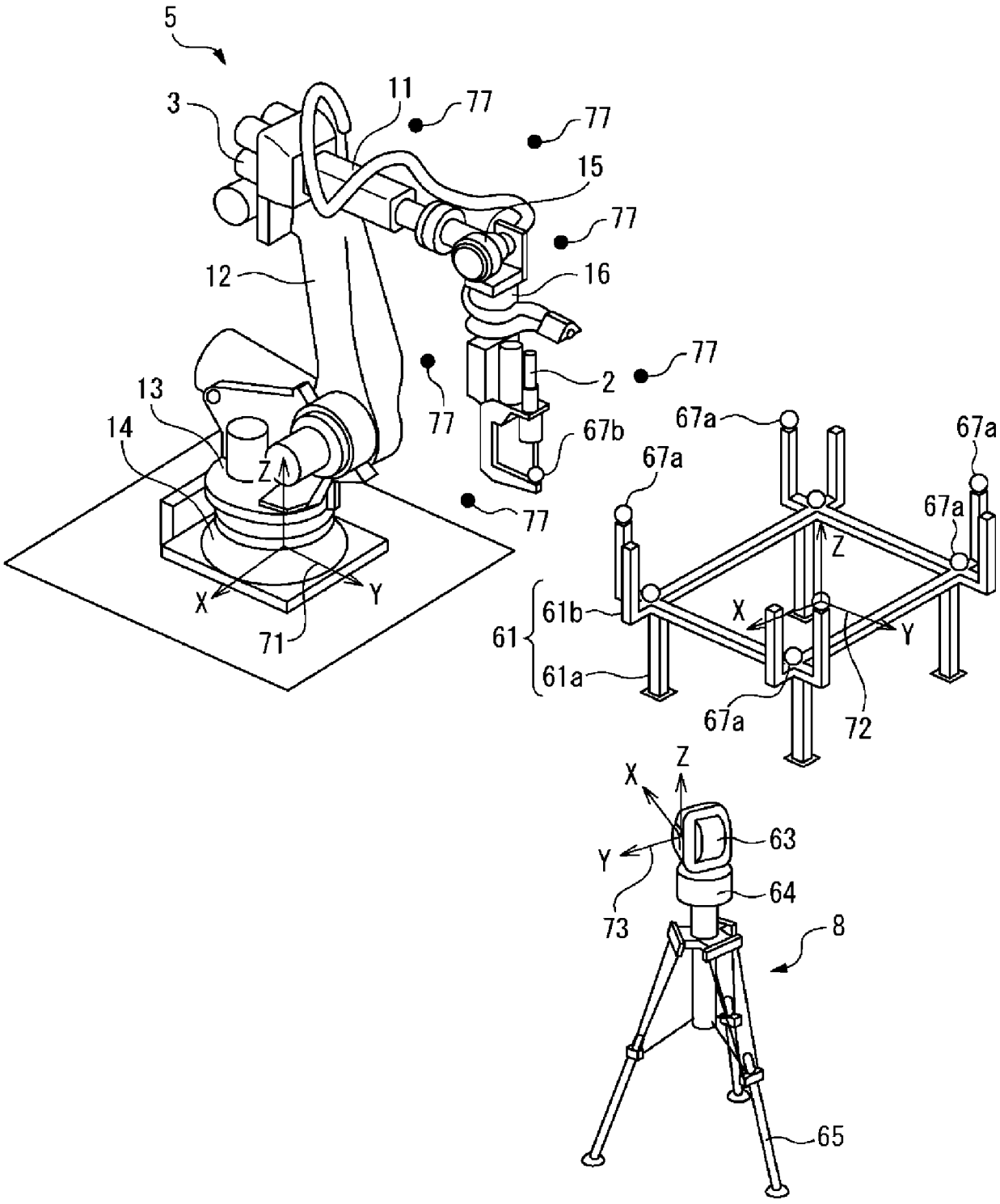

5
3
11
77
77
15
77
12
16
77
2
13
77
14
67b
77
Z
X
Y
71
67a
67a
67a
67a
Z
61
61b
X
Y
61a
67a
72
Z
X
63
Y
64
73
8
65

