



(12) **Veröffentlichung**

der internationalen Anmeldung mit der
 (87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2023/021703**
 in der deutschen Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2
 IntPatÜbkG)
 (21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2021 007 813.5**
 (86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/JP2021/030660**
 (86) PCT-Anmeldetag: **20.08.2021**
 (87) PCT-Veröffentlichungstag: **23.02.2023**
 (43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung
 in deutscher Übersetzung: **28.03.2024**

(51) Int Cl.: **B25J 13/08 (2006.01)**
B25J 9/16 (2006.01)

(71) Anmelder:
**FANUC CORPORATION, Oshino-mura,
 Yamanashi, JP**
 (74) Vertreter:
**Wuesthoff & Wuesthoff Patentanwälte und
 Rechtsanwalt PartG mbB, 81541 München, DE**

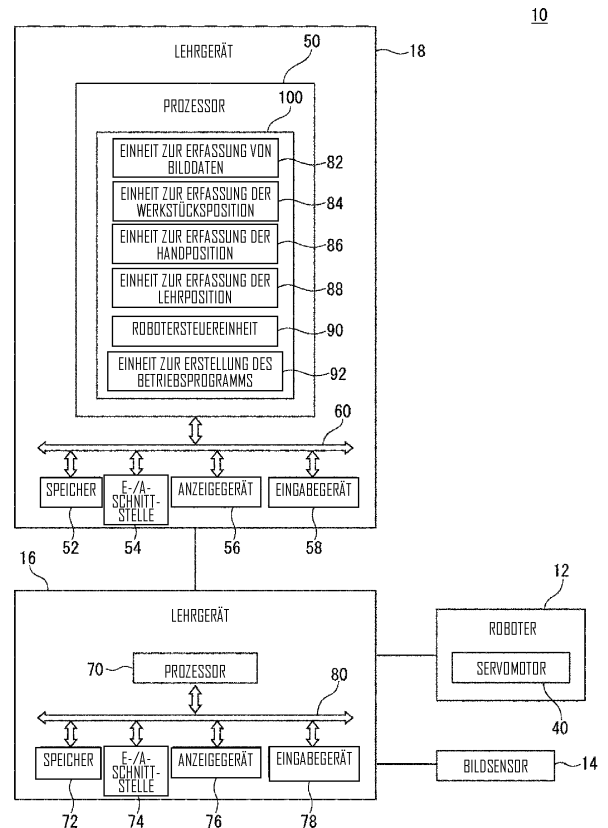
(72) Erfinder:
Ando, Toshiyuki, Oshino-mura, Yamanashi, JP

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **VORRICHTUNG ZUM LEHREN VON POSITION UND HALTUNG FÜR EINEN ROBOTER ZUM GREIFEN EINES WERKSTÜCKS, ROBOTERSYSTEM UND VERFAHREN**

(57) Zusammenfassung: Bisher bestand ein Bedarf an Technologien, die ein hochpräzises Lehren einer Position ermöglichen, an der ein Roboter ein Werkstück von Hand greifen soll.

Eine Vorrichtung 100 umfasst: eine Einheit zur Erfassung von Bilddaten 82, die, wenn ein Roboter 12 ein Werkstück mit der Hand ergreift, Bilddaten des Werkstücks erfasst, die von einem Bildsensor 14 abgebildet werden, der an einer bekannten Position in einem Steuerungs-Koordinatensystem angeordnet ist; eine Einheit zur Erfassung der Werkstückposition 84, die auf der Grundlage der Bilddaten Werkstückpositionsdaten erfasst, die eine Position und eine Haltung des Werkstücks angeben eine Einheit zur Erfassung der Handposition 86, die Handpositionsdaten erfasst, die eine Position und eine Haltung der Hand anzeigen, die erhalten werden, wenn der Bildsensor die Bilddaten abgebildet hat; und eine Einheit zur Erfassung der Lehrposition 88, die auf der Grundlage der Werkstückpositionsdaten und der Handpositionsdaten Lehrpositionsdaten erfasst, die eine Positionsbeziehung zwischen der Hand und dem Werkstück anzeigen, die erhalten werden, wenn der Bildsensor 14 die Bilddaten abgebildet hat.



Beschreibung

Technischer Bereich

[0001] Die vorliegende Offenbarung bezieht sich auf eine Vorrichtung, ein Robotersystem und ein Verfahren zum Einlernen der Position und Ausrichtung, in der ein Roboter ein Werkstück greift.

Stand der Technik

[0002] Ein bekanntes Robotersystem führt auf der Grundlage von Bilddaten, die von einem Bildsensor (z. B. PTL 1) aufgenommen werden, einen Vorgang aus, der einen Roboter veranlasst, ein Werkstück mit der Hand zu greifen.

Zitierliste

Patentliteratur

[0003] PTL 1: JP 2016-209979 A

Zusammenfassung der Erfindung

Technisches Problem

[0004] In der verwandten Technik gibt es eine Nachfrage nach einer Technik, die es ermöglicht, einem Roboter eine Position mit hoher Genauigkeit beizubringen, mit der eine Hand ein Werkstück greift.

Lösung des Problems

[0005] In einem Aspekt der vorliegenden Offenbarung umfasst eine Vorrichtung, die eine Position und Orientierung, an der ein Roboter ein Werkstück mit einer Hand greift, in einem Steuerungs-Koordinatensystem zur Steuerung des Roboters lehrt: eine Einheit zur Erfassung von Bilddaten, die Bilddaten des Werkstücks erfasst, die von einem an einer bekannten Position in dem Steuerungs-Koordinatensystem angeordneten Bildsensor abgebildet werden, wenn der Roboter das Werkstück mit der Hand ergreift; eine Einheit zur Erfassung der Werkstückposition, die Werkstückpositionsdaten erfasst, die eine Position und Orientierung des Werkstücks in dem Steuerungs-Koordinatensystem angeben, wenn der Bildsensor die Bilddaten abbildet, basierend auf den Bilddaten; eine Einheit zur Erfassung der Handposition, die Handpositionsdaten erfasst, die eine Position und Orientierung der Hand in dem Steuerungs-Koordinatensystem anzeigen, wenn der Bildsensor die Bilddaten abbildet; und eine Einheit zur Erfassung der Lehrposition, die Lehrpositionsdaten erfasst, die eine Positionsbeziehung zwischen der Hand und dem Werkstück in dem Steuerungs-Koordinatensystem anzeigen, wenn der Bildsensor die Bilddaten abbildet, basierend auf den Werkstückpositionsdaten und den Handpositionsdaten.

[0006] In einem anderen Aspekt der vorliegenden Offenbarung umfasst ein Verfahren zum Einlernen einer Position und Orientierung, in der ein Roboter ein Werkstück mit einer Hand in einem Steuerungs-Koordinatensystem zur Steuerung des Roboters ergreift: Erfassen von Bilddaten des Werkstücks durch einen Prozessor, die von einem an einer bekannten Position in dem Steuerungs-Koordinatensystem angeordneten Bildsensor abgebildet werden, wenn der Roboter das Werkstück mit der Hand greift; Erfassen von Werkstückpositionsdaten durch den Prozessor, die eine Position und Orientierung des Werkstücks in dem Steuerungs-Koordinatensystem angeben, wenn der Bildsensor die Bilddaten abbildet, basierend auf den Bilddaten; Erfassen von Handpositionsdaten durch den Prozessor, die eine Position und Orientierung der Hand in dem Steuerungs-Koordinatensystem anzeigen, wenn der Bildsensor die Bilddaten abbildet; und Erfassen von Lehrpositionsdaten durch den Prozessor, die eine Positionsbeziehung zwischen der Hand und dem Werkstück in dem Steuerungs-Koordinatensystem anzeigen, wenn der Bildsensor die Bilddaten abbildet, basierend auf den Werkstückpositionsdaten und den Handpositionsdaten.

Vorteilhafte Auswirkungen der Erfindung

[0007] Durch die Erfassung von Lehrpositionsdaten auf der Grundlage der Bilddaten, die aufgenommen werden, wenn der Bediener die Hand veranlasst, das Werkstück in der vom Bediener gewünschten Greifposition

tatsächlich zu greifen, kann die vom Bediener gewünschte Greifposition dem Roboter mit hoher Genauigkeit beigebracht werden.

Kurzbeschreibung der Zeichnungen

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

[Fig. 2] **Fig. 2** ist ein Blockdiagramm des in **Fig. 1** dargestellten Robotersystems.

[Fig. 3] **Fig. 3** ist eine vergrößerte Ansicht einer in **Fig. 1** dargestellten Hand.

[Fig. 4] **Fig. 4** ist ein Diagramm eines Werkstücks gemäß einer Ausführungsform.

[Fig. 5] **Fig. 5** zeigt einen Zustand, in dem die in **Fig. 3** dargestellte Hand das in **Fig. 4** dargestellte Werkstück greift.

[Fig. 6] **Fig. 6** ist ein Beispiel für Bilddaten, in denen ein in **Fig. 1** dargestellter Bildsensor das von der Hand gegriffene Werkstück abbildet.

[Fig. 7] **Fig. 7** zeigt schematisch einen Zustand, in dem ein Werkstückmodell auf die in **Fig. 6** dargestellten Bilddaten angewendet wird.

[Fig. 8] **Fig. 8** ist ein Flussdiagramm, das ein Beispiel für ein Verfahren zum Einlernen der Position und Ausrichtung eines Roboters zum Greifen eines Werkstücks durch die Hand in dem in **Fig. 1** dargestellten Robotersystem zeigt.

Beschreibung der Ausführungsformen

[0008] Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung werden im Folgenden anhand der Zeichnungen im Detail beschrieben. In den verschiedenen Ausführungsformen, die im Folgenden beschrieben werden, sind die gleichen Elemente mit den gleichen Bezugszeichen versehen, und redundante Beschreibungen werden weggelassen. Zunächst wird ein Robotersystem 10 gemäß einer Ausführungsform unter Bezugnahme auf die **Fig. 1** und **2** beschrieben. Das Robotersystem 10 nimmt die Werkstücke W auf, die stückweise in einem Behälter A gestapelt sind, und ist mit einem Roboter 12, einem Bildsensor 14, einer Steuerung 16 und einem Lehrgerät 18 ausgestattet.

[0009] In der vorliegenden Ausführungsform ist der Roboter 12 ein vertikaler Gelenkroboter und umfasst eine Roboterbasis 20, einen Schwenkkörper 22, einen unteren Arm 24, einen oberen Arm 26, ein Handgelenk 28 und eine Hand 30. Die Roboterbasis 20 ist auf dem Boden einer Arbeitszelle befestigt. Der Schwenkkörper 22 ist an der Roboterbasis 20 so angebracht, dass er um die vertikale Achse drehbar ist. Der untere Arm 24 ist am Schwenkkörper 22 so angebracht, dass er um die horizontale Welle drehbar ist, und der obere Arm 26 ist drehbar am Spitzenteil des unteren Arms 24 angebracht. Das Handgelenk 28 ist drehbar an der Spitze des oberen Arms 26 angebracht.

[0010] Eine Vielzahl von Servomotoren 40 (**Fig. 2**) sind jeweils an der Roboterbasis 20, dem Schwenkkörper 22, dem unteren Arm 24, dem oberen Arm 26 und dem Handgelenk 28 vorgesehen. Als Reaktion auf einen Befehl der Steuerung 16 dreht der Servomotor 40 den Schwenkkörper 22, den unteren Arm 24, den oberen Arm 26 und das Handgelenk 28 um die Antriebswelle, wodurch der Roboter 12 betrieben wird. In diesem Artikel werden die Roboterbasis 20, der Schwenkkörper 22, der untere Arm 24, der obere Arm 26 und das Handgelenk 28 insgesamt als ein mechanisches Teil 42 des Roboters 12 bezeichnet.

[0011] Die Hand 30 ist abnehmbar am Spitzenteil (dem sogenannten Handgelenksflansch) des Handgelenks 28 befestigt und wird durch den mechanischen Teil 42 des Roboters 12 bewegt. Wie in **Fig. 3** dargestellt, umfasst die Hand 30 einen Handarm 32, Krallenteile 34 und 36 sowie ein Krallenteilantriebsteil 38. Der Handarm 32 ist an seinem Basisende mit dem Spitzenteil des Handgelenks 28 verbunden.

[0012] Die Krallenteile 34 und 36 sind an der Spitze des Handarms 32 aufklappbar und verschließbar angeordnet. In der vorliegenden Ausführungsform ist jedes der Krallenteile 34 und 36 ein zylindrisches Stangen-element, das sich in einer geraden Linie erstreckt. Das Krallenteilantriebsteil 38 umfasst beispielsweise einen pneumatischen oder hydraulischen Zylinder oder einen Servomotor zum Öffnen und Schließen der Krallenteile 34 und 36 als Reaktion auf Befehle von der Steuerung 16. Die Hand 30 kann das Werkstück W durch Öffnen und Schließen der Krallenteile 34 und 36 greifen und freigeben.

[0013] Wie in **Fig. 1** und **2** gezeigt, nimmt der Bildsensor 14 das Werkstück **W** auf. Konkret ist der Bildsensor 14 an einem Halterahmen 44 befestigt. Der Halterahmen 44 ist am Boden der Arbeitszelle befestigt und ordnet den Bildsensor 14 stationär in einer Position oberhalb des Behälters **A** an.

[0014] In der vorliegenden Ausführungsform ist der Bildsensor 14 ein dreidimensionaler Bildsensor mit einem Bildsensor (CMOS, CCD oder dergleichen) und einer optischen Linse (Kollimationslinse, Fokussierlinse oder dergleichen), die das Objektbild zum Bildsensor leitet und so konfiguriert ist, dass sie das Objekt entlang einer Sichtlinienrichtung **VL** abbildet und den Abstand **d** zum Objektbild misst.

[0015] Mit dem Lehrgerät 18 wird dem Roboter 12 beigebracht, die im Behälter **A** gestapelten Werkstücke **W** mit der Hand 30 zu greifen. Insbesondere ist das Lehrgerät 18 ein tragbarer Computer, wie z. B. ein Lernpendant oder ein tablettenartiges Endgerät, und umfasst einen Prozessor 50, einen Speicher 52, eine E-/A-Schnittstelle 54, ein Anzeigegerät 56 und ein Eingabegerät 58. Der Prozessor 50 umfasst eine CPU oder eine GPU, ist über einen BUS 60 mit dem Speicher 52, der E-/A-Schnittstelle 54, dem Anzeigegerät 56 und dem Eingabegerät 58 kommunizierend verbunden und führt eine arithmetische Verarbeitung durch, um die unten beschriebene Lehrfunktion zu erreichen, während er mit diesen Komponenten kommuniziert.

[0016] Der Speicher 52 umfasst ein RAM oder ein ROM und speichert verschiedene Daten vorübergehend oder dauerhaft. Die E-/A-Schnittstelle 54 umfasst beispielsweise einen Ethernet-Anschluss (Handelsname), einen USB-Anschluss, einen Lichtwellenleiteranschluss oder einen HDMI-Anschluss (Handelsname) und kommuniziert auf Befehl des Prozessors 50 drahtgebunden oder drahtlos mit einem externen Gerät.

[0017] Das Anzeigegerät 56 umfasst eine Flüssigkristallanzeige oder eine organische EL-Anzeige und zeigt verschiedene Arten von Daten auf Befehl des Prozessors 50 visuell an. Das Eingabegerät 58 umfasst eine Drucktaste, eine Tastatur, eine Maus oder ein Touchpanel und nimmt Eingabedaten von einem Bediener entgegen.

[0018] Das Lehrgerät 18 ist so konfiguriert, dass es als Reaktion auf Eingabedaten an das Eingabegerät 58 über die Steuerung 16 einen Befehl an den Roboter 12 sendet und es dem Roboter 12 ermöglicht, sich entsprechend dem Befehl zu bewegen. Das Anzeigegerät 56 und das Eingabegerät 58 können in das Gehäuse des Lehrgeräts 18 integriert sein oder separat vom Gehäuse des Lehrgeräts 18 extern am Gehäuse angebracht sein.

[0019] Die Steuerung 16 steuert den Betrieb des Roboters 12 und des Bildsensors 14. Bei der Steuerung 16 handelt es sich um einen Computer mit einem Prozessor 70, einem Speicher 72, einer E-/A-Schnittstelle 74, einem Anzeigegerät 76 und einem Eingabegerät 78. Die Konfigurationen und Funktionen des Prozessors 70, des Speichers 72, der E-/A-Schnittstelle 74, des Anzeigegeräts 76 und des Eingabegeräts 78 sind die gleichen wie die des Prozessors 50, des Speichers 52, der E-/A-Schnittstelle 54, des Anzeigegeräts 56 und des Eingabegeräts 58, die oben beschrieben sind, so dass überlappende Beschreibungen weggelassen werden.

[0020] Der Prozessor 70 ist über einen BUS 80 mit dem Speicher 72, der E-/A-Schnittstelle 74, des Anzeigegeräts 76 und des Eingabegeräts 78 verbunden und führt während der Kommunikation mit diesen Komponenten eine arithmetische Verarbeitung durch, um die Funktion des Betriebs des Roboters 12 und des Bildsensors 14 zu erreichen. Die E-/A-Schnittstelle 54 des Lehrgeräts 18, die jeweiligen Servomotoren 40 des Roboters 12 und der Bildsensor 14 sind mit der E-/A-Schnittstelle 74 verbunden, und der Prozessor 70 kommuniziert mit diesen Komponenten über die E-/A-Schnittstelle 74.

[0021] Wie in **Fig. 1** dargestellt, ist im mechanischen Teil 42 des Roboters 12 ein Roboter-Koordinatensystem **C1** eingerichtet. Das Roboter-Koordinatensystem **C1** ist ein Steuerungs-Koordinatensystem **C** zur automatischen Steuerung des Betriebs des Roboters 12, der das Werkstück **W** mit der Hand 30 greift. In der vorliegenden Ausführungsform ist das Roboter-Koordinatensystem **C1** in Bezug auf das mechanische Teil 42 so eingestellt, dass sich ein Ursprung des Roboter-Koordinatensystems **C1** in der Mitte der Roboterbasis 20 befindet und eine z-Achse des Roboter-Koordinatensystems **C1** mit der Drehachse des Drehkörpers 22 zusammenfällt.

[0022] Andererseits wird an der Hand 30 des Roboters 12 ein Werkzeug-Koordinatensystem **C2** festgelegt, wie in **Fig. 3** dargestellt. Das Werkzeug-Koordinatensystem **C2** ist das Steuerungs-Koordinatensystem **C**, das die Position und Orientierung der Hand 30 im Roboter-Koordinatensystem **C1** bestimmt. In der vorliegenden Ausführungsform ist das Werkzeug-Koordinatensystem **C2** in Bezug auf die Hand 30 so eingestellt, dass

sich ein Ursprung des Werkzeug-Koordinatensystems C2 an der Zwischenposition zwischen den Krallenteilen 34 und 36 befindet, eine y-Achsenrichtung des Werkzeug-Koordinatensystems C2 parallel zur Öffnungs- und Schließrichtung der Krallenteile 34 und 36 ist und eine z-Achsenrichtung des Werkzeug-Koordinatensystems C2 parallel zur Ausfahrtrichtung jedes Krallenteils 34 und 36 ist.

[0023] Die Lagebeziehung zwischen dem Werkzeug-Koordinatensystem C2 und dem Roboter-Koordinatensystem C1 ist bekannt, und die Koordinaten des Werkzeug-Koordinatensystems C2 und die Koordinaten des Roboter-Koordinatensystems C1 können über eine bekannte Transformationsmatrix M1 (z. B. die homogene Transformationsmatrix) ineinander transformiert werden. So werden die Ursprungsposition und die Richtung jeder Achse des Werkzeug-Koordinatensystems C2 im Roboter-Koordinatensystem C1 als Koordinaten ($X_{RT}, Y_{RT}, Z_{RT}, W_{RT}, P_{RT}, R_{RT}$) des Roboter-Koordinatensystems C1 dargestellt. Dabei geben die Koordinaten (X_{RT}, Y_{RT}, Z_{RT}) die Ursprungsposition des Werkzeug-Koordinatensystems C2 im Roboter-Koordinatensystem C1 und die Koordinaten (W_{RT}, P_{RT}, R_{RT}) die Richtung (sog. Gieren, Nicken, Rollen) jeder Achse des Werkzeug-Koordinatensystems C2 im Roboter-Koordinatensystem C1 an.

[0024] Wenn die Hand 30 durch das mechanische Teil 42 des Roboters 12 in einer vorbestimmten Position und Ausrichtung positioniert wird, stellt der Prozessor 70 der Steuerung 16 zunächst das Werkzeug-Koordinatensystem C2 ein, das die vorbestimmte Position und Ausrichtung im Roboter-Koordinatensystem C1 darstellt. Anschließend erzeugt der Prozessor 70 einen Befehl an jeden der Servomotoren 40, um die Hand 30 in der durch das eingestellte Werkzeug-Koordinatensystem C2 bestimmten Position und Ausrichtung anzuordnen, und bewegt die Hand 30 durch Betätigung des mechanischen Teils 42 in Reaktion auf den Befehl. Auf diese Weise kann der Prozessor 70 die Hand 30 durch die Betätigung des mechanischen Teils 42 im Roboter-Koordinatensystem C1 an der vorgegebenen Position und Ausrichtung positionieren.

[0025] Wie in **Fig. 1** dargestellt, wird ein Sensor-Koordinatensystem C3 auf den Bildsensor 14 eingestellt. Das Sensor-Koordinatensystem C3 ist das Steuerungs-Koordinatensystem C, das die Position und Orientierung (d. h. die Sichtlinienrichtung VL) des Bildsensors 14 im Roboter-Koordinatensystem C1 bestimmt und auch die Koordinaten jedes Pixels in den Bilddaten (oder eines Bildsensors), die vom Bildsensor 14 abgebildet werden, festlegt. In der vorliegenden Ausführungsform ist das Sensor-Koordinatensystem C3 in Bezug auf den Bildsensor 14 so eingestellt, dass ein Ursprung des Sensor-Koordinatensystems C3 im Zentrum des Bildsensors liegt und eine z-Achsenrichtung des Sensor-Koordinatensystems C3 mit der Sichtlinienrichtung VL des Bildsensors 14 zusammenfällt.

[0026] In der vorliegenden Ausführungsform ist der Bildsensor 14 an einer bekannten Position des Roboter-Koordinatensystems C1 durch den Halterahmen 44 angeordnet. Genauer gesagt ist die Positionsbeziehung zwischen dem Sensor-Koordinatensystem C3 und dem Roboter-Koordinatensystem C1 durch Kalibrierung bekannt, und die Koordinaten des Sensor-Koordinatensystems C3 und die Koordinaten des Roboter-Koordinatensystems C1 können über eine bekannte Transformationsmatrix M2 (z. B. die homogene Transformationsmatrix) gegenseitig transformiert werden. Somit sind die Position und die Ausrichtung (d. h. die Ursprungsposition und die Richtung jeder Achse des Sensor-Koordinatensystems C3) des Bildsensors 14 im Roboter-Koordinatensystem C1 bekannt.

[0027] In einer tatsächlichen Arbeitslinie bildet der Prozessor 70 der Steuerung 16 die Werkstücke W, die in Stücken in dem Behälter A gestapelt sind, mit dem Bildsensor 14 ab und führt auf der Grundlage der abgebildeten Bilddaten ID den Vorgang aus, um den Roboter 12 zu veranlassen, das Werkstück W mit der Hand 30 zu greifen und das Werkstück W aus dem Behälter A zu entnehmen.

[0028] In dem in **Fig. 4** dargestellten Beispiel ist das Werkstück W beispielsweise eine Pleuelstange für ein Automobil und umfasst eine Welle W1, einen großen Ring W2 und einen kleinen Ring W3. Die Welle W1 erstreckt sich gerade entlang einer Achse B. Der große Ring W2 ist an einem Ende der Welle W1 befestigt und hat eine Durchgangsbohrung H1. Der kleine Ring W3 hingegen ist am anderen Ende der Welle W1 befestigt und hat eine Durchgangsbohrung H2.

[0029] Am Werkstück W wird ein Werkstück-Koordinatensystem C4 eingestellt, um den Vorgang des Greifens des Werkstücks W durch den Roboter 12 mit der Hand 30 durchzuführen. Das Werkstück-Koordinatensystem C4 ist ein Steuerungs-Koordinatensystem C, das die Position und Orientierung des Werkstücks W im Roboter-Koordinatensystem C1 bestimmt. In der vorliegenden Ausführungsform ist das Werkstück-Koordinatensystem C4 in Bezug auf das Werkstück W so eingestellt, dass sich ein Ursprung des Werkstück-Koordinatensystems C4 in der Mitte der Welle W1 befindet, eine y-Achse des Werkstück-Koordinatensystems C4

parallel zur Achse B verläuft (oder mit ihr zusammenfällt) und eine z-Achse des Werkstück-Koordinatensystems C4 parallel zu den Mittelachsen der Durchgangslöcher H1 und H2 verläuft.

[0030] Fig. 5 zeigt ein Beispiel für einen Zustand, in dem der Roboter 12 das Werkstück W mit der Hand 30 ergreift. In dem in Fig. 5 dargestellten Beispiel ergreift die Hand 30 den großen Ring W2 des Werkstücks W mit den Krallenteilen 34 und 36, indem sie die in das Durchgangsloch H1 eingeführten Krallenteile 34 und 36 öffnet. Um den Roboter 12 zu veranlassen, den Vorgang des Greifens des Werkstücks W, wie in Fig. 5 dargestellt, auszuführen, müssen die Position und die Ausrichtung, in der der Roboter 12 das Werkstück W mit der Hand 30 ergreift, gelehrt werden.

[0031] Im Folgenden wird ein Verfahren beschrieben, mit welchem dem Roboter 12 ein Vorgang zum Greifen des Werkstücks W im Robotersystem 10 beigebracht wird. Zunächst veranlasst ein Bediener die Hand 30 des Roboters 12, das Werkstück W in einer Greifposition zu greifen, die der Bediener lehren möchte. Zum Beispiel steuert der Bediener das Lehrgerät 18, um den Roboter 12 zu rütteln, so dass das Werkstück W von der Hand 30 gegriffen wird.

[0032] Genauer gesagt, betätigt der Bediener, während er das Anzeigegerät 56 des Lehrgeräts 18 betrachtet, das Eingabegerät 58, um die Hand 30 durch das mechanische Teil 42 des Roboters 12 zu bewegen, und führt die geschlossenen Krallenteile 34 und 36 in das Durchgangsloch H1 des Werkstücks W ein, das an einem vorbestimmten Lagerort angeordnet ist. Anschließend greift der Bediener das Werkstück W, indem er das Eingabegerät 58 betätigt, um die Krallenteile 34 und 36 zu öffnen und die Krallenteile 34 und 36 gegen die Innenwandfläche des Durchgangslochs H1 zu drücken.

[0033] Zu diesem Zeitpunkt veranlasst der Bediener den Roboter 12 zu rütteln, so dass die Hand 30 das Werkstück W in der Greifposition ergreift, die der Bediener anlernen möchte. Im Folgenden wird ein Fall beschrieben, in dem der Bediener die Hand 30 veranlasst, das Werkstück W in der in Fig. 5 dargestellten Greifposition zu greifen. Anschließend betätigt der Bediener das Eingabegerät 58, um den Roboter 12 zu rütteln, und bewegt die Hand 30 durch den mechanischen Teil 42 des Roboters 12, so dass sich das von der Hand 30 gegriffene Werkstück W im Sichtfeld des Bildsensors 14 befindet.

[0034] Anschließend betätigt der Bediener das Eingabegerät 58, um den Bildsensor 14 zu veranlassen, das von der Hand 30 ergriffene Werkstück W abzubilden. Der Bildsensor 14 empfängt über die Steuerung 16 einen Abbildungsbehl vom Lehrgerät 18 und bildet Bilddaten ID_1 des Werkstücks W ab. Ein Beispiel für die Bilddaten ID_1 ist in Fig. 6 dargestellt.

[0035] In dem in Fig. 6 dargestellten Beispiel werden visuelle Merkmale (Kante, Loch, Scheitelpunkt o.ä.) des Werkstücks W und der Hand 30 als dreidimensionale Punktwolke in den Bilddaten ID_1 dargestellt. Jeder Punkt, der die dreidimensionale Punktwolke bildet, enthält die Information über den oben beschriebenen Abstand d und kann als dreidimensionale Koordinaten (X_S, Y_S, Z_S) im Sensor-Koordinatensystem C3 dargestellt werden. Das heißt, in der vorliegenden Ausführungsform sind die Bilddaten ID_1 dreidimensionale Bilddaten.

[0036] Der Prozessor 50 des Lehrgeräts 18 erfasst die Bilddaten- ID_1 vom Bildsensor 14 über die Steuerung 16 und die E-/A-Schnittstelle 54. In der vorliegenden Ausführungsform dient der Prozessor 50 also als Einheit zur Erfassung von Bilddaten 82 (Fig. 2), die die Bilddaten-ID des vom Bildsensor 14 abgebildeten Werkstücks W erfasst, wenn der Roboter 12 das Werkstück W mit der Hand 30 greift.

[0037] Anschließend ermittelt der Prozessor 50 auf der Grundlage der Bilddaten ID_1 die Werkstückpositionsdaten WPD_1 , die die Position und Orientierung des Werkstücks W im Roboter-Koordinatensystem C1 angeben, wenn der Bildsensor 14 die Bilddaten ID_1 aufnimmt. Konkret erhält der Prozessor 50 zunächst ein Werkstückmodell WM, das das Werkstück W modelliert. Dieses Werkstückmodell WM ist z.B. ein dreidimensionales CAD-Modell, das vorab im Speicher 52 abgelegt wird.

[0038] Der Prozessor 50 analysiert das dreidimensionale Punktwolkenbild des in der Bilddaten- ID_1 gezeigten Werkstücks W unter Verwendung eines vorbestimmten Mustervergleichsparameters und ordnet das Werkstückmodell WM in der Bilddaten- ID_1 auf simulierte Weise so an, dass es dem in der Bilddaten- ID_1 gezeigten Werkstück W entspricht. Fig. 7 zeigt das Werkstückmodell WM, das in der Bilddaten- ID_1 auf simulierte Weise angeordnet ist. In Fig. 7 ist das Bild der Hand 30 zum besseren Verständnis weggelassen.

[0039] Anschließend setzt der Prozessor 50 das Werkstück-Koordinatensystem C4 in die in **Fig. 4** dargestellte Lagebeziehung zu dem in der Bilddaten-ID₁ angeordneten Werkstückmodell WM. Dieses Werkstück-Koordinatensystem C4 gibt die Position und Orientierung des in der Bilddaten-ID₁ dargestellten Werkstücks W im Sensor-Koordinatensystem C3 an und wird als Koordinaten Q_{SW_1} (X_{SW_1} , Y_{SW_1} , Z_{SW_1} , W_{SW_1} , P_{SW_1} , R_{SW_1}) (erste Koordinaten) im Sensor-Koordinatensystem C3 dargestellt.

[0040] Dabei geben die Koordinaten (X_{SW_1} , Y_{SW_1} , Z_{SW_1}) die Ursprungsposition des Werkstück-Koordinatensystems C4 im Sensor-Koordinatensystem C3 und die Koordinaten (W_{SW_1} , P_{SW_1} , R_{SW_1}) die Richtung (sog. Gieren, Nicken, Rollen) jeder Achse des Werkstück-Koordinatensystems C4 im Sensor-Koordinatensystem C3 an. Der Prozessor 50 erfasst die Koordinaten Q_{SW_1} des Werkstück-Koordinatensystems C4 im Sensor-Koordinatensystem C3 als Daten, die die Position und Orientierung des in den Bilddaten ID₁ dargestellten Werkstücks W im Sensor-Koordinatensystem C3 angeben.

[0041] Anschließend verwendet der Prozessor 50 die oben beschriebene Transformationsmatrix M2, um die erfassten Koordinaten Q_{SW_1} in das Roboter-Koordinatensystem C1 zu transformieren, wodurch die Koordinaten Q_{RW_1} (X_{RW_1} , Y_{RW_1} , Z_{RW_1} , W_{RW_1} , P_{RW_1} , R_{RW_1}) (zweite Koordinaten) des in **Fig. 7** dargestellten Werkstück-Koordinatensystems C4 im Roboter-Koordinatensystem C1 erhalten werden. Bei diesen Koordinaten Q_{RW_1} handelt es sich um Daten, die die Position und die Ausrichtung des in den Bilddaten ID₁ dargestellten Werkstücks W (genauer gesagt, des Werkstückmodells WM in **Fig. 7**) im Roboter-Koordinatensystem C1 angeben.

[0042] Der Prozessor 50 erfasst diese Koordinaten Q_{RW_1} als Werkstückpositionsdaten WPD₁. In der vorliegenden Ausführungsform dient der Prozessor 50 also als Einheit zur Erfassung der Werkstückposition 84 (**Fig. 2**), die auf der Grundlage der Bilddaten ID₁ die Werkstückpositionsdaten WPD₁(Koordinaten Q_{RW_1}) erfasst.

[0043] Andererseits erfasst der Prozessor 50 die Handpositionsdaten HPD₁, die die Position und Orientierung der Hand 30 im Roboter-Koordinatensystem C1 angeben, wenn der Bildsensor 14 die Bilddaten ID₁ aufnimmt. Insbesondere erfasst der Prozessor 50 als Handpositionsdaten HPD₁ die Koordinaten Q_{RT_1} (X_{RT_1} , Y_{RT_1} , Z_{RT_1} , W_{RT_1} , P_{RT_1} , R_{RT_1}) (dritte Koordinaten) des Werkzeug-Koordinatensystems C2 im Roboter-Koordinatensystem C1, wenn der Bildsensor 14 die Bilddaten ID₁ aufnimmt. In der vorliegenden Ausführungsform dient der Prozessor 50 also als Einheit zur Erfassung der Handposition 86 (**Fig. 2**), die die Handpositionsdaten HPD₁ (Koordinaten Q_{RT_1}) erfasst.

[0044] Anschließend erfasst der Prozessor 50 auf der Grundlage der erfassten Werkstückpositionsdaten WPD₁ und der Handpositionsdaten HPD₁ die Lehrpositionsdaten TPD₁, die die Positionsbeziehung zwischen der Hand 30 und dem Werkstück W im Steuerungs-Koordinatensystem C angeben, wenn der Bildsensor 14 die Bilddaten ID₁ aufnimmt.

[0045] Der Prozessor 50 transformiert beispielsweise die Koordinaten Q_{RW_1} als Werkstückpositionsdaten WPD₁ in die Koordinaten des Werkzeug-Koordinatensystems C2, die durch die Koordinaten Q_{RT_1} als Handpositionsdaten HPD₁ repräsentiert werden, basierend auf den als Werkstückpositionsdaten WPD₁ erfassten Koordinaten Q_{RW_1} und den als Handpositionsdaten HPD₁ erfassten Koordinaten Q_{RT_1} . Da die Lagebeziehung zwischen dem Werkzeug-Koordinatensystem C2 und dem Werkstück-Koordinatensystem C4 im Roboter-Koordinatensystem C1 durch die Koordinaten Q_{RW_1} und Q_{RT_1} bekannt ist, können die Koordinaten Q_{RW_1} des Werkstück-Koordinatensystems C4 im Roboter-Koordinatensystem C1 in das Werkzeug-Koordinatensystem C2 transformiert werden.