Fig. 6

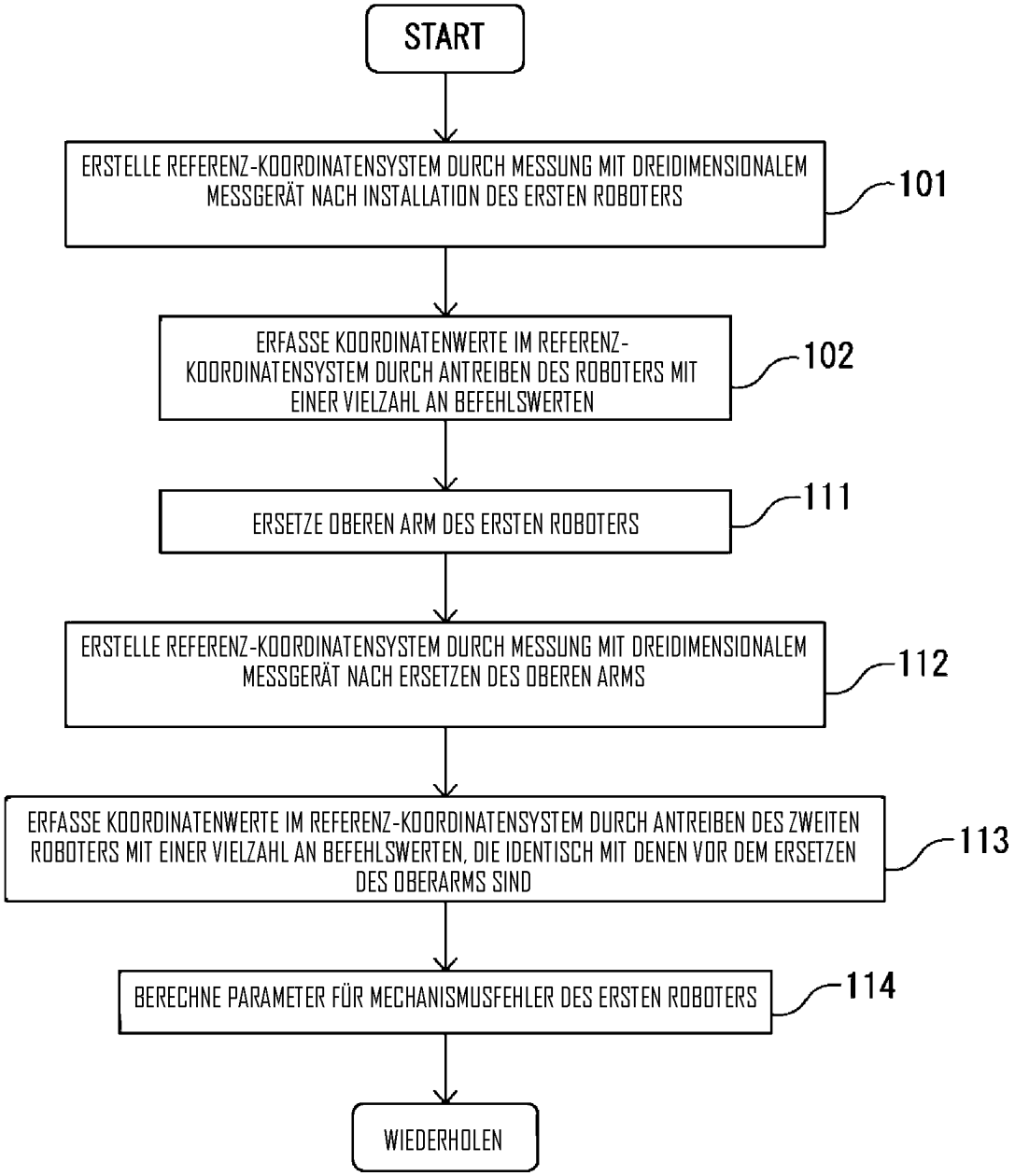

START
ERSTELLE REFERENZ-KOORDINATENSYSTEM DURCH MESSUNG MIT DREIDIMENSIONALEM MESSGERÄT NACH INSTALLATION DES ERSTEN ROBOTERS
101
ERFASSE KOORDINATENWERTE IM REFERENZ-KOORDINATENSYSTEM DURCH ANTREIBEN DES ROBOTERS MIT EINER VIELZAHL AN BEFEHLSWERTEN
102
ERSETZE OBEREN ARM DES ERSTEN ROBOTERS
111
ERSTELLE REFERENZ-KOORDINATENSYSTEM DURCH MESSUNG MIT DREIDIMENSIONALEM MESSGERÄT NACH ERSETZEN DES OBEREN ARMS
112
ERFASSE KOORDINATENWERTE IM REFERENZ-KOORDINATENSYSTEM DURCH ANTREIBEN DES ZWEITEN ROBOTERS MIT EINER VIELZAHL AN BEFEHLSWERTEN, DIE IDENTISCH MIT DENEN VOR DEM ERSETZEN DES OBERARMS SIND
113
BERECHNE PARAMETER FÜR MECHANISMUSFEHLER DES ERSTEN ROBOTERS
114
WIEDERHOLEN