[0046] Mit dieser Koordinatentransformation erfasst der Prozessor 50 die Koordinaten Q_{TW_1} (X_{TW_1} , Y_{TW_1} , Z_{TW_1} , W_{TW_1} , P_{TW_1} , R_{TW_1}) des Werkstück-Koordinatensystems C4 im Werkzeug-Koordinatensystem C2, wenn der Bildsensor 14 die Bilddaten ID₁ aufnimmt. Diese Koordinaten Q_{TW_1} sind Daten, die die Position und die Orientierung (d.h. die Ursprungsposition und die Richtung jeder Achse des Werkstück-Koordinatensystems C4) des Werkstücks W relativ zur Hand 30 (d.h. dem Werkzeug-Koordinatensystem C2) angeben, wenn der Bildsensor 14 die Bilddaten ID₁ aufnimmt. Der Prozessor 50 erfasst diese Koordinaten Q_{TW_1} als die Lehrpositionsdaten TPD₁.

[0047] Ein weiteres Beispiel: Ausgehend von den Koordinaten Q_{RW_1} als Werkstückpositionsdaten WPD₁ und den Koordinaten Q_{RT_1} als Handpositionsdaten HPD₁ transformiert der Prozessor 50 die Koordinaten Q_{RW_1} als Handpositionsdaten HPD₁ in die durch die Koordinaten Q_{RW_1} repräsentierten Koordinaten des Werkstück-Koordinatensystems C4 als Werkstückpositionsdaten WPD₁. Somit erfasst der Prozessor 50 die

Koordinaten Q_{WT_1} (X_{WT_1} , Y_{WT_1} , Z_{WT_1} , W_{WT_1} , P_{WT_1} , R_{WT_1}) des Werkzeug-Koordinatensystems C2 im Werkstück-Koordinatensystem C4, wenn der Bildsensor 14 die Bilddaten ID_1 aufnimmt.

[0048] Bei diesen Koordinaten Q_{WT_1} handelt es sich um Daten, die die Position und die Ausrichtung (d. h. die Ursprungsposition und die Richtung jeder Achse des Werkzeug-Koordinatensystems C2) der Hand 30 relativ zum Werkstück W (d. h. dem Werkstück-Koordinatensystem C4) angeben, wenn der Bildsensor 14 die Bilddaten ID_1 aufnimmt. Der Prozessor 50 erfasst diese Koordinaten Q_{WT_1} als Lehrpositionsdaten TPD_1 .

[0049] So dient der Prozessor 50 in der vorliegenden Ausführungsform als Einheit zur Erfassung der Lehrposition 88 (**Fig. 2**), die Lehrpositionsdaten TPD_1 (Koordinaten Q_{TW_1} , Koordinaten Q_{WT_1}) erfasst, die die Positionsbeziehung zwischen der Hand 30 und dem Werkstück W im Steuerungs-Koordinatensystem C (Werkzeug-Koordinatensystem C2, Werkstück-Koordinatensystem C4) angeben, wenn der Bildsensor 14 die Bilddaten ID_1 aufnimmt, basierend auf den Werkstückpositionsdaten WPD_1 und den Handpositionsdaten HPD_1 .

[0050] Nach der Erfassung der Lehrpositionsdaten TPD_1 bedient der Bediener das Eingabegerät 58, um die Ausrichtung der Hand 30 zu ändern, während er das Werkstück W durch den Betrieb des mechanischen Teils 42 des Roboters 12 greift. Zum Beispiel bedient der Bediener das Eingabegerät 58, um Eingabedaten für die Drehung der Hand 30 um einen vorbestimmten Winkel θ (z. B. 10 Grad) um die x-Achse, y-Achse oder z-Achse des Werkzeug-Koordinatensystems C2 einzugeben, das zu diesem Zeitpunkt im Roboter-Koordinatensystem C1 festgelegt ist.

[0051] Alternativ kann der Bediener Eingabedaten eingeben, um die Hand 30 um einen vorgegebenen Winkel θ um die x-Achse, y-Achse oder z-Achse des Werkstück-Koordinatensystems C4 zu drehen, das zu diesem Zeitpunkt im Roboter-Koordinatensystem C1 festgelegt ist. Wenn beispielsweise die y-Achse des Werkstück-Koordinatensystems C4 mit der Achse B des Werkstücks W zusammenfällt, kann der Bediener Eingabedaten eingeben, um die Hand 30 um die y-Achse (d. h. die Achse B) des Werkstück-Koordinatensystems C4 zu drehen.

[0052] Als Reaktion auf die Eingabedaten des Bedieners sendet der Prozessor 50 über die Steuerung 16 einen Befehl an die Servomotoren 40 des Roboters 12, um das mechanische Teil 42 so zu betätigen, dass die Ausrichtung der Hand 30, die das Werkstück W greift, geändert wird. In der vorliegenden Ausführungsform dient der Prozessor 50 also als Robotersteuereinheit 90 (**Fig. 2**), die den Roboter 12 so betreibt, dass die Ausrichtung der Hand 30 geändert wird.

[0053] Wenn die Ausrichtung der Hand 30 geändert wird, betätigt der Bediener das Eingabegerät 58, um den Bildsensor 14 zu veranlassen, das von der Hand 30 ergriffene Werkstück W abzubilden, und der Prozessor 50, der als Einheit zur Erfassung von Bilddaten 82 dient, erfasst die Bilddaten ID_2 des Werkstücks W. Anschließend dient der Prozessor 50 als Einheit zur Erfassung der Werkstückposition 84 und erfasst die Koordinaten Q_{SW_2} (X_{SW_2} , Y_{SW_2} , Z_{SW_2} , W_{SW_2} , P_{SW_2} , R_{SW_2}) (erste Koordinaten) des Werkstück-Koordinatensystems C4 im Sensor-Koordinatensystem C3 durch Anwendung des Werkstückmodells WM auf die Bilddaten ID_2 durch das oben beschriebene Verfahren.

[0054] Anschließend dient der Prozessor 50 als Einheit zur Erfassung der Werkstückposition 84 und erfasst die Koordinaten Q_{RW_2} (X_{RW_2} , Y_{RW_2} , Z_{RW_2} , W_{RW_2} , P_{RW_2} , R_{RW_2}) (zweite Koordinaten) des Werkstück-Koordinatensystems C4 im Roboter-Koordinatensystem C1 als Werkstückpositionsdaten WPD_2 , wenn die Bilddaten ID_2 aufgenommen werden, indem die erfassten Koordinaten Q_{SW_2} nach dem oben beschriebenen Verfahren in das Roboter-Koordinatensystem C1 transformiert werden.

[0055] Darüber hinaus dient der Prozessor 50 als Einheit zur Erfassung der Handposition 86 und erfasst die Koordinaten Q_{RT_2} (X_{RT_2} , Y_{RT_2} , Z_{RT_2} , W_{RT_2} , P_{RT_2} , R_{RT_2}) (dritte Koordinaten) des Werkzeug-Koordinatensystems C2 im Roboter-Koordinatensystem C1 als Handpositionsdaten HPD_2 während der Aufnahme der Bilddaten ID_2 nach dem oben beschriebenen Verfahren.

[0056] Anschließend dient der Prozessor 50 als Einheit zur Erfassung der Lehrposition 88 und erfasst die Koordinaten Q_{TW_2} (X_{TW_2} , Y_{TW_2} , Z_{TW_2} , W_{TW_2} , P_{TW_2} , R_{TW_2}) des Werkstück-Koordinatensystems C4 im Werkzeug-Koordinatensystem C2 oder die Koordinaten Q_{WT_2} (X_{WT_2} , Y_{WT_2} , Z_{WT_2} , W_{WT_2} , P_{WT_2} , R_{WT_2}) des Werkzeug-Koordinatensystems C2 im Werkstück-Koordinatensystem C4 als Lehrpositionsdaten TPD_2 bei der Abbildung der Bilddaten ID_2 durch das oben beschriebene Verfahren.

[0057] Auf diese Weise betätigt der Bediener das Eingabegerät 58, um die Ausrichtung der Hand 30 wiederholt zu ändern, der Bildsensor 14 nimmt das von der Hand 30 gegriffene Werkstück W jedes Mal auf, wenn die Ausrichtung der Hand 30 geändert wird, und der Prozessor 50 dient als Einheit zur Erfassung von Bilddaten 82, um eine Vielzahl von Bilddaten ID_n ($n = 1, 2, 3, \dots$) zu erfassen, die vom Bildsensor 14 aufgenommen wurden.

[0058] Der Prozessor 50 dient als Einheit zur Erfassung der Werkstückposition 84 zur Erfassung von Werkstückpositionsdaten WPD_N : Koordinaten Q_{RW_n} ($X_{RW_n}, Y_{RW_n}, Z_{RW_n}, W_{RW_n}, P_{RW_n}, R_{RW_n}$), wenn jede Bilddaten- ID_n abgebildet wird, durch das oben beschriebene Verfahren und dient als Einheit zur Erfassung der Handposition 86 zur Erfassung von Handpositionsdaten HPD_N : Koordinaten Q_{RT_n} ($X_{RT_n}, Y_{RT_n}, Z_{RT_n}, W_{RT_n}, P_{RT_n}, R_{RT_n}$), wenn jede Bilddaten- ID_n durch das oben beschriebene Verfahren abgebildet wird.

[0059] Anschließend dient der Prozessor 50 als Einheit zur Erfassung der Lehrposition 88 und erfasst die Lehrpositionsdaten TPD_N : Koordinaten Q_{TW_n} ($X_{TW_n}, Y_{TW_n}, Z_{TW_n}, W_{TW_n}, P_{TW_n}, R_{TW_n}$) oder Koordinaten Q_{WT_n} ($X_{WT_n}, Y_{WT_n}, Z_{WT_n}, W_{WT_n}, P_{WT_n}, R_{WT_n}$), wenn jede Bilddaten- ID_n abgebildet wird, basierend auf den entsprechenden Werkstückpositionsdaten WPD_N (Koordinaten Q_{RW_n}) und den entsprechenden Handpositionsdaten HPD_N (Koordinaten Q_{RT_n}), die durch das oben beschriebene Verfahren erfasst werden. So kann der Prozessor 50 eine Vielzahl von Lehrpositionsdaten TPD_n erfassen, die den verschiedenen Ausrichtungen der Hand 30 und des Werkstücks W entsprechen.

[0060] Anschließend dient der Prozessor 50 als Einheit zur Erfassung der Lehrposition 88 und ermittelt auf der Grundlage der mehreren erfassten Lehrpositionsdaten TPD_n neue Lehrpositionsdaten TPD_0 , die bei dem Vorgang verwendet werden sollen, um den Roboter 12 zu veranlassen, das Werkstück W tatsächlich mit der Hand 30 zu greifen. Im Folgenden wird beschrieben, wie der Prozessor 50 bei der Erfassung der Koordinaten Q_{TW_n} ($X_{TW_n}, Y_{TW_n}, Z_{TW_n}, W_{TW_n}, P_{TW_n}, R_{TW_n}$) des Werkzeug-Koordinatensystems C2 als Lehrpositionsdaten TPD_n neue Lehrpositionsdaten TPD_0 erhält.

[0061] Zunächst führt der Prozessor 50 für jede der Vielzahl von Koordinaten Q_{TW_n} die Verarbeitung PR1 durch, die Koordinaten außerhalb des vorbestimmten zulässigen Bereichs ausschließt. Insbesondere führt der Prozessor 50 die Verarbeitung PR1, die Koordinaten außerhalb des zulässigen Bereichs ausschließt, für Koordinaten ($X_{TW_n}, Y_{TW_n}, Z_{TW_n}$) durch, die Positionen in den Koordinaten Q_{TW_n} darstellen.

[0062] Als Beispiel ermittelt der Prozessor 50 den Abstand Δ_n vom Ursprung des Werkzeug-Koordinatensystems C2 aus der Gleichung: $\Delta_n = (X_{TW_n}^2 + Y_{TW_n}^2 + Z_{TW_n}^2)^{1/2}$. Anschließend bestimmt der Prozessor 50, ob der erhaltene Abstand Δ_n innerhalb eines vorbestimmten zulässigen Bereichs $[\Delta_{th1}, \Delta_{th2}]$ liegt oder nicht, und wenn der Abstand Δ_n innerhalb des zulässigen Bereichs $[\Delta_{th1}, \Delta_{th2}]$ liegt (d.h., $\Delta_{th1} \leq \Delta_n \leq \Delta_{th2}$), werden die erfassten Koordinaten Q_{TW_n} im Speicher 52 als die aktive Koordinatengruppe GRP registriert, während, wenn der Abstand Δ_n außerhalb des zulässigen Bereichs $[\Delta_{th1}, \Delta_{th2}]$ liegt (d. h., $\Delta_n < \Delta_{th1}$, oder $\Delta_{th2} < \Delta_n$), werden die erfassten Koordinaten Q_{TW_n} aus der aktiven Koordinatengruppe GRP ausgeschlossen (oder aus dem Speicher 52 gelöscht).

[0063] Ein weiteres Beispiel: Der Prozessor 50 ermittelt die durchschnittlichen Koordinaten Q_{TW_AV} ($X_{TW_AV}, Y_{TW_AV}, Z_{TW_AV}$) der Koordinaten Q_{TW_n} ($X_{TW_n}, Y_{TW_n}, Z_{TW_n}$). Konkret erhält der Prozessor 50 die durchschnittlichen Koordinaten Q_{TW_AV} (X, Y_{TW_AV}, Z_{TW_AV}) aus den Gleichungen:

$$X_{TW_AV} = 1/n \cdot \sum(X_{TW_n}), Y_{TW_AV} = 1/n \cdot \sum(Y_{TW_n}), \text{ und } Z_{TW_AV} = 1/n \cdot \sum(Z_{TW_n}).$$

[0064] Darüber hinaus erhält der Prozessor 50 die Standardabweichung σ_x , σ_y und σ_z der Koordinaten Q_{TW_n} ($X_{TW_n}, Y_{TW_n}, Z_{TW_n}$), jeweils. Zum Beispiel erhält der Prozessor 50 die oben genannten Werte aus den folgenden Gleichungen: $\sigma_x = (1/n \cdot \sum\{X_{TW_n} - X_{TW_AV}\})^{1/2}$, $\sigma_y = (1/n \cdot \sum\{Y_{TW_n} - Y_{TW_AV}\})^{1/2}$, $\sigma_z = (1/n \cdot \sum\{Z_{TW_n} - Z_{TW_AV}\})^{1/2}$.

[0065] Anschließend bestimmt der Prozessor 50 für jede der Koordinaten X_{TW_n} , Y_{TW_n} und Z_{TW_n} in den Koordinaten Q_{TW_n} den zulässigen Bereich unter Verwendung des erhaltenen Durchschnitts und der Standardabweichung σ und des vorbestimmten Koeffizienten α (z. B. ist α eine positive ganze Zahl) wie folgt: $[X_{TW_AV} - \alpha\sigma_x, X_{TW_AV} + \alpha\sigma_x]$ (d. h., $X_{TW_AV} - \alpha\sigma_x \leq X_{TW_n} \leq X_{TW_AV} + \alpha\sigma_x$), $[Y_{TW_AV} - \alpha\sigma_y, Y_{TW_AV} + \alpha\sigma_y]$ (d. h., $Y_{TW_AV} - \alpha\sigma_y \leq Y_{TW_n} \leq Y_{TW_AV} + \alpha\sigma_y$), und $[Z_{TW_AV} - \alpha\sigma_z, Z_{TW_AV} + \alpha\sigma_z]$ (d. h., $Z_{TW_AV} - \alpha\sigma_z \leq Z_{TW_n} \leq Z_{TW_AV} + \alpha\sigma_z$).

[0066] Der Prozessor 50 bestimmt, ob die Koordinaten X_{TW_n} innerhalb des zulässigen Bereichs $[X_{TW_AV} - \sigma_X, X_{TW_AV} + \sigma_X]$ liegen oder nicht, ob die Koordinaten Y_{TW_n} innerhalb des zulässigen Bereichs $[Y_{TW_AV} - \sigma_Y, Y_{TW_AV} + \sigma_Y]$ liegen oder nicht und ob die Koordinaten Z_{TW_n} innerhalb des zulässigen Bereichs $[Z_{TW_AV} - \sigma_Z, Z_{TW_AV} + \sigma_Z]$ liegen oder nicht.

[0067] Anschließend registriert der Prozessor 50 die erfassten Koordinaten Q_{TW_n} als die aktive Koordinatengruppe GRP, wenn alle Koordinaten X_{TW_n} , Y_{TW_n} und Z_{TW_n} innerhalb des zulässigen Bereichs liegen, während er die erfassten Koordinaten Q_{TW_n} aus der aktiven Koordinatengruppe GRP ausschließt, wenn mindestens eine der Koordinaten X_{TW_n} , Y_{TW_n} und Z_{TW_n} außerhalb des zulässigen Bereichs liegt.

[0068] Darüber hinaus führt der Prozessor 50 für die Koordinaten $(W_{TW_n}, P_{TW_n}, R_{TW_n})$, die die Orientierung in den Koordinaten Q_{TW_n} darstellen, die Verarbeitung PR1 durch, die die Koordinaten außerhalb des zulässigen Bereichs ausschließt. Konkret stellt der Prozessor 50 zunächst die Koordinaten $(W_{TW_n}, P_{TW_n}, R_{TW_n})$, die die Orientierung angeben, als 3×3 bekannte Matrix $M3_n$ dar.

[0069] In dieser Matrix $M3_n$ ist ein Vektor $VT1_n$, der durch drei Parameter in einer ersten Spalte dargestellt wird, ein Einheitsvektor, der die Rotationskomponente um die x-Achse des Werkzeug-Koordinatensystems C2 darstellt, ein Vektor $VT2_n$, der durch drei Parameter in einer zweiten Spalte dargestellt wird, ein Einheitsvektor, der die Rotationskomponente um die y-Achse des Werkzeug-Koordinatensystems C2 darstellt, und ein Vektor $VT3_n$, der durch drei Parameter in einer dritten Spalte dargestellt wird, ein Einheitsvektor, der die Rotationskomponente um die z-Achse des Werkzeug-Koordinatensystems C2 darstellt.

[0070] So erhält der Prozessor 50 beispielsweise das innere Produkt $IP1_n$ des Vektors $VT1_n$ der Matrix $M3_n$, der die ersten Koordinaten Q_{TW_n} $(W_{TW_n}, P_{TW_n}, R_{TW_n})$ darstellt, und des Vektors $VT1_{n+1}$ der Matrix $M3_{n+1}$, der die zweiten Koordinaten $Q_{TW_{n+1}}$ $(W_{TW_{n+1}}, P_{TW_{n+1}}, R_{TW_{n+1}})$ darstellt. Dieses innere Produkt $IP1_n$ stellt einen Winkel ϕ_1 (genauer gesagt, $\cos \phi_1$) zwischen dem Vektor $VT1_n$ und dem Vektor $VT1_{n+1}$ dar, d. h. den Betrag der Änderung der Rotationskomponente um die x-Achse des Werkzeug-Koordinatensystems C2.

[0071] Der Prozessor 50 ermittelt auch das innere Produkt $IP3_n$ des Vektors $VT3_n$ der Matrix $M3_n$ und des Vektors $VT3_{n+1}$ der Matrix $M3_{n+1}$. Dieses innere Produkt $IP3_n$ stellt den Winkel ϕ_3 (genauer, $\cos \phi_3$) zwischen dem Vektor $VT3_n$ und dem Vektor $VT3_{n+1}$ dar, d. h. den Betrag der Änderung der Drehkomponente um die z-Achse des Werkzeug-Koordinatensystems C2.

[0072] Anschließend bestimmt der Prozessor 50, ob das erhaltene innere Produkt $IP1_n$ gleich oder größer als ein vorbestimmter Schwellenwert $IP1_{th}$ ($IP1_n \geq IP1_{th}$) ist oder nicht, und bestimmt auch, ob das erhaltene innere Produkt $IP3_n$ gleich oder größer als ein vorbestimmter Schwellenwert $IP3_{th}$ ($IP3_n \geq IP3_{th}$) ist oder nicht. Wenn $IP1_n \geq IP1_{th}$ und $IP3_n > IP3_{th}$ ist, registriert der Prozessor 50 sowohl die ermittelten ersten Koordinaten Q_{TW_n} als auch die zweiten Koordinaten $Q_{TW_{n+1}}$ als aktive Koordinatengruppe GRP in dem Speicher 52.

[0073] Andererseits schließt der Prozessor 50 aus der aktiven Koordinatengruppe GRP entweder die erfassten ersten Koordinaten Q_{TW_n} oder die zweiten Koordinaten $Q_{TW_{n+1}}$ aus (oder löscht sie aus dem Speicher 52), wenn $IP1_n < IP1_{th}$ oder $IP3_n < IP3_{th}$. Der Bediener kann im Voraus entscheiden, welche der ersten Koordinaten Q_{TW_n} und der zweiten Koordinaten $Q_{TW_{n+1}}$ ausgeschlossen werden sollen.

[0074] Der Prozessor 50 kann das innere Produkt $IP1_i$ des Vektors $VT1_n$ der Matrix $M3_n$, der die ersten Koordinaten Q_{TW_n} $(W_{TW_n}, P_{TW_n}, R_{TW_n})$ darstellt, und jeden der Vektoren $VT1_{n,i}$ („i“ ist eine positive ganze Zahl ungleich „n“) der Matrix $M3_{n,i}$, der die Koordinaten $Q_{TW_{n,i}}$ $(W_{TW_{n,i}}, P_{TW_{n,i}}, R_{TW_{n,i}})$ darstellt, die von den ersten Koordinaten Q_{TW_n} verschieden sind, erhalten. In ähnlicher Weise kann der Prozessor 50 ein inneres Produkt $IP3_i$ des Vektors $VT3_n$ der Matrix $M3_n$ der ersten Koordinaten Q_{TW_n} und jedes der Vektoren $VT3_{n,i}$ der Matrix $M3_{n,i}$ der Koordinaten $Q_{TW_{n,i}}$ mit Ausnahme der ersten Koordinaten Q_{TW_n} erhalten.

[0075] Anschließend kann der Prozessor 50 bestimmen, ob jedes der erhaltenen inneren Produkte $IP1_i$ gleich oder größer als ein Schwellenwert $IP1_{th}$ ($IP1_i \geq IP1_{th}$) ist oder nicht, und bestimmt auch, ob jedes der erhaltenen inneren Produkte $IP3_i$ gleich oder größer als ein Schwellenwert $IP3_{th}$ ($IP3_i \geq IP3_{th}$) ist oder nicht. Wenn mindestens eines (oder alle) der erhaltenen inneren Produkte $IP1_i$ den Wert $IP1_i \geq IP1_{th}$ erfüllt und mindestens eines (oder alle) der erhaltenen inneren Produkte $IP3_i$ den Wert $IP3_i \geq IP3_{th}$ erfüllt, kann der Prozessor 50 die erfassten ersten Koordinaten Q_{TW_n} im Speicher 52 als die aktive Koordinatengruppe GRP registrieren.

[0076] Andererseits kann der Prozessor 50 die erhaltenen ersten Koordinaten Q_{TW_n} aus der aktiven Koordinatengruppe GRP ausschließen, wenn alle (oder mindestens eines) der erhaltenen inneren Produkte $IP1_i$, $IP1_i < IP1_{th}$ sind, oder wenn alle (oder mindestens eines) der erhaltenen inneren Produkte $IP3_i$, $IP3_i < IP3_{th}$ sind. Der Prozessor 50 kann diese Verarbeitung PR1 für alle erfassten Koordinaten Q_{TW_n} wiederholen.

[0077] Alternativ dazu ermittelt der Prozessor 50 den resultierenden Vektor $VT1_R = \Sigma(VT1_{-n})$ für den Vektor $VT1_{-1}$, $VT1_{-2}$, $VT1_{-3}$, ... $VT1_{-n}$ und erhält das innere Produkt $IP1_{R_n}$ des resultierenden Vektors $VT1_R$ und jedes Vektors $VT1_{-n}$. Anschließend stellt der Prozessor 50 fest, ob das erhaltene innere Produkt $IP1_{R_n}$ gleich oder größer als ein vorbestimmter Schwellenwert $IP1_{Rth}$ ($IP1_{R_n} \geq IP1_{Rth}$) ist oder nicht. Der Prozessor 50 registriert die Koordinaten Q_{TW_n} als aktive Koordinatengruppe GRP im Speicher 52, wenn $IP1_{R_n} \geq IP1_{Rth}$, während er die Koordinaten Q_{TW_n} aus der aktiven Koordinatengruppe GRP ausschließt (oder aus dem Speicher 52 löscht), wenn $IP1_{R_n} < IP1_{Rth}$.

[0078] Ähnlich wie für den Vektor $VT1_{-n}$ kann der Prozessor 50 auch für den Vektor $VT2_{-n}$ die aus der aktiven Koordinatengruppe GRP auszuschließenden Koordinaten Q_{TW_n} bestimmen, indem er den resultierenden Vektor $VT2_R = \Sigma(VT2_{-n})$ ermittelt, das innere Produkt $IP2_{R_n}$ des resultierenden Vektors $VT2_R$ und jedes $VT2_{-n}$ ermittelt, und Vergleichen des erhaltenen inneren Produkts mit dem Schwellenwert $IP2_{Rth}$ oder für $VT3_{-n}$ durch Erhalten des resultierenden Vektors $VT3_R = \Sigma(VT3_{-n})$, Erhalten des inneren Produkts $IP3_{R_n}$ des resultierenden Vektors $VT3_R$ und jedes $VT3_{-n}$ und Vergleichen des erhaltenen inneren Produkts mit dem Schwellenwert $IP3_{Rth}$.

[0079] Auf diese Weise führt der Prozessor 50 die Verarbeitung PR1 durch, um für jede einer Vielzahl von Koordinaten Q_{TW_n} auszuschließen. Diese Verarbeitung PR1 ermöglicht es, die durch falsche Erkennung erfassten Koordinaten Q_{TW_n} auszuschließen. Der Schwellenwert Δ_{th1} , Δ_{th2} , $IP1_{th}$, $IP3_{th}$, $IP1_{Rth}$, $IP2_{Rth}$ oder $IP3_{Rth}$ (oder der Koeffizient α), der die verschiedenen oben beschriebenen zulässigen Bereiche definiert, wird vom Bediener vorgegeben.

[0080] Nach der ausschließenden Verarbeitung PR1 führt der Prozessor 50 die Verarbeitung PR2 durch, die die in der aktiven Koordinatengruppe GRP registrierten Koordinaten Q_{TW_m} (m steht für die Anzahl n der in der aktiven Koordinatengruppe GRP registrierten Koordinaten Q_{TW_n}) mittelt. Insbesondere erhält der Prozessor 50 die durchschnittlichen Koordinaten (X_{TW_0} , Y_{TW_0} , Z_{TW_0}) der Koordinaten (X_{TW_m} , Y_{TW_m} , Z_{TW_m}), die eine Position in den in der aktiven Koordinatengruppe GRP registrierten Koordinaten Q_{TW_m} darstellen.

[0081] Konkret erhält der Prozessor 50 die durchschnittlichen Koordinaten (X_{TW_0} , Y_{TW_0} , Z_{TW_0}) aus den Gleichungen $X_{TW_0} = 1/k \cdot \Sigma(X_{TW_m})$, $Y_{TW_0} = 1/k \cdot \Sigma(Y_{TW_m})$, und $Z_{TW_0} = 1/k \cdot \Sigma(Z_{TW_m})$. In diesen Gleichungen bezeichnet „ k “ die Anzahl der Koordinaten Q_{TW_m} , die in der aktiven Koordinatengruppe GRP registriert sind.

[0082] Außerdem führt der Prozessor 50 die Verarbeitung PR2 durch, bei der die Koordinaten (W_{TW_m} , P_{TW_m} , R_{TW_m}), die die Orientierung darstellen, in den in der aktiven Koordinatengruppe GRP registrierten Koordinaten Q_{TW_m} gemittelt werden. Konkret erhält der Prozessor 50 für die Koordinaten (W_{TW_m} , P_{TW_m} , R_{TW_m}), die die Orientierung darstellen, den resultierenden Vektor $VT1_R = \Sigma(VT1_{-m})$ des Vektors $VT1_{-m}$ und den resultierenden Vektor $VT3_R = \Sigma(VT3_{-m})$ des Vektors $VT3_{-m}$, wie oben beschrieben.

[0083] Anschließend erhält der Prozessor 50 ein äußeres Produkt OP1 des Einheitsvektors $VT1_R'$ des resultierenden $VT1$ -Vektors_R und des Einheitsvektors $VT3_R'$ des resultierenden $VT3$ -Vektors_R. Dieses äußere Produkt OP1 stellt einen Vektor in der Richtung senkrecht zu dem Einheitsvektor $VT1_R'$ und dem Einheitsvektor $VT3_R'$ dar. Anschließend erhält der Prozessor 50 einen Einheitsvektor $VT2_R'$ durch Normierung des durch das äußere Produkt OP1 dargestellten Vektors.

[0084] Anschließend erhält der Prozessor 50 ein äußeres Produkt OP2 des Einheitsvektors $VT2_R'$ und des Einheitsvektors $VT3_R'$ und erhält den Einheitsvektor $VT1_R''$ durch Normierung des durch das äußere Produkt OP2 dargestellten Vektors. So erhält der Prozessor 50 die Einheitsvektoren $VT1''$, $VT2_R'$ und $VT3_R'$.

[0085] Anschließend erhält der Prozessor 50 die Orientierung (W_{TW_0} , P_{TW_0} , R_{TW_0}), die durch diese Einheitsvektoren $VT1_R''$, $VT2_R'$ und $VT3_R'$ dargestellt wird. Die Koordinaten dieser Orientierung geben die Richtung jeder Achse des Werkstück-Koordinatensystems C4 im Werkzeug-Koordinatensystem C2 an. Die Richtung der x-Achse des Werkstück-Koordinatensystems C4 ist die Richtung des oben beschriebenen Einheitsvektors $VT1_R''$, die Richtung der y-Achse ist die Richtung des Einheitsvektors $VT2_R'$, und die Richtung der z-Achse ist die Richtung des Einheitsvektors $VT3_R'$.

[0086] Alternativ kann der Prozessor 50, um die Koordinaten (W_{TW_0} , P_{TW_0} , R_{TW_0}) der Orientierung zu erhalten, den Einheitsvektor VT_{2R}' des resultierenden Vektors $VT_{2R} = \Sigma(VT_{2_m})$ des Vektors VT_{2_m} zusammen mit dem oben beschriebenen Einheitsvektor VT_{1R}' erhalten, und ein äußeres Produkt OP_3 des Einheitsvektors VT_{1R}' und des Einheitsvektors VT_{2R}' erhalten.

[0087] Anschließend kann der Prozessor 50 den Einheitsvektor VT_{3R}' durch Normierung des durch das äußere Produkt OP_3 dargestellten Vektors erhalten, ein äußeres Produkt OP_4 des Einheitsvektors VT_{3R}' und des Einheitsvektors VT_{1R}' erhalten und den Einheitsvektor VT_{2R}' durch Normierung des durch das äußere Produkt OP_4 dargestellten Vektors erhalten. Der Prozessor 50 kann die Koordinaten (W_{TW_0} , P_{TW_0} , R_{TW_0}) der Orientierung aus den so erhaltenen Einheitsvektoren VT_{1R}' , VT_{2R}' und VT_{3R}' erhalten.

[0088] Durch das oben beschriebene Verfahren führt der Prozessor 50 die Verarbeitung PR_2 durch, die die in der aktiven Koordinatengruppe GRP registrierten Koordinaten Q_{TW_m} mittelt. Als Ergebnis kann der Prozessor 50 die Koordinaten Q_{TW_0} (X_{TW_0} , Y_{TW_0} , Z_{TW_0} , W_{TW_0} , P_{TW_0} , R_{TW_0}) als die Lehrpositionsdaten TPD_0 erfassen.

[0089] Diese Koordinaten Q_{TW_0} geben die Ursprungsposition des Werkstück-Koordinatensystems C_4 im Werkzeug-Koordinatensystem C_2 (X_{TW_0} , Y_{TW_0} , Z_{TW_0}) und die Richtung der einzelnen Achsen (W_{TW_0} , P_{TW_0} , R_{TW_0}) an. Der Prozessor 50 dient somit als Einheit zur Erfassung der Lehrposition 88 und gewinnt aus der erfassten Vielzahl von Koordinaten Q_{TW_n} ($n = 1, 2, 3, 4 \dots$) eine Lehrpositionsangabe TPD_0 (Koordinaten Q_{TW_0}).

[0090] Es versteht sich, dass auch bei der Gewinnung der Koordinaten Q_{WT_n} (X_{WT_n} , Y_{WT_n} , Z_{WT_n} , W_{WT_n} , P_{WT_n} , R_{WT_n}) des Werkzeug-Koordinatensystems C_2 im Werkstück-Koordinatensystem C_4 als Lehrpositionsdaten TPD_n , kann der Prozessor 50 die Koordinaten Q_{WT_0} (X_{WT_0} , Y_{WT_0} , Z_{WT_0} , W_{WT_0} , P_{WT_0} , R_{WT_0}) des Werkzeug-Koordinatensystems C_2 im Werkstück-Koordinatensystem C_4 als neue Lehrpositionsdaten TPD_0 durch das oben beschriebene Verfahren erhalten.

[0091] Anschließend verwendet der Prozessor 50 die erhaltenen Lehrpositionsdaten TPD_0 , um ein Betriebsprogramm OP zu erzeugen, in dem die Lehrpositionsdaten TPD_0 (d.h. die Koordinaten Q_{TW_0} oder Q_{WT_0}) als Befehlscode definiert sind. Der Prozessor 50 dient somit als Einheit zur Erzeugung des Betriebsprogramms 92 (Fig. 2), die das Betriebsprogramm OP erzeugt.

[0092] In der eigentlichen Arbeitslinie steuert der Prozessor 70 der Steuerung 16 den Roboter 12 in Übereinstimmung mit dem Betriebsprogramm OP und führt den Vorgang des Greifens und Aufnehmens der Werkstücke W , die in Stücken im Behälter A gestapelt sind, durch die Hand 30 durch. Insbesondere steuert der Prozessor 70 den Bildsensor 14, um das Werkstück W in dem Behälter A abzubilden, und erfasst die abgebildeten Bilddaten ID_w (zweite Bilddaten) von dem Bildsensor 14.

[0093] Anschließend erfasst der Prozessor 70 die Werkstückpositionsdaten WPD_w (zweite Werkstückpositionsdaten), die die Position und Orientierung des Werkstücks W im Roboter-Koordinatensystem C_1 angeben, das in den Bilddaten ID_w dargestellt ist, basierend auf den erfassten Bilddaten ID_w , wie durch die oben beschriebene Einheit zur Erfassung der Werkstückposition 84. Insbesondere ordnet der Prozessor 70 das Werkstückmodell WM so an, dass es mit dem in den Bilddaten ID_w gezeigten Werkstück W übereinstimmt, und stellt das Werkstück-Koordinatensystem C_4 auf das angeordnete Werkstückmodell WM ein.