Fig. 7

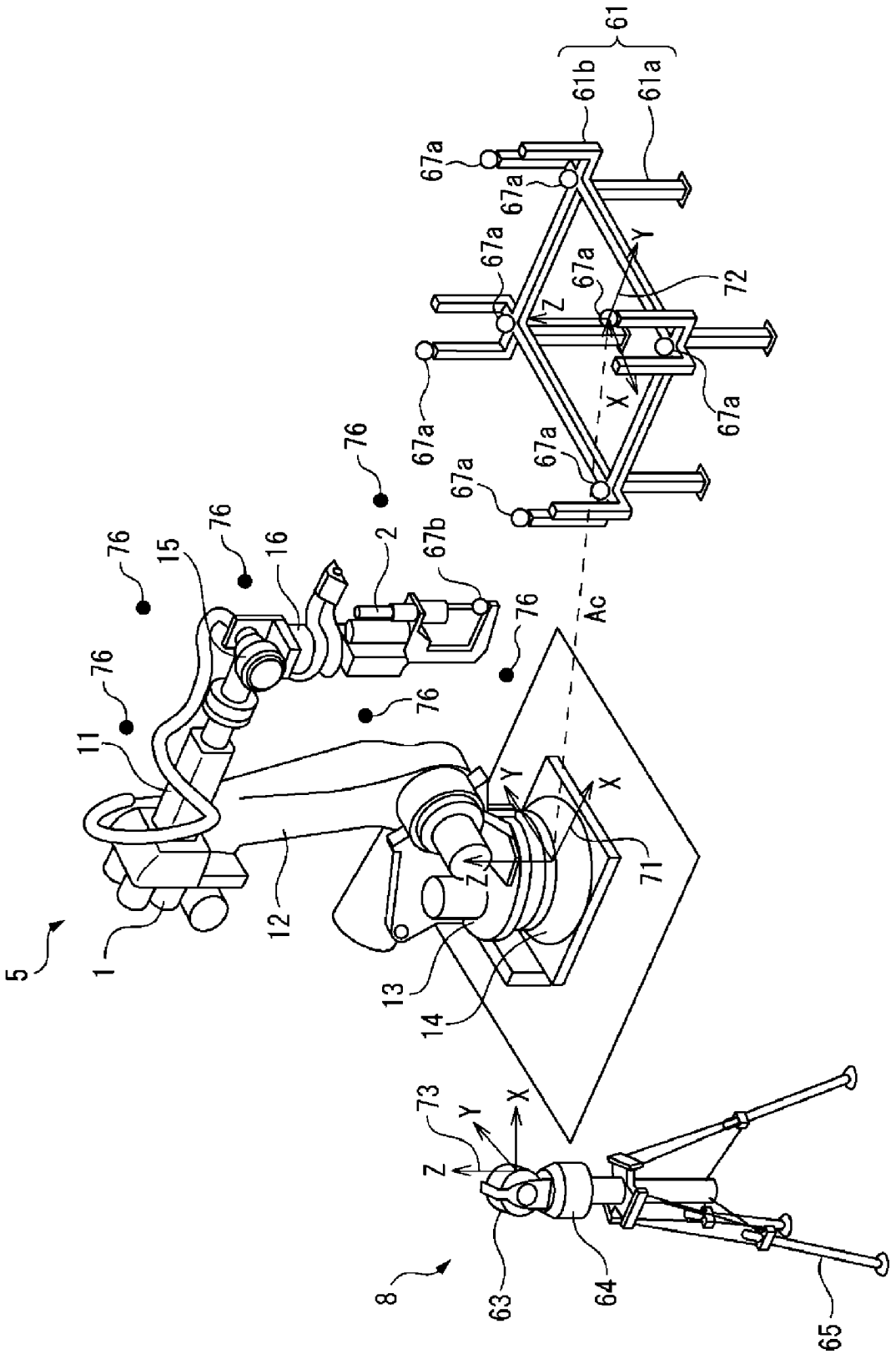


Fig. 8

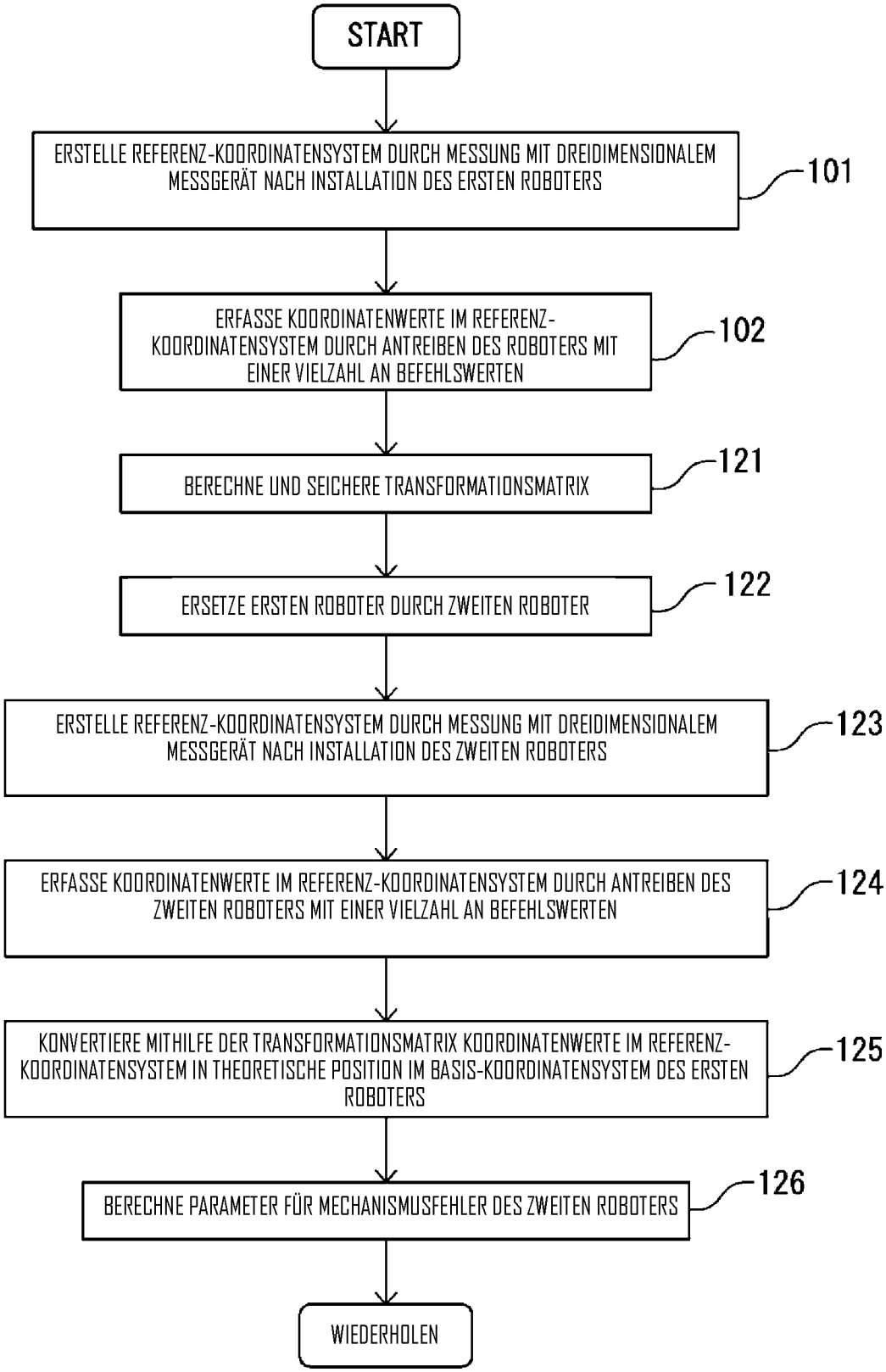

START
ERSTELLE REFERENZ-KOORDINATENSYSTEM DURCH MESSUNG MIT DREIDIMENSIONALEM MESSGERÄT NACH INSTALLATION DES ERSTEN ROBOTERS
101
ERFASSE KOORDINATENWERTE IM REFERENZ-KOORDINATENSYSTEM DURCH ANTREIBEN DES ROBOTERS MIT EINER VIELZAHL AN BEFEHLSWERTEN
102
BERECHNE UND SEICHERE TRANSFORMATIONSMATRIX
121
ERSETZE ERSTEN ROBOTER DURCH ZWEITEN ROBOTER
122
ERSTELLE REFERENZ-KOORDINATENSYSTEM DURCH MESSUNG MIT DREIDIMENSIONALEM MESSGERÄT NACH INSTALLATION DES ZWEITEN ROBOTERS
123
ERFASSE KOORDINATENWERTE IM REFERENZ-KOORDINATENSYSTEM DURCH ANTREIBEN DES ZWEITEN ROBOTERS MIT EINER VIELZAHL AN BEFEHLSWERTEN
124
KONVERTIERE MITHILFE DER TRANSFORMATIONSMATRIX KOORDINATENWERTE IM REFERENZ-KOORDINATENSYSTEM IN THEORETISCHE POSITION IM BASIS-KOORDINATENSYSTEM DES ERSTEN ROBOTERS
125
BERECHNE PARAMETER FÜR MECHANISMUSFEHLER DES ZWEITEN ROBOTERS
126
WIEDERHOLEN