[0094] Anschließend erfasst der Prozessor 70 die Koordinaten Q_{RW_w} (X_{RW_w} , Y_{RW_w} , Z_{RW_w} , W_{RW_w} , P_{RW_w} , R_{RW_w}) des Werkstück-Koordinatensystems C_4 im Roboter-Koordinatensystem C_1 als Werkstückpositionsdaten WPD_w , indem er die Koordinaten Q_{SW_w} (X_{SW_w} , Y_{SW_w} , Z_{SW_w} , W_{SW_w} , P_{SW_w} , R_{SW_w}) des Sensor-Koordinatensystems C_3 des eingestellten Werkstück-Koordinatensystems C_4 erfasst und die Koordinaten Q_{SW_w} in das Roboter-Koordinatensystem C_1 transformiert. So erhält der Prozessor 70 die Werkstückpositionsdaten WPD_w (Koordinaten Q_{RW_w}), die die Position und Orientierung des Werkstücks W im Roboter-Koordinatensystem C_1 angeben.

[0095] Anschließend bestimmt der Prozessor 70 auf der Grundlage der erfassten Werkstückpositionsdaten WPD_w und der im Betriebsprogramm OP definierten Lehrpositionsdaten TPD_0 die Position und Orientierung der Hand 30 im Roboter-Koordinatensystem C_1 beim Greifen des vom Bildsensor 14 abgebildeten Werkstücks W .

[0096] Konkret erhält der Prozessor 70 die Koordinaten Q_{RT_0} (X_{RT_0} , Y_{RT_0} , Z_{RT_0} , W_{RT_0} , P_{RT_0} , R_{RT_0}) des Roboter-Koordinatensystems C1, das die durch die Lehrpositionsdaten TPD_0 angegebene Lagebeziehung zu dem durch die Koordinaten Q_{RW_W} dargestellten Werkstück-Koordinatensystem C4 aufweist, unter Verwendung der als Werkstückpositionsdaten WPD_W erfassten Koordinaten Q_{RW_W} und der Lehrpositionsdaten TPD_0 (konkret: Koordinaten Q_{TW_0} oder Q_{WT_0}). Der Prozessor 70 bestimmt die Position und Orientierung der Hand 30 beim Greifen des Werkstücks W im Roboter-Koordinatensystem C1, indem er das Werkzeug-Koordinatensystem C2 auf die erhaltenen Koordinaten Q_{RT_0} einstellt.

[0097] Anschließend bewegt der Prozessor 70 die Hand 30 durch Betätigung des mechanischen Teils 42 so, dass die Hand 30, die die Krallenteile 34 und 36 geschlossen hält, in der Position und Ausrichtung angeordnet ist, die durch das Werkzeug-Koordinatensystem C2 bestimmt wird, das auf die Koordinaten Q_{RT_0} des Roboter-Koordinatensystems C1 eingestellt ist. Dadurch werden die Krallenteile 34 und 36 in die Durchgangsbohrung H1 des Werkstücks W eingeführt.

[0098] Anschließend greift der Prozessor 70 den großen Ring W2 des Werkstücks W mit den Krallenteilen 34 und 36, indem er das Krallenteilantriebsteil 38 betätigt, um die Krallenteile 34 und 36 zu öffnen. Infolgedessen kann die Hand 30, wie in **Fig. 5** dargestellt, das Werkstück W an der durch die Lehrpositionsdaten TPD_0 gelehrt Greifposition greifen.

[0099] Anschließend kann der Prozessor 70 das Werkstück W aufnehmen, indem er das mechanische Teil 42 betätigt, um die Hand 30, die das Werkstück W ergreift, aus dem Behälter A zu entfernen. Anschließend führt der Prozessor 70 die Arbeit des Aufnehmens der Werkstücke W, die in Stücken in dem Behälter A gestapelt sind, mit der Hand 30 aus, indem er die oben beschriebene Abfolge von Vorgängen für die jeweiligen Werkstücke W, die in Stücken in dem Behälter A gestapelt sind, wiederholt ausführt.

[0100] Wie oben beschrieben, dient in der vorliegenden Ausführungsform der Prozessor 50 des Lehrgeräts 18 als Einheit zur Erfassung von Bilddaten 82, als Einheit zur Erfassung der Werkstückposition 84, als Einheit zur Erfassung der Handposition 86, als Einheit zur Erfassung der Lehrposition 88, als Robotersteuereinheit 90 und als Einheit zur Erstellung des Betriebsprogramms 92 zum Einlernen der Position und der Ausrichtung, in der der Roboter 12 das Werkstück W mit der Hand 30 im Roboter-Koordinatensystem C1 greift.

[0101] Somit bilden die Einheit zur Erfassung von Bilddaten 82, die Einheit zur Erfassung der Werkstückposition 84, die Einheit zur Erfassung der Handposition 86, die Einheit zur Erfassung der Lehrposition 88, die Robotersteuereinheit 90 und die Einheit zur Erstellung des Betriebsprogramms 92 eine Vorrichtung 100 (**Fig. 2**) zum Einlernen der Position und Orientierung, in der der Roboter 12 das Werkstück W mit der Hand 30 greift. Das heißt, in der vorliegenden Ausführungsform ist die Vorrichtung 100 in dem Lehrgerät 18 implementiert, und der Prozessor 50 des Lehrgeräts 18 führt die Funktionen der Vorrichtung 100 aus.

[0102] In dieser Vorrichtung 100 erfasst die Einheit zur Erfassung von Bilddaten 82 Bilddaten ID_n , in denen der an einer bekannten Position des Steuerungs-Koordinatensystems C (Roboter-Koordinatensystem C1) angeordnete Bildsensor 14 das Werkstück W abbildet, wenn der Roboter 12 das Werkstück W mit der Hand 30 ergreift. Die Einheit zur Erfassung der Werkstückposition 84 erfasst auf der Grundlage der Bilddaten ID_n die Werkstückpositionsdaten WPD_n , die die Position und Orientierung des Werkstücks W im Steuerungs-Koordinatensystem C (Roboter-Koordinatensystem C1) zum Zeitpunkt der Aufnahme der Bilddaten ID_n angeben.

[0103] Zusätzlich erfasst die Einheit zur Erfassung der Handposition 86 die Handpositionsdaten HPD_n , die die Position und Orientierung der Hand 30 im Steuerungs-Koordinatensystem C (Roboter-Koordinatensystem C1) zum Zeitpunkt der Aufnahme der Bilddaten ID_n angeben. Die Einheit zur Erfassung der Lehrposition 88 erfasst die Lehrpositionsdaten TPD_n , die die Positionsbeziehung zwischen der Hand 30 und dem Werkstück W im Steuerungs-Koordinatensystem C (Werkzeug-Koordinatensystem C2, Werkstück-Koordinatensystem C4) zum Zeitpunkt der Aufnahme der Bilddaten ID_n angeben, basierend auf den Werkstückpositionsdaten WPD_n und den Handpositionsdaten HPD_n .

[0104] Durch die Erfassung der Lehrpositionsdaten TPD_n auf der Grundlage der Bilddaten ID_n , die aufgenommen werden, wenn die Hand 30 das Werkstück W in der Greifposition greift, die der Bediener lehren möchte, kann die Greifposition, die der Bediener lehren möchte, dem Roboter 12 mit hoher Genauigkeit mitgeteilt werden.

[0105] Darüber hinaus betreibt die Robotersteuereinheit 90 in der Vorrichtung 100 den Roboter 12, um die Ausrichtung der Hand 30, die das Werkstück W greift, wiederholt zu ändern. Die Einheit zur Erfassung von Bilddaten 82 erfasst eine Vielzahl von Bilddaten ID_n , die von dem Bildsensor 14 jedes Mal aufgenommen werden, wenn die Robotersteuereinheit 90 die Ausrichtung der Hand 30 ändert. Darüber hinaus erfasst die Einheit zur Erfassung der Werkstückposition 84 die Werkstückpositionsdaten WPD_N auf der Grundlage jeder Bilddaten- ID_n , und die Einheit zur Erfassung der Handposition 86 erfasst die Handpositionsdaten HPD_N zum Zeitpunkt der Abbildung jeder Bilddaten- ID_n .

[0106] Anschließend erfasst die Einheit zur Erfassung der Lehrposition 88 die Lehrpositionsdaten TPD_N zum Zeitpunkt der Abbildung jedes Stücks der Bilddaten ID_n auf der Grundlage der entsprechenden Werkstückpositionsdaten WPD_N und der entsprechenden Handpositionsdaten HPD_N . Durch das Sammeln einer Vielzahl von Lehrpositionsdaten TPD_n auf der Grundlage von Teilen der Bilddaten ID_n des Werkstücks W in verschiedenen Ausrichtungen auf diese Weise kann die Greifposition des Werkstücks W dem Roboter 12 mit höherer Genauigkeit beigebracht werden.

[0107] Darüber hinaus erhält die Einheit zur Erfassung der Lehrposition 88 in der Vorrichtung 100 neue Lehrpositionsdaten TPD_0 , die für den Vorgang verwendet werden sollen, um den Roboter 12 zu veranlassen, das Werkstück W mit der Hand 30 zu greifen, basierend auf der Vielzahl von Teilen der Lehrpositionsdaten TPD_n . Indem die Lehrpositionsdaten TPD_0 aus der Vielzahl der Lehrpositionsdaten TPD_n gewonnen werden, die Teilen der Bilddaten ID_n des Werkstücks W in verschiedenen Ausrichtungen entsprechen, können die Position und die Ausrichtung der Hand 30 zum Zeitpunkt des Greifens jedes der Werkstücke W in verschiedenen Ausrichtungen mit höherer Genauigkeit durch die Lehrpositionsdaten TPD_0 bestimmt werden.

[0108] In der Vorrichtung 100 werden die Lehrpositionsdaten TPD_n als die Koordinaten Q_{TW_n} , Q_{WT_n} des Steuerungs-Koordinatensystems C (Werkzeug-Koordinatensystem C2, Werkstück-Koordinatensystem C4) dargestellt. Die Einheit zur Erfassung der Lehrposition 88 erhält neue Lehrpositionsdaten TPD_0 , indem sie die Koordinaten, die außerhalb des vorgegebenen zulässigen Bereichs liegen, aus den Koordinaten Q_{TW_n} , Q_{WT_n} der mehreren Lehrpositionsdaten TPD_N ausschließt und den Durchschnitt der Koordinaten Q_{TW_m} , Q_{WT_m} ermittelt.

[0109] Gemäß dieser Konfiguration können Koordinaten Q_{TW_n} , Q_{WT_n} , die durch falsche Erkennung oder ähnliches erfasst werden, ausgeschlossen werden, und durch Mittelwertbildung der Koordinaten Q_{TW_m} , Q_{WT_m} können genauere Lehrpositionsdaten TPD_0 erhalten werden. Somit können die Position und die Ausrichtung der Hand 30 zum Zeitpunkt des Greifens jedes der Werkstücke W in verschiedenen Ausrichtungen mit höherer Genauigkeit bestimmt werden. In der Vorrichtung 100 erzeugt die Einheit zur Erstellung der Betriebsprogramms 92 das Betriebsprogramm OP, in dem die Lehrpositionsdaten TPD_0 definiert sind. Mit dieser Konfiguration kann das Betriebsprogramm OP, das die wie oben beschrieben erfassten Lehrpositionsdaten TPD_0 definiert, automatisch erzeugt werden.

[0110] In der Vorrichtung 100 erfasst die Einheit zur Erfassung der Werkstückposition 84 als Werkstückpositionsdaten WPD_N Daten, die die Position und Orientierung des Werkstückmodells WM im Steuerungs-Koordinatensystem C (Roboter-Koordinatensystem C2) angeben, wenn das Werkstückmodell WM an das in den Bilddaten ID_n dargestellte Werkstück W (dreidimensionales Punktwolkenbild) angepasst wird. Mit dieser Konfiguration können die Werkstückpositionsdaten WPD_N mit hoher Genauigkeit aus den vom Bildsensor 14 aufgenommenen Bilddaten ID_n ermittelt werden.

[0111] Außerdem umfasst das Steuerungs-Koordinatensystem C in der Vorrichtung 100 das Roboter-Koordinatensystem C1, das Werkstück-Koordinatensystem C4, das Werkzeug-Koordinatensystem C2, dessen Lagebeziehung zum Roboter-Koordinatensystem C1 bekannt ist, und das Sensor-Koordinatensystem C3, dessen Lagebeziehung zum Roboter-Koordinatensystem C1 bekannt ist. Der Bildsensor 14 befindet sich an einer bekannten Position im Roboter-Koordinatensystem C1.

[0112] Anschließend erfasst die Einheit zur Erfassung der Werkstückposition 84 die ersten Koordinaten Q_{SW_n} des Werkstück-Koordinatensystems C4 im Sensor-Koordinatensystem C3, die die Position und Orientierung des in den Bilddaten ID_n dargestellten Werkstücks W angeben, und transformiert die ersten Koordinaten Q_{SW_n} in das Roboter-Koordinatensystem C1, wodurch die zweiten Koordinaten Q_{RW_n} des Werkstück-Koordinatensystems C4 im Roboter-Koordinatensystem C1 als Werkstückpositionsdaten WPD_N erfasst werden.

[0113] Darüber hinaus erfasst die Einheit zur Erfassung der Handposition 86 die dritten Koordinaten Q_{RT_n} des Werkzeug-Koordinatensystems C2 im Roboter-Koordinatensystem C1, die die Position und Orientierung der Hand 30 als Handpositionsdaten HPD_N angeben. Die Einheit zur Erfassung der Lehrposition 88 erfasst die Lehrpositionsdaten TPD_n als die Koordinaten Q_{TW_n} des Werkstück-Koordinatensystems C4 im Werkzeug-Koordinatensystem C2 oder als die Koordinaten Q_{WT_n} des Werkzeug-Koordinatensystems C2 im Werkstück-Koordinatensystem C4, basierend auf den zweiten Koordinaten Q_{RW_n} und den dritten Koordinaten Q_{RT_n} . Gemäß dieser Konfiguration können die Lehrpositionsdaten TPD_n als die Koordinaten Q_{TW_n} oder Q_{WT_n} im Steuerungs-Koordinatensystem C erfasst werden, basierend auf dem Roboter-Koordinatensystem C1, dem Werkzeug-Koordinatensystem C2, dem Sensor-Koordinatensystem C3 und dem Werkstück-Koordinatensystem C4, die als Steuerungs-Koordinatensystem C verwendet werden.

[0114] In der oben beschriebenen Ausführungsform bedient der Bediener das Lehrgerät 18 manuell, um die Ausrichtung der Hand 30, die das Werkstück W greift, zu ändern. Ohne darauf beschränkt zu sein, kann der Prozessor 50 jedoch automatisch eine Reihe von Vorgängen durchführen, wie z. B. die Änderung der Ausrichtung der Hand 30, die Erfassung der Bilddaten ID_n , die Erfassung der Werkstückpositionsdaten WPD_n , die Erfassung der Handpositionsdaten HPD_N und die Erfassung der Lehrpositionsdaten TPD_n .

[0115] Eine solche Ausführungsform wird im Folgenden unter Bezugnahme auf **Fig. 8** beschrieben. Der in **Fig. 8** dargestellte Ablauf wird gestartet, wenn der Prozessor 50 des Lehrgeräts 18 einen Lehrstartbefehl CM annimmt. Wenn der Bediener beispielsweise das Eingabegerät 58 des Lehrgeräts 18 betätigt, um die Hand 30 zu veranlassen, das Werkstück W zu greifen, wie in **Fig. 5** dargestellt, gibt der Bediener den Lehrstartbefehl CM in das Lehrgerät 18 ein.

[0116] In Schritt S1 setzt der Prozessor 50 die Zahl „n“, die die Anzahl der zu erfassenden Lehrpositionsdaten TPD_n definiert, auf „1“. Diese Zahl „n“ entspricht „n“ der oben beschriebenen Bilddaten ID_n , der Werkstückpositionsdaten WPD_n , der Handpositionsdaten HPD_N und der Lehrpositionsdaten TPD_n .

[0117] In Schritt S2 betätigt der Prozessor 50 den mechanischen Teil 42 des Roboters 12, um das von der Hand 30 ergriffene Werkstück W so zu bewegen, dass es sich im Sichtfeld des Bildsensors 14 befindet. Beispielsweise kann der Prozessor 50 die Hand 30 entlang einer vorgegebenen Bewegungsbahn bewegen. Dieser Bewegungspfad kann durch vorheriges Anlernen des Roboters 12 durch den Bediener definiert werden. Als weiteres Beispiel kann der Prozessor 50 Koordinaten des Werkzeug-Koordinatensystems C2 und des Sensor-Koordinatensystems C3 im Roboter-Koordinatensystem C1 erfassen und die Hand 30 auf der Grundlage dieser Koordinaten bewegen.

[0118] In Schritt S3 dient der Prozessor 50 als Einheit zur Erfassung von Bilddaten 82 zur Erfassung der Bilddaten ID_n . Konkret sendet der Prozessor 50 einen Bildgebungsbefehl an den Bildsensor 14 und betreibt den Bildsensor 14, um die Bilddaten- ID_n des von der Hand 30 gegriffenen Werkstücks W abzubilden. Anschließend dient der Prozessor 50 als Einheit zur Erfassung von Bilddaten 82, um die Bilddaten ID_n vom Bildsensor 14 zu erfassen.

[0119] In Schritt S4 dient der Prozessor 50 als die Einheit zur Erfassung der Werkstückposition 84, um die Werkstückpositionsdaten WPD_N (z.B. Koordinaten Q_{RW_n}) auf der Grundlage der Bilddaten ID_n zu erfassen, die im letzten Schritt S3 durch das oben beschriebene Verfahren erfasst wurden. In Schritt S5 dient der Prozessor 50 als Einheit zur Erfassung der Handposition 86 zum Erfassen der Handpositionsdaten HPD_N (z.B. Koordinaten Q_{RT_n}) zum Zeitpunkt der Abbildung der Bilddaten ID_n , die im letzten Schritt S3 durch das oben beschriebene Verfahren erfasst wurden.

[0120] In Schritt S6 dient der Prozessor 50 als Einheit zur Erfassung der Lehrposition 88 zum Erfassen der Lehrpositionsdaten TPD_N (z.B. Koordinaten Q_{TW_n} oder Q_{WT_n}) auf der Grundlage der im letzten Schritt S4 erfassten Werkstückpositionsdaten WPD_N und der im letzten Schritt S5 erfassten Handpositionsdaten HPD_N durch das oben beschriebene Verfahren.

[0121] In Schritt S7 stellt der Prozessor 50 fest, ob die Zahl „n“ eine vorgegebene Zahl n_{MAX} ($n = n_{MAX}$) erreicht hat oder nicht. Diese Zahl n_{MAX} kann vom Bediener vorgegeben werden. Wenn $n = n_{MAX}$ ist, bestimmt der Prozessor 50 JA und fährt mit Schritt S10 fort, während er, wenn $n < n_{MAX}$ ist, NEIN bestimmt und mit Schritt S8 fortfährt. In Schritt S8 erhöht der Prozessor 50 die Zahl „n“ um „1“ ($n = n + 1$).

[0122] In Schritt S9 dient der Prozessor 50 als Robotersteuereinheit 90 zur Betätigung des mechanischen Teils 42 des Roboters 12, um die Ausrichtung der Hand 30, die das Werkstück W greift, zu ändern. Konkret

dreht der Prozessor 50 die Hand 30 um die x-Achse, y-Achse oder z-Achse des Werkzeug-Koordinatensystems C2, das zu diesem Zeitpunkt im Roboter-Koordinatensystem C1 festgelegt ist, um einen vorgegebenen Winkel θ .

[0123] Alternativ dreht der Prozessor 50 die Hand 30 um die x-Achse, die y-Achse (d. h. die Achse B des Werkstücks W) oder die z-Achse des Werkstück-Koordinatensystems C4, das zu diesem Zeitpunkt im Roboter-Koordinatensystem C1 festgelegt ist, um einen Winkel θ . Der Winkel θ und die Richtung, in die die Hand 30 gedreht wird, wenn dieser Schritt S9 ausgeführt wird, können vom Bediener vorgegeben werden. Alternativ kann der Prozessor 50 jedes Mal, wenn dieser Schritt S9 ausgeführt wird, automatisch (z. B. zufällig) bestimmen, dass sich das gesamte Werkstück W in der Position befindet, in der es in das Sichtfeld des Bildsensors 14 kommt, indem er die Positionsbeziehung zwischen dem Werkzeug-Koordinatensystem C2 (oder dem Werkstück-Koordinatensystem C4) und dem Sensor-Koordinatensystem C3 berücksichtigt, die zu diesem Zeitpunkt festgelegt wurden.

[0124] Nach Schritt S9 kehrt der Prozessor 50 zu Schritt S3 zurück und wiederholt die Schleife der Schritte S3 bis S9, bis er in Schritt S7 JA bestimmt. Auf diese Weise kann der Prozessor 50 automatisch eine Vielzahl von Lehrpositionsdaten TPD_n ($n = 1, 2, 3, 4 \dots$) erfassen.

[0125] Wenn in Schritt S7 JA bestimmt wird, dient der Prozessor 50 in Schritt S10 als die Einheit zur Erfassung der Lehrposition 88, um neue Lehrpositionsdaten TPD_0 (z.B. Koordinaten Q_{TW_0} oder Q_{WT_0}) auf der Grundlage der Vielzahl von Lehrpositionsdaten TPD_n zu erhalten, die durch das oben beschriebene Verfahren erfasst wurden.

[0126] In Schritt S11 dient der Prozessor 50 als Einheit zur Erstellung des Betriebsprogramms 92, um das Betriebsprogramm OP zu erzeugen, in dem die Lehrpositionsdaten TPD_0 (d.h. die Koordinaten Q_{TW_0} oder Q_{WT_0}) wie in der oben beschriebenen Ausführungsform definiert sind. Wie oben beschrieben, kann der Prozessor 50 gemäß der vorliegenden Ausführungsform das Betriebsprogramm OP automatisch erzeugen, indem er eine Reihe von Vorgängen der Schritte S1 bis S11 automatisch ausführt. Mit dieser Konfiguration kann der Prozess des Einlernens des Roboters 12 in die Position zum Greifen des Werkstücks W beschleunigt und vereinfacht werden.

[0127] In dem oben beschriebenen Schritt S9 kann der Prozessor 50 als Robotersteuereinheit 90 dienen, um die Position der Hand 30 zu ändern, anstatt die Ausrichtung der Hand 30 zu ändern. Insbesondere kann der Prozessor 50 in Schritt S9 das mechanische Teil 42 des Roboters 12 betätigen, um die Position der Hand 30 zu ändern, indem er die Hand 30 translatorisch um eine vorbestimmte Strecke δ in Richtung der x-Achse, y-Achse oder z-Achse des Werkzeug-Koordinatensystems C2 (oder Werkstück-Koordinatensystems C4) bewegt, das zu diesem Zeitpunkt im Roboter-Koordinatensystem C1 festgelegt ist. In diesem Zusammenhang kann „Translationsbewegung“ als der Vorgang definiert werden, bei dem die Hand 30 bewegt wird, ohne die Ausrichtung der Hand 30 (d. h. die Richtung jeder Achse des Werkzeug-Koordinatensystems C2) zu ändern.

[0128] Alternativ kann der Prozessor 50 abwechselnd einen Vorgang zum Ändern der Ausrichtung der Hand 30 und einen Vorgang zum Ändern der Position der Hand 30 durchführen, um jeden Schritt S9 auszuführen, oder alternativ kann der Prozessor 50 die Position der Hand 30 zusammen mit der Ausrichtung der Hand 30 ändern, um jeden Schritt S9 auszuführen.

[0129] In der oben beschriebenen Ausführungsform wird der Fall beschrieben, in dem die Funktionen der Vorrichtung 100 im Lehrgerät 18 implementiert sind. Ohne hierauf beschränkt zu sein, können die Funktionen der Vorrichtung 100 jedoch auch in der Steuerung 16 (oder dem Bildsensor 14) implementiert werden. In diesem Fall dient der Prozessor 70 (oder ein Prozessor des Bildsensors 14) der Steuerung 16 als die Vorrichtung 100 (d.h. die Einheit zur Erfassung von Bilddaten 82, die Einheit zur Erfassung der Werkstückposition 84, die Einheit zur Erfassung der Handposition 86, die Einheit zur Erfassung der Lehrposition 88, die Robotersteuereinheit 90 und die Einheit zur Erstellung des Betriebsprogramms 92).

[0130] Darüber hinaus können einige der Einheit zur Erfassung von Bilddaten 82, der Einheit zur Erfassung der Werkstückposition 84, der Einheit zur Erfassung der Handposition 86, der Einheit zur Erfassung der Lehrposition 88, der Robotersteuereinheit 90 und der Einheit zur Erstellung des Betriebsprogramms 92 in einer der Steuerungen 16, des Lehrgeräts 18 und des Bildsensors 14 implementiert sein, während andere Einheiten in der jeweils anderen der Steuerungen 16, des Lehrgeräts 18 und des Bildsensors 14 implementiert sein können.

[0131] Beispielsweise kann die Einheit zur Erfassung von Bilddaten 82 im Bildsensor 14, die Einheit zur Erfassung der Werkstückposition 84, die Einheit zur Erfassung der Handposition 86 und die Robotersteuerungseinheit 90 in der Steuerung 16 und die Einheit zur Erfassung der Lehrposition 88 und die Einheit zur Erstellung des Betriebsprogramms 92 in dem Lehrgerät 18 implementiert sein. In diesem Fall bilden der Prozessor des Bildsensors 14, der Prozessor 70 der Steuerung 16 und der Prozessor 50 des Lehrgeräts 18 die Vorrichtung 100.

[0132] In der oben beschriebenen Ausführungsform kann der Prozessor 50 als Einheit zur Erfassung der Handposition 86 dienen, Daten erfassen, die die Position und Orientierung der Hand 30 im Sensor-Koordinatensystem C3 auf der Grundlage der Bilddaten ID_n anzeigen, und die Handpositionsdaten HPD_N aus den Daten erfassen. Wie in **Fig. 6** dargestellt, nimmt der Bildsensor 14 die Bilddaten ID_n mit einer Ansicht des Werkstücks W und der Hand 30, die das Werkstück W greift, auf.

[0133] Wenn der Prozessor 50 als Einheit zur Erfassung von Bilddaten 82 dient, um die Bilddaten ID_n vom Bildsensor 14 zu erfassen, erfasst er ein Handmodell 30M, das die Hand 30 modelliert, zusammen mit dem oben beschriebenen Werkstückmodell WM. Dieses Handmodell 30M ist beispielsweise das dreidimensionale CAD-Modell, das vorab im Speicher 52 abgelegt wird.

[0134] Der Prozessor 50 analysiert das dreidimensionale Punktwolkenbild der in der Bilddaten- ID_n gezeigten Hand 30 unter Verwendung eines vorbestimmten Mustervergleichsparameters und ordnet das Handmodell 30M in einer simulierten Weise so an, dass es der in der Bilddaten- ID_n gezeigten Hand 30 entspricht. Anschließend stellt der Prozessor 50 das Werkzeug-Koordinatensystem C2 mit der in **Fig. 3** dargestellten Lagebeziehung für das in der Bilddaten- ID_n angeordnete Handmodell 30M ein. Anschließend erfasst der Prozessor 50 die Koordinaten Q_{ST_n} des eingestellten Werkzeug-Koordinatensystems C2 im Sensor-Koordinatensystem C3 und erfasst die Handpositionsdaten HPD_N (Koordinaten Q_{RT_n}) durch Transformieren der Koordinaten Q_{ST_n} in das Roboter-Koordinatensystem C1.

[0135] Es ist auch möglich, den Bildsensor 14 diese Funktionen ausführen zu lassen. Beispielsweise kann der Bildsensor 14 (insbesondere der Prozessor) durch Anwendung des Werkstückmodells WM und des Handmodells 30M auf die abgebildeten Bilddaten ID_n die Koordinaten Q_{ST_n} des Werkzeug-Koordinatensystems C2 im Sensor-Koordinatensystem C3 und die Koordinaten Q_{SW_n} des Werkstück-Koordinatensystems C4 im Sensor-Koordinatensystem C3 erfassen und an das Lehrgerät 18 weitergeben.

[0136] Alternativ kann der Bildsensor 14 als Einheit zur Erfassung der Werkstückposition 84 zur Erfassung der Koordinaten Q_{SW_n} des Werkstück-Koordinatensystems C4 im Sensor-Koordinatensystem C3 als Werkstückpositionsdaten WPD_N und als Einheit zur Erfassung der Handposition 86 zur Erfassung der Koordinaten Q_{ST_n} des Werkzeug-Koordinatensystems C2 im Sensor-Koordinatensystem C3 als Handpositionsdaten HPD_N dienen.

[0137] Anschließend kann der Bildsensor 14 als Einheit zur Erfassung der Lehrposition 88 dienen, um die Lehrpositionsdaten TPD_n (z. B. die Koordinaten Q_{TW_n} oder Q_{WT_n}) auf der Grundlage der Werkstückpositionsdaten WPD_N (Koordinaten Q_{SW_n}) und der Handpositionsdaten HPD_N (Koordinaten Q_{ST_n}) zu erfassen. Das heißt, in diesem Fall dient der Prozessor des Bildsensors 14 als Vorrichtung 100.

[0138] In der oben beschriebenen Ausführungsform führt der Prozessor 50 die Verarbeitung PR1 aus, um jede der mehreren Koordinaten Q_{TW_n} oder Q_{WT_n} auszuschließen, und führt anschließend die Verarbeitung PR2 aus, um die in der aktiven Koordinatengruppe GRP registrierten Koordinaten Q_{TW_m} oder Q_{WT_m} zu mitteilen. Ohne hierauf beschränkt zu sein, kann der Prozessor 50 jedoch auch nur eine der Verarbeitungen PR1 zum Ausschluss und PR2 zur Mittelwertbildung für eine Vielzahl von Koordinaten Q_{TW_n} oder Q_{WT_n} ausführen.

[0139] Zum Beispiel kann der Prozessor 50 neue Lehrpositionsdaten TPD_0 erhalten, indem er die Verarbeitung PR2 zur Mittelwertbildung der erfassten Vielzahl von Koordinaten Q_{TW_n} oder Q_{WT_n} ausführt, ohne die Verarbeitung PR1 zum Ausschluss durchzuführen. Alternativ kann der Prozessor 50 nur die Verarbeitung PR1 zum Ausschluss einer Vielzahl von Koordinaten Q_{TW_n} oder Q_{WT_n} durchführen und automatisch, in Übereinstimmung mit vorbestimmten Bedingungen, eine Lehrposition TPD_0 aus den Koordinaten Q_{TW_m} oder Q_{WT_m} auswählen, die in der aktiven Koordinatengruppe GRP als Ergebnis der Verarbeitung PR1 registriert sind.

[0140] In der oben beschriebenen Ausführungsform wird der Fall beschrieben, in dem der Prozessor 50 neue Lehrpositionsdaten TPD_0 auf der Grundlage der erfassten Vielzahl von Lehrpositionsdaten TPD_n erhält. Ohne hierauf beschränkt zu sein, kann der Prozessor 50 jedoch beispielsweise Bilddaten erzeugen, in denen die erfasste Vielzahl von Lehrpositionsdaten TPD_n in Listenform angezeigt wird, und diese auf dem Anzeigegerät 56 darstellen.

[0141] Anschließend betätigt der Bediener das Eingabegerät 58, um dem Prozessor 50 Eingabedaten zu geben, um die gewünschten Lehrpositionsdaten TPD_0 aus einer Vielzahl von Lehrpositionsdaten TPD_n auszuwählen, die auf dem Anzeigegerät 56 angezeigt werden. Beim Empfang der Eingabedaten erzeugt der Prozessor 50 das Betriebsprogramm OP, in dem die vom Bediener ausgewählten Lehrpositionsdaten TPD_0 definiert sind.

[0142] In der oben beschriebenen Ausführungsform wird der Fall beschrieben, in dem der Prozessor 50 eine Vielzahl von Lehrpositionsdaten TPD_n durch wiederholtes Ändern der Ausrichtung der Hand 30 erfasst, indem er als Robotersteuereinheit 90 dient. Ohne hierauf beschränkt zu sein, kann der Prozessor 50 jedoch auch nur die oben beschriebenen Lehrpositionsdaten TPD_1 erfassen, ohne die Ausrichtung der Hand 30 zu ändern. In diesem Fall kann der Prozessor 50 das Betriebsprogramm OP erzeugen, in dem die Lehrpositionsdaten TPD_1 definiert sind. Das heißt, die Robotersteuereinheit 90 kann in diesem Fall in der Vorrichtung 100 weggelassen werden.

[0143] In der oben beschriebenen Ausführungsform wird der Fall beschrieben, in dem der Prozessor 50 als die Einheit zur Erstellung des Betriebsprogramms 92 dient, um das Betriebsprogramm OP zu erstellen. Ohne hierauf beschränkt zu sein, kann der Bediener das Betriebsprogramm OP jedoch auch manuell auf der Grundlage der vom Prozessor 50 erfassten Lehrpositionsdaten TPD_n erstellen. Das heißt, in diesem Fall kann die Einheit zur Erstellung des Betriebsprogramms 92 in der Vorrichtung 100 weggelassen werden.

[0144] In der oben beschriebenen Ausführungsform wird der Fall beschrieben, in dem der Prozessor 50 die Werkstückpositionsdaten WPD_N durch Anwendung des Werkstückmodells WM auf die Bilddaten ID_n ermittelt. Ohne darauf beschränkt zu sein, kann der Prozessor 50 die Werkstückpositionsdaten WPD_N jedoch auch durch Analyse des in den Bilddaten ID_n dargestellten Bildes des Werkstücks W ohne Verwendung des Werkstückmodells WM ermitteln.

[0145] In der oben beschriebenen Ausführungsform wird der Fall beschrieben, dass die Erfassung der Lehrpositionsdaten TPD_n auf der Grundlage des Roboter-Koordinatensystems C1, des Werkzeug-Koordinatensystems C2, des Sensor-Koordinatensystems C3 und des Werkstück-Koordinatensystems C4 als Steuerungs-Koordinatensystem C erfolgt. Ohne hierauf beschränkt zu sein, können die Lehrpositionsdaten TPD_n beispielsweise auf der Grundlage eines Welt-Koordinatensystems C5 erfasst werden. Das Welt-Koordinatensystem C5 ist das Steuerungs-Koordinatensystem C, das den dreidimensionalen Raum einer Arbeitszelle bestimmt und fest in der Arbeitszelle verankert ist.

[0146] Es ist zu beachten, dass der Bildsensor 14 am mechanischen Teil 42 des Roboters 12 (z. B. oberer Arm 26 oder unterer Arm 24) anstelle des Halterahmens 44 befestigt werden kann. In diesem Fall ist der Bildsensor 14 an dem mechanischen Teil 42 befestigt, so dass das von der Hand 30 gegriffene Werkstück W abgebildet werden kann. In der oben beschriebenen Ausführungsform wird ein Fall beschrieben, in dem die Werkstückpositionsdaten WPD_n , die Handpositionsdaten HPD_N und die Lehrpositionsdaten TPD_n Koordinaten Q des Steuerungs-Koordinatensystems C sind, aber ohne darauf beschränkt zu sein, als beliebige andere Daten dargestellt werden können.

[0147] Außerdem kann die Hand 30, anstatt den großen Ring W2 zu greifen, den kleinen Ring W3 greifen, indem sie die Krallenteile 34 und 36 gegen die Innenwandfläche des Durchgangslochs H2 drückt. In diesem Fall lehrt das Lehrgerät 18 die Position und Ausrichtung, in der die Hand 30 den kleinen Ring W3 ergreift, unter Verwendung eines Verfahrens, das der oben beschriebenen Ausführungsform ähnelt.