Fig. 9

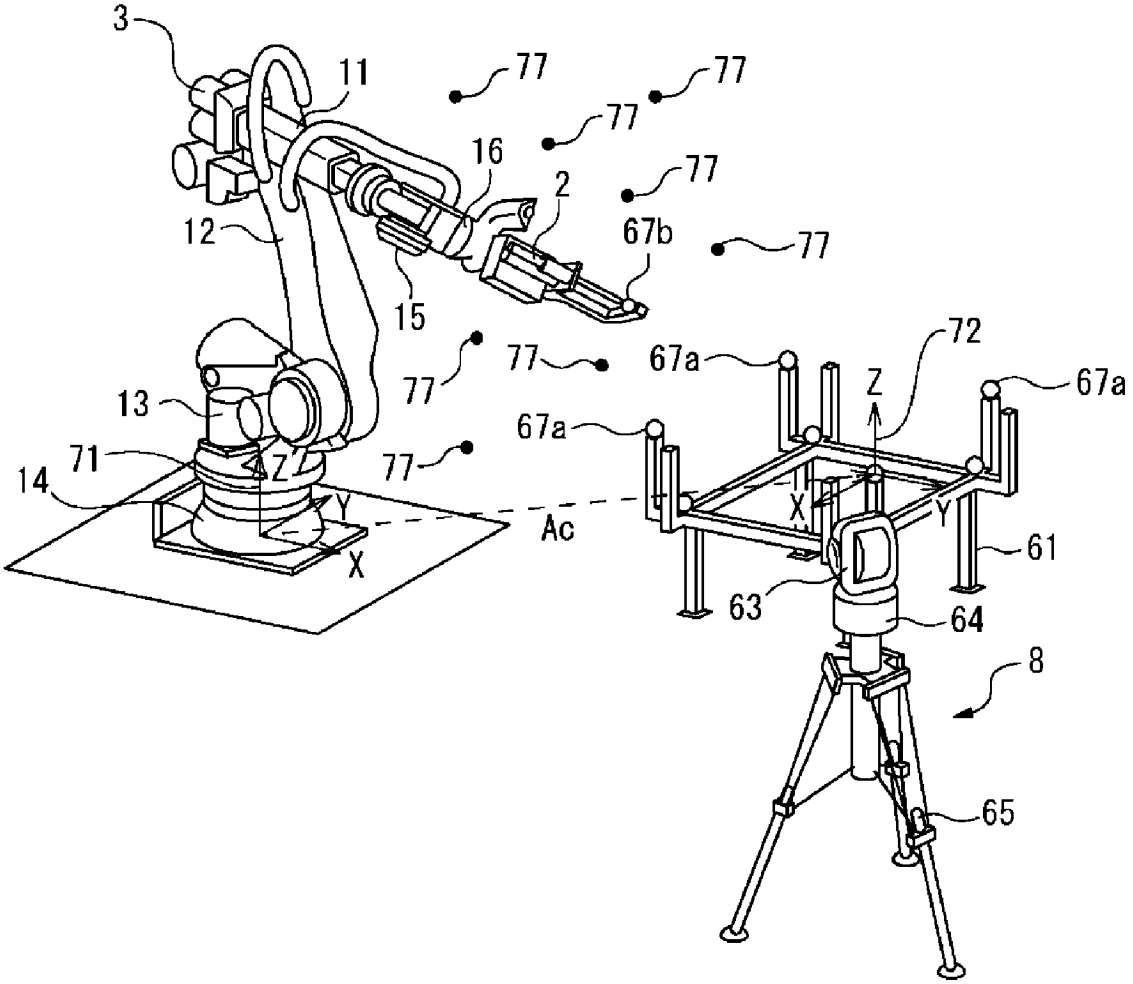

3
11
77
77
77
77
16
2
77
12
67b
77
15
77
77
67a
72
Z
67a
13
67a
71
77
14
Z
Y
X
Ac
X
Y
61
63
64
8
65

Fig. 10

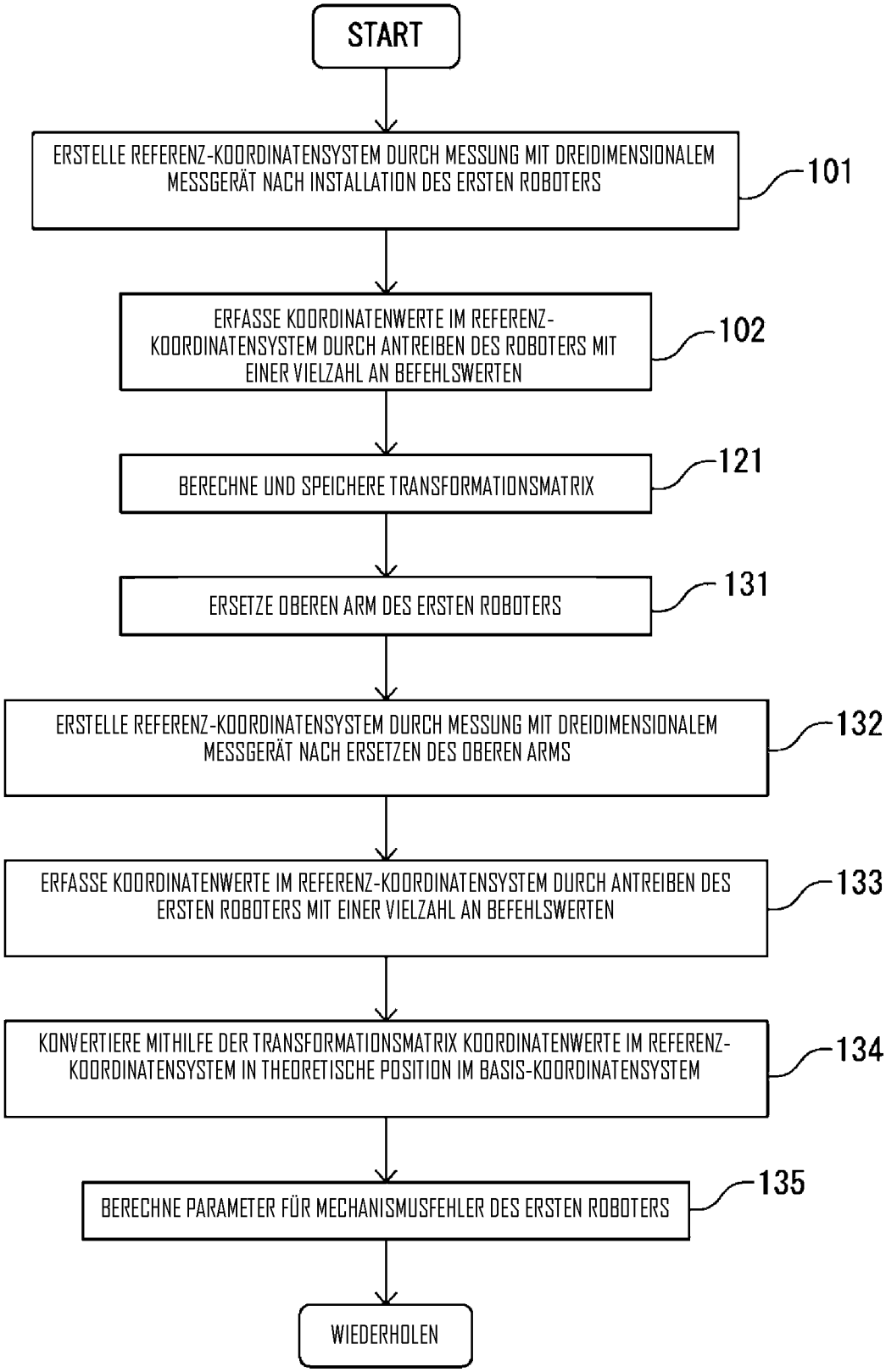