[0148] Das Werkstück W ist nicht auf die in **Fig. 4** dargestellte Form (Pleuelstange) beschränkt, sondern kann jede beliebige Form haben, und die Hand 30 kann von jedem Typ sein. So kann die Hand 30 anstelle der zu öffnenden und zu schließenden Krallenteile 34 und 36 beispielsweise ein Saugteil (Vakuumeinrichtung, Saugscheibe, Magnet oder ähnliches) aufweisen und das Werkstück W mit dem Saugteil ansaugen und ergreifen.

[0149] Der Bildsensor 14 kann eine zweidimensionale Kamera sein. In diesem Fall kann das Robotersystem 10 außerdem einen Abstandssensor enthalten, der am Bildsensor 14 befestigt ist und den Abstand d zwischen dem Bildsensor 14 und dem Objekt (Werkstück W) messen kann. Das Lehrgerät 18 kann auch direkt mit dem Roboter 12 (Servomotor 40) oder dem Bildsensor 14 verbunden sein. Wie oben beschrieben, wird die vorliegende Offenbarung durch die Ausführungsform beschrieben, aber die oben beschriebene Ausführungsform schränkt die Erfindung gemäß den Ansprüchen nicht ein.

Referenz-Zeichenliste

10	Robotersystem
12	Roboter
14	Bildsensor
16	Steuerung
18	Lehrgerät
30	Hand
70, 100	Prozessor
82	Einheit zur Erfassung von Bilddaten
84	Einheit zur Erfassung der Werkstückposition
86	Einheit zur Erfassung der Handposition
88	Einheit zur Erfassung der Lehrposition
90	Robotersteuereinheit
92	Einheit zur Erstellung des Betriebsprogramms

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 2016209979 A [0003]

Patentansprüche

1. Vorrichtung, die so konfiguriert ist, dass sie eine Position und eine Ausrichtung lehrt, bei der ein Roboter ein Werkstück mit einer Hand in einem Steuerungs-Koordinatensystem zur Steuerung des Roboters ergreift, wobei die Vorrichtung umfasst:

eine Einheit zur Erfassung von Bilddaten, die so konfiguriert ist, dass sie Bilddaten des Werkstücks erfasst, die von einem an einer bekannten Position im Steuerungs-Koordinatensystem angeordneten Bildsensor abgebildet werden, wenn der Roboter das Werkstück mit der Hand ergreift;

eine Einheit zur Erfassung der Werkstückposition, die konfiguriert ist, um Werkstückpositionsdaten zu erfassen, die eine Position und Orientierung des Werkstücks in dem Steuerungs-Koordinatensystem anzeigen, wenn der Bildsensor die Bilddaten abbildet, basierend auf den Bilddaten;

eine Einheit zur Erfassung der Handposition, die so konfiguriert ist, dass sie Handpositionsdaten erfasst, die eine Position und Orientierung der Hand in dem Steuerungs-Koordinatensystem anzeigen, wenn der Bildsensor die Bilddaten abbildet; und

eine Einheit zur Erfassung der Lehrposition, die so konfiguriert ist, dass sie Lehrpositionsdaten erfasst, die eine Positionsbeziehung zwischen der Hand und dem Werkstück in dem Steuerungs-Koordinatensystem angeben, wenn der Bildsensor die Bilddaten abbildet, und zwar auf der Grundlage der Werkstückpositionsdaten und der Handpositionsdaten.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, die ferner eine Robotersteuereinheit umfasst, die so konfiguriert ist, dass sie den Roboter so betreibt, dass er die Ausrichtung der Hand, die das Werkstück greift, wiederholt ändert,

wobei die Einheit zur Erfassung von Bilddaten so konfiguriert ist, dass sie jedes Mal, wenn die Robotersteuereinheit die Ausrichtung der Hand ändert, eine Vielzahl von Teilen der von dem Bildsensor aufgenommenen Bilddaten erfasst,

wobei die Einheit zur Erfassung der Werkstückposition so konfiguriert ist, dass sie jeweils eine Vielzahl von Teilen der Werkstückpositionsdaten erfasst, wenn jedes der Vielzahl von Teilen der Bilddaten abgebildet wird, basierend auf jedem der Vielzahl von Teilen der Bilddaten, die durch die Einheit zur Erfassung von Bilddaten erfasst werden,

wobei die Einheit zur Erfassung der Handposition so konfiguriert ist, dass sie eine Vielzahl von Teilen der Handpositionsdaten erfasst, wenn jeder der Vielzahl von Teilen der Bilddaten abgebildet wird, und

wobei die Einheit zur Erfassung der Lehrposition so konfiguriert ist, dass sie eine Vielzahl von Teilen der Lehrpositionsdaten erfasst, wenn jedes der Vielzahl von Teilen der Bilddaten abgebildet wird, basierend auf den jeweiligen Teilen der Werkstückpositionsdaten, die durch die Einheit zur Erfassung der Werkstückposition erfasst werden, und auf den jeweiligen Teilen der Handpositionsdaten, die durch die Einheit zur Erfassung der Handposition erfasst werden.

3. Vorrichtung nach Anspruch 2, wobei die Einheit zur Erfassung der Lehrposition so konfiguriert ist, dass sie neue Lehrpositionsdaten erhält, die für einen Vorgang verwendet werden, um den Roboter zu veranlassen, das Werkstück mit der Hand zu greifen, und zwar auf der Grundlage der mehreren Teile der erfassten Lehrpositionsdaten.

4. Vorrichtung nach Anspruch 3, wobei die Lehrpositionsdaten als Koordinaten des Steuerungs-Koordinatensystems dargestellt werden, und

wobei die Einheit zur Erfassung der Lehrposition so konfiguriert ist, dass sie die neuen Lehrpositionsdaten erhält, durch:

Ausschluss der Koordinaten der Lehrpositionsdaten, die außerhalb eines vorbestimmten zulässigen Bereichs liegen, von den Koordinaten der Vielzahl von Teilen der Lehrpositionsdaten; oder
Ermitteln eines Durchschnitts der Koordinaten der Vielzahl von Teilen der Lehrpositionsdaten.

5. Die Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4 umfasst ferner eine Einheit zur Erstellung des Betriebsprogramms, die so konfiguriert ist, dass sie ein Betriebsprogramm erzeugt, in dem die Lehrpositionsdaten definiert sind.

6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei die Einheit zur Erfassung der Werkstückposition so konfiguriert ist, dass sie als die Werkstückpositionsdaten Daten erfasst, die eine Position und Orientierung im Steuerungs-Koordinatensystem eines Werkstückmodells angeben, das das Werkstück modelliert, wenn das Werkstückmodell an das in den Bilddaten dargestellte Werkstück angepasst wird.

7. Die Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei das Steuerungs-Koordinatensystem umfasst:

ein Roboter-Koordinatensystem, das auf den Roboter eingestellt ist;
 ein Werkstück-Koordinatensystem, das auf das Werkstück eingestellt ist;
 ein Werkzeug-Koordinatensystem, das auf die Hand eingestellt ist und eine bekannte Positionsbeziehung mit dem Roboter-Koordinatensystem hat; und
 ein Sensor-Koordinatensystem, das auf den Bildsensor eingestellt ist und eine bekannte Positionsbeziehung zum Roboter-Koordinatensystem hat,
 wobei der Bildsensor an der bekannten Position im Roboter-Koordinatensystem angeordnet ist,
 wobei die Einheit zur Erfassung der Werkstückposition so konfiguriert ist, dass sie:
 erste Koordinaten im Sensor-Koordinatensystem des Werkstück-Koordinatensystems, die eine Position und Orientierung des in den Bilddaten gezeigten Werkstücks angeben, erfasst; und
 als Werkstückpositionsdaten zweite Koordinaten des Werkstück-Koordinatensystems im Roboter-Koordinatensystem durch Umrechnung der ersten Koordinaten in das Roboter-Koordinatensystem erfasst,
 wobei die Einheit zur Erfassung der Handposition so konfiguriert ist, dass sie als die Handpositionsdaten dritte Koordinaten im Roboter-Koordinatensystem des Werkzeug-Koordinatensystems erfasst, die eine Position und Orientierung der Hand anzeigt, und
 wobei die Einheit zur Erfassung der Lehrposition so konfiguriert ist, dass sie die Lehrpositionsdaten als Koordinaten des Werkstück-Koordinatensystems im Werkzeug-Koordinatensystem oder als Koordinaten des Werkzeug-Koordinatensystems im Werkstück-Koordinatensystem erfasst, basierend auf den zweiten Koordinaten und den dritten Koordinaten.

8. Ein Robotersystem mit:

einem Roboter mit einer Hand, die zum Greifen eines Werkstücks konfiguriert ist;
 einem Bildsensor, der so konfiguriert ist, dass er das Werkstück abbildet; und
 der Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7.

9. Robotersystem nach Anspruch 8, das eine Steuerung umfasst, die so konfiguriert ist, dass sie den Roboter so steuert, dass er das Werkstück mit der Hand ergreift, und zwar auf der Grundlage von zweiten Bilddaten des Werkstücks, die von dem Bildsensor aufgenommen wurden,
 wobei die Steuerung so konfiguriert ist, dass sie:

Daten als zweite Werkstückpositionsdaten, die eine Position und Orientierung des in den zweiten Bilddaten gezeigten Werkstücks im Steuerungs-Koordinatensystem angeben, erfasst; und
 eine Position und Orientierung der Hand im Steuerungs-Koordinatensystem, wenn die Hand das vom Bildsensor abgebildete Werkstück greift, basierend auf den zweiten Werkstückpositionsdaten und den Lehrpositionsdaten, bestimmt.

10. Verfahren zum Einlernen einer Position und Orientierung, bei der ein Roboter ein Werkstück mit einer Hand in einem Steuerungs-Koordinatensystem zur Steuerung des Roboters ergreift, wobei das Verfahren umfasst:

Erfassung von Bilddaten des Werkstücks durch einen Prozessor, die von einem an einer bekannten Position im Steuerungs-Koordinatensystem angeordneten Bildsensor aufgenommen werden, wenn der Roboter das Werkstück mit der Hand greift;

Erfassen von Werkstückpositionsdaten durch den Prozessor, die eine Position und Orientierung des Werkstücks in dem Steuerungs-Koordinatensystem angeben, wenn der Bildsensor die Bilddaten abbildet, auf der Grundlage der Bilddaten;

Erfassen von Handpositionsdaten durch den Prozessor, die eine Position und Orientierung der Hand in dem Steuerungs-Koordinatensystem angeben, wenn der Bildsensor die Bilddaten abbildet; und

Erfassen von Lehrpositionsdaten durch den Prozessor, die eine Positionsbeziehung zwischen der Hand und dem Werkstück in dem Steuerungs-Koordinatensystem angeben, wenn der Bildsensor die Bilddaten abbildet, basierend auf den Werkstückpositionsdaten und den Handpositionsdaten.