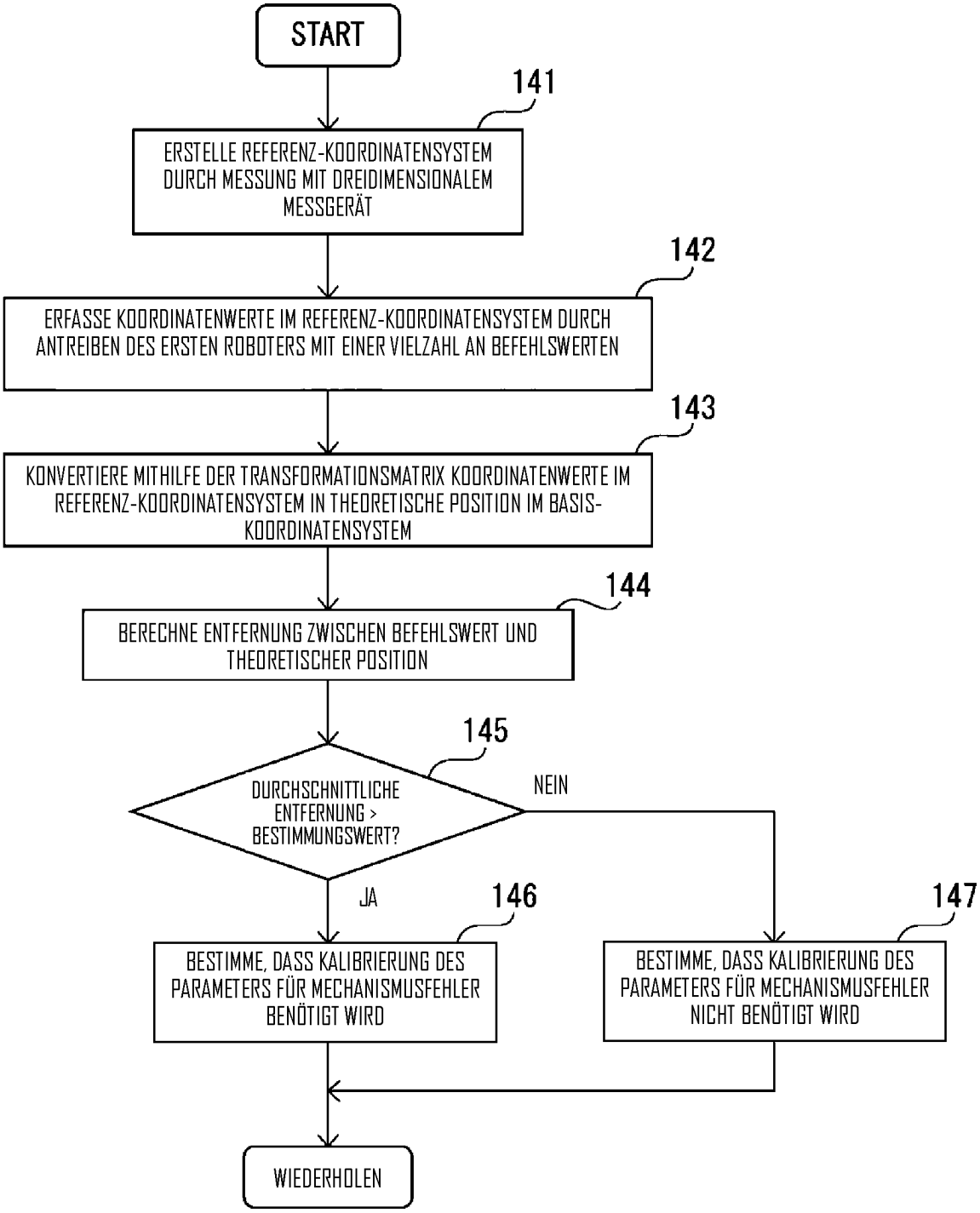