Es folgen 8 Seiten Zeichnungen

Fig. 1

10

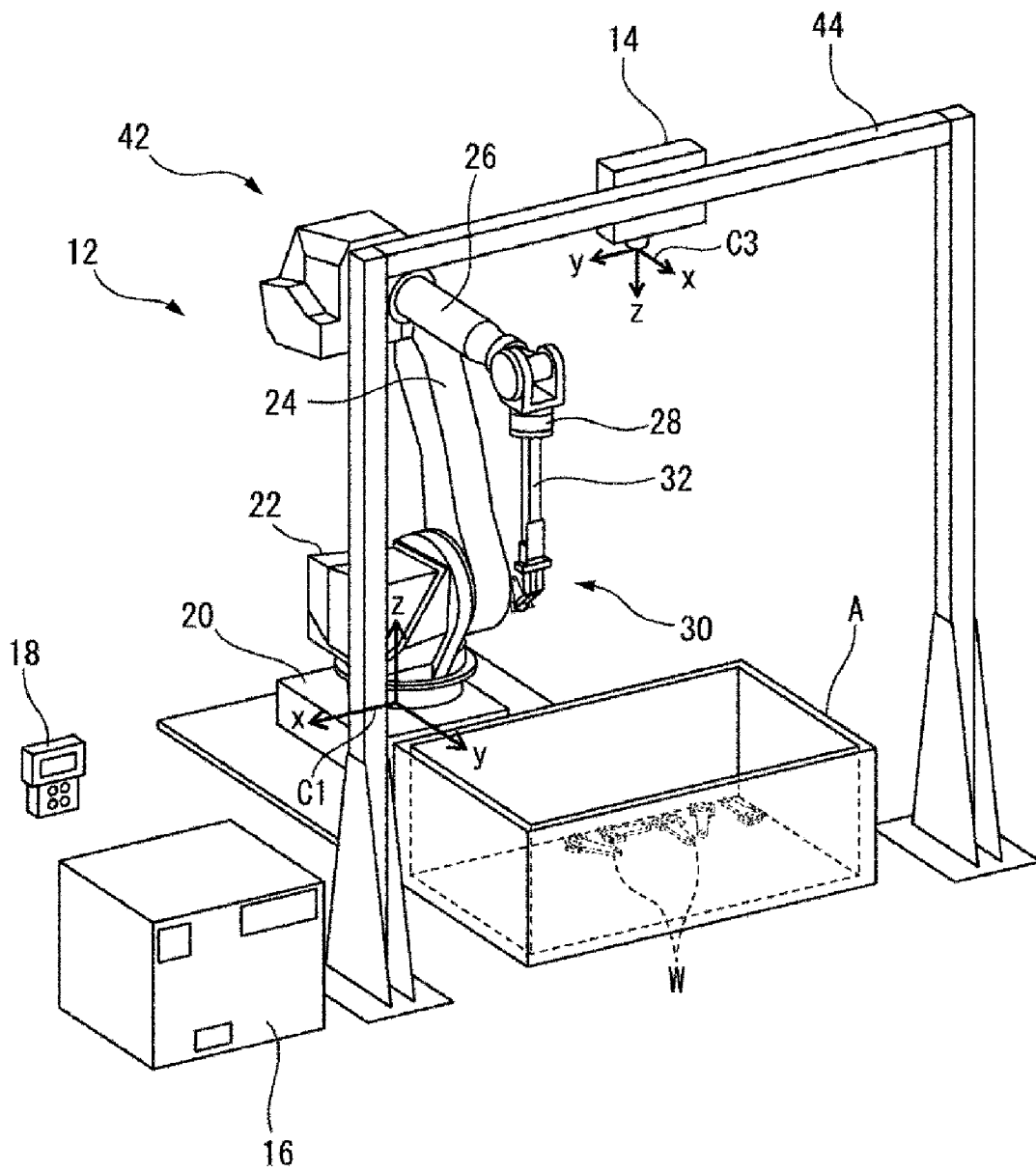


Fig. 2

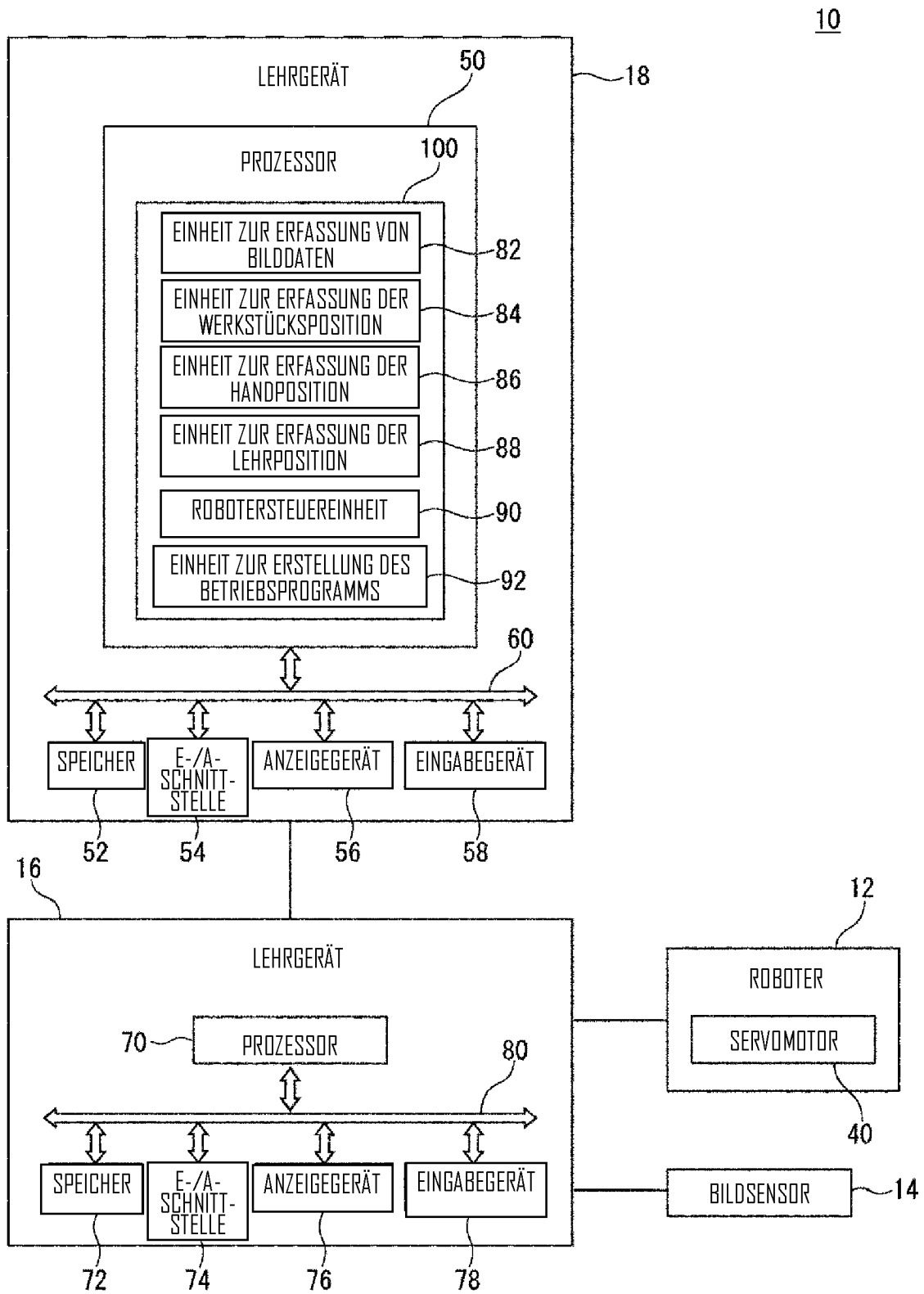


Fig. 3

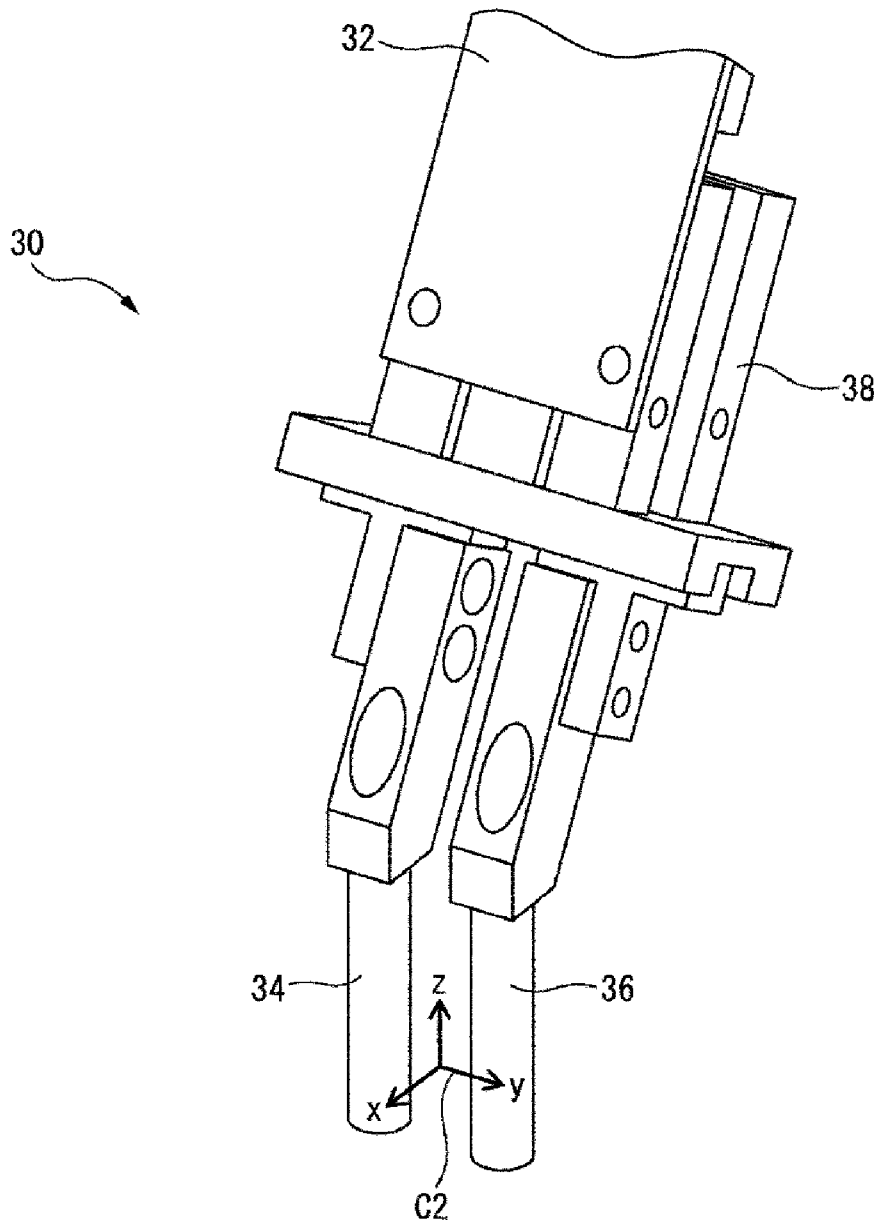


Fig. 4

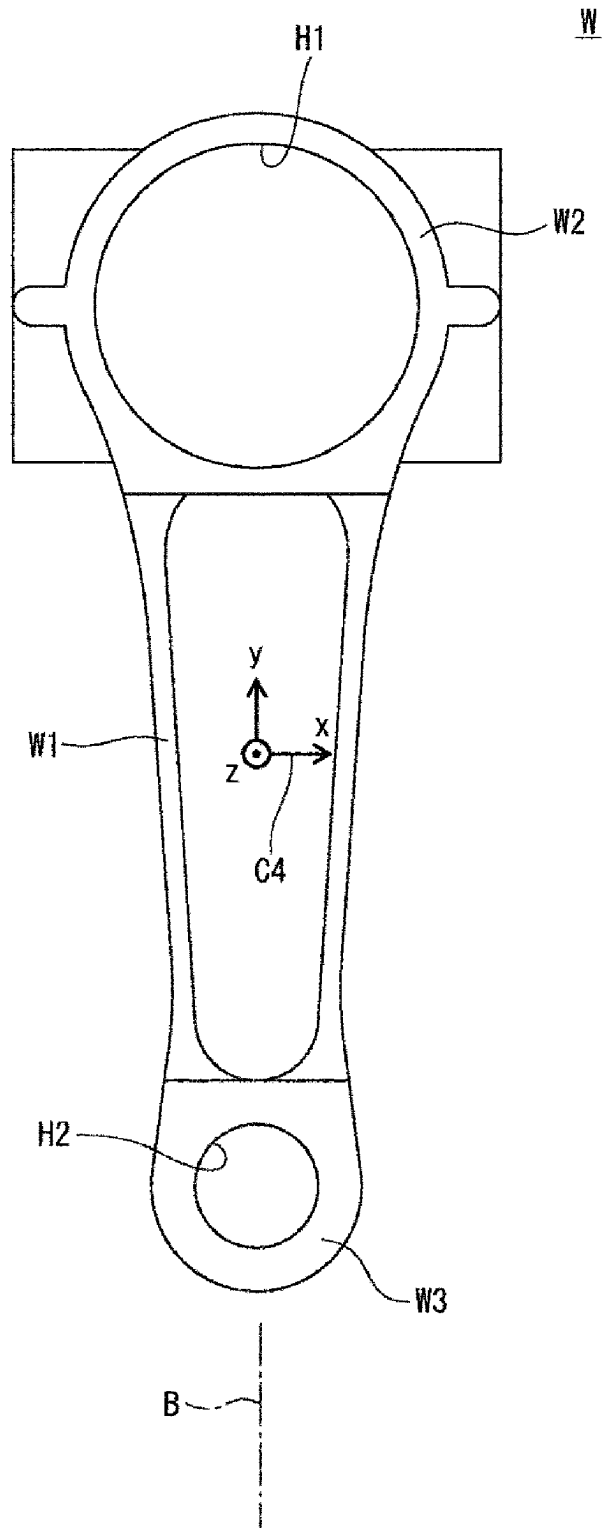


Fig. 5

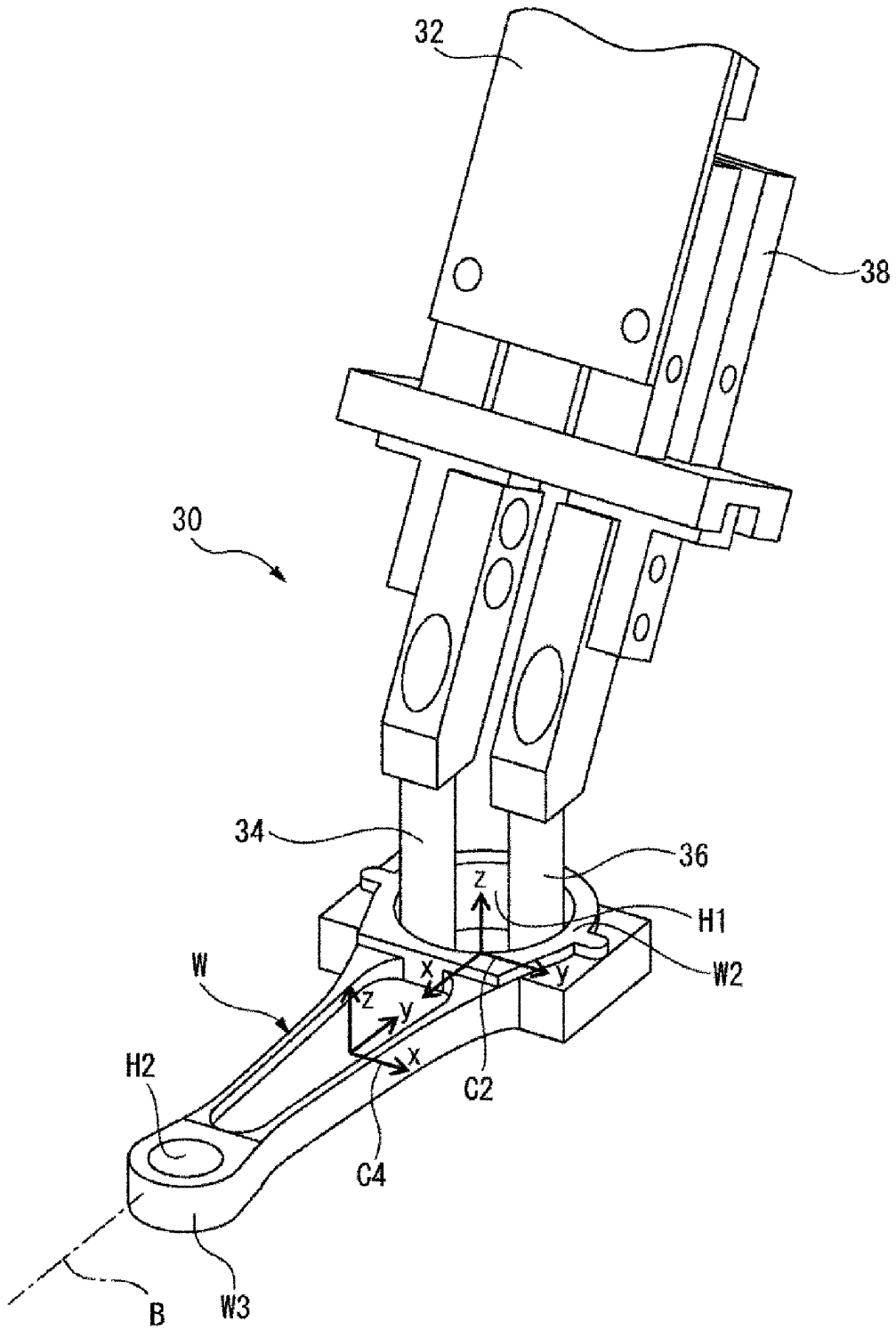


Fig. 6

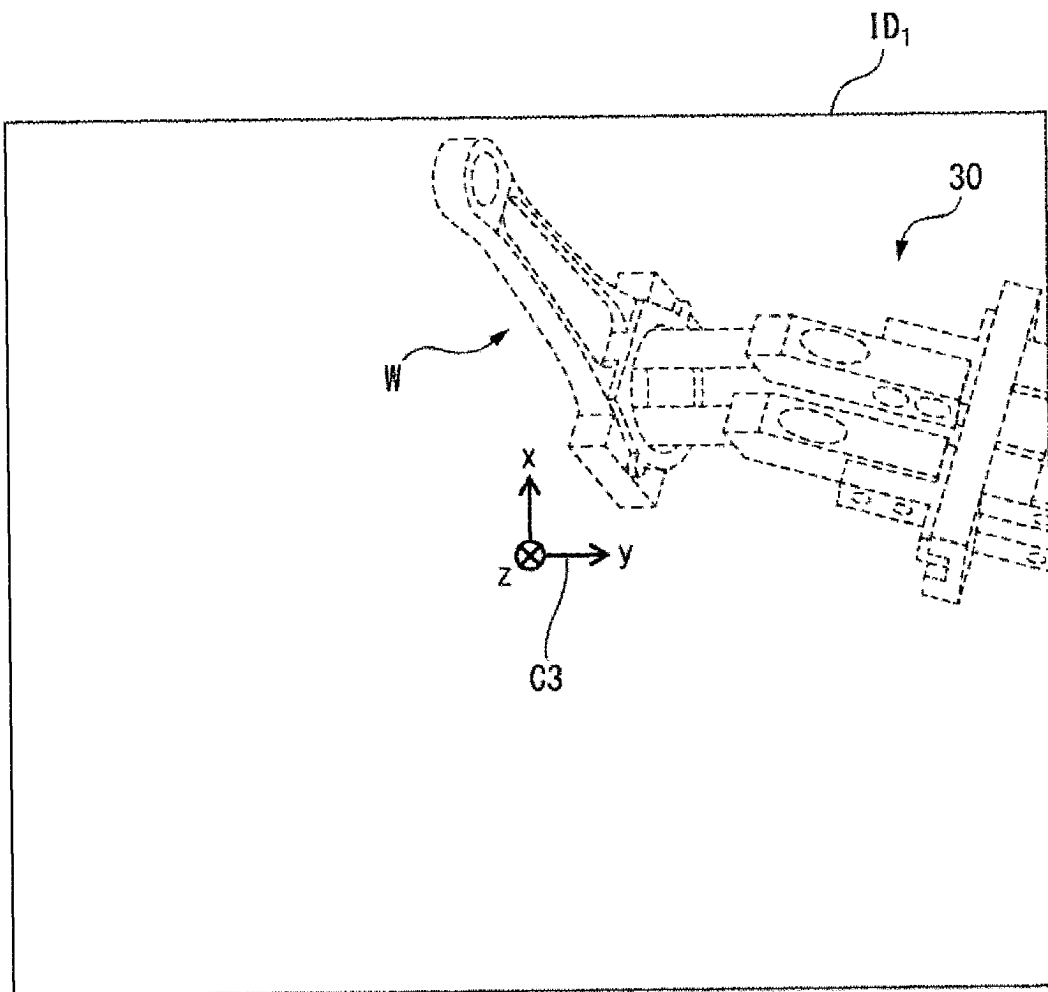


Fig. 7

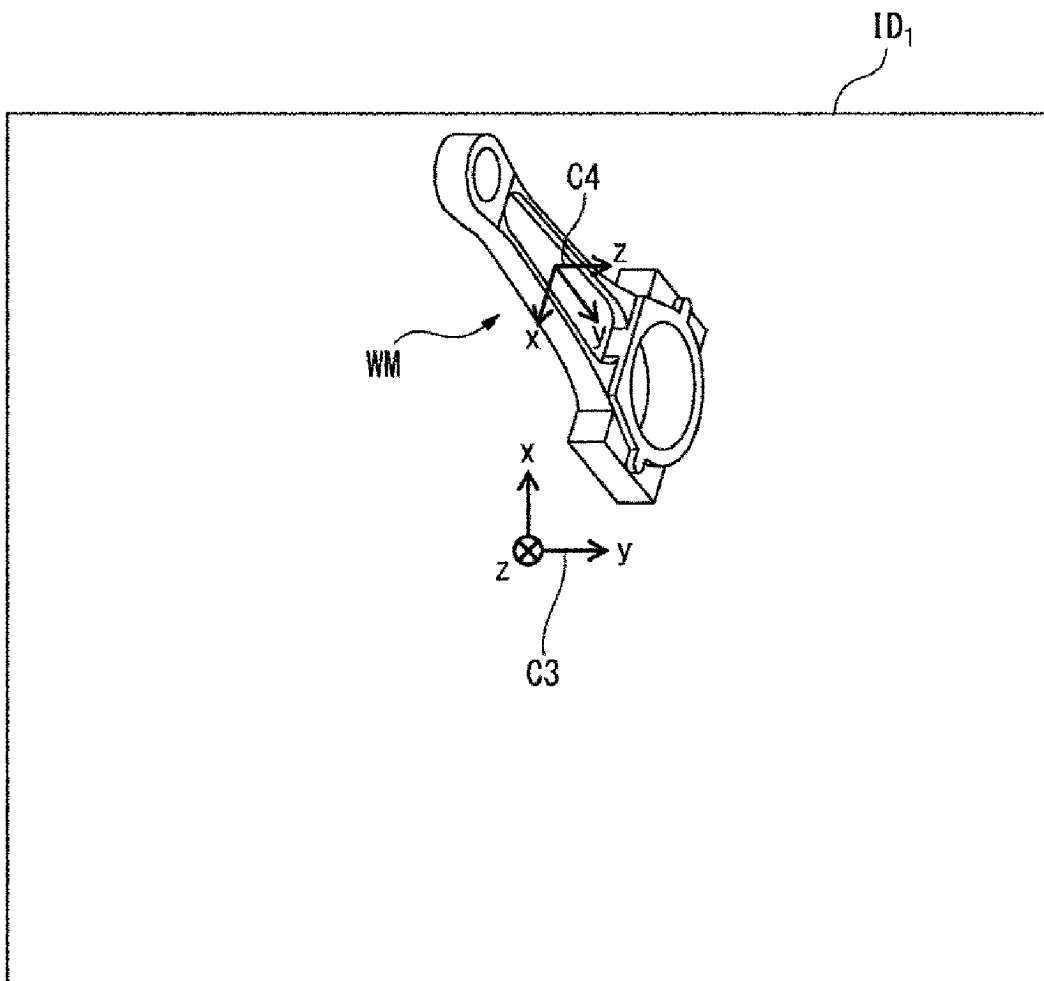


Fig. 8