START
ERSTELLE REFERENZ-KOORDINATENSYSTEM DURCH MESSUNG MIT DREIDIMENSIONALEM MESSGERÄT NACH INSTALLATION DES ERSTEN ROBOTERS
101
ERFASSE KOORDINATENWERTE IM REFERENZ-KOORDINATENSYSTEM DURCH ANTREIBEN DES ROBOTERS MIT EINER VIELZAHL AN BEFEHLSWERTEN
102
BERECHNE UND SPEICHERE TRANSFORMATIONSMATRIX
121
ERSETZE OBEREN ARM DES ERSTEN ROBOTERS
131
ERSTELLE REFERENZ-KOORDINATENSYSTEM DURCH MESSUNG MIT DREIDIMENSIONALEM MESSGERÄT NACH ERSETZEN DES OBEREN ARMS
132
ERFASSE KOORDINATENWERTE IM REFERENZ-KOORDINATENSYSTEM DURCH ANTREIBEN DES ERSTEN ROBOTERS MIT EINER VIELZAHL AN BEFEHLSWERTEN
133
KONVERTIERE MITHILFE DER TRANSFORMATIONSMATRIX KOORDINATENWERTE IM REFERENZ-KOORDINATENSYSTEM IN THEORETISCHE POSITION IM BASIS-KOORDINATENSYSTEM
134
BERECHNE PARAMETER FÜR MECHANISMUSFEHLER DES ERSTEN ROBOTERS
135
WIEDERHOLEN

Fig. 11



 Das Dokument wurde durch die Firma Luminess hergestellt.