



(12) **Veröffentlichung**

der internationalen Anmeldung mit der
 (87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2022/149570**
 in der deutschen Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2
 IntPatÜbkG)
 (21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2022 000 222.0**
 (86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/JP2022/000048**
 (86) PCT-Anmeldetag: **04.01.2022**
 (87) PCT-Veröffentlichungstag: **14.07.2022**
 (43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung
 in deutscher Übersetzung: **28.09.2023**

(51) Int Cl.: **B25J 9/22 (2006.01)**
B25J 13/08 (2006.01)
B25J 9/16 (2006.01)

(30) Unionspriorität:
2021-001550 07.01.2021 JP

(74) Vertreter:
**Meissner Bolte Patentanwälte Rechtsanwälte
 Partnerschaft mbB, 80538 München, DE**

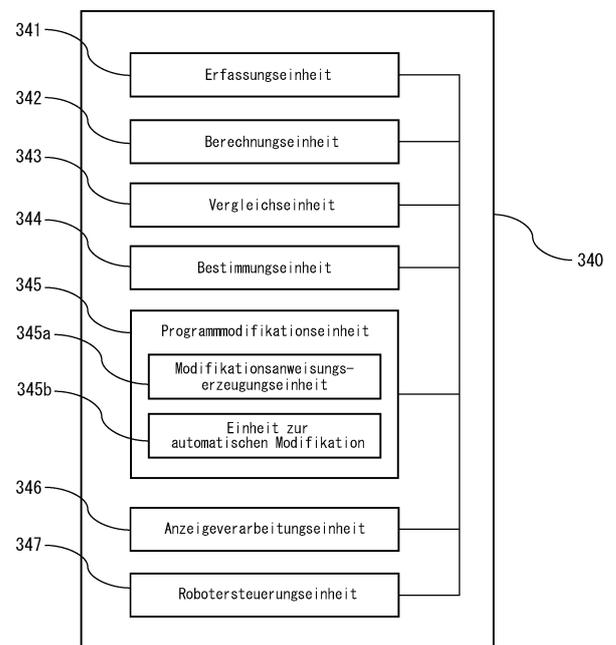
(71) Anmelder:
**FANUC CORPORATION, Oshino-mura,
 Yamanashi, JP**

(72) Erfinder:
**Toumatsu, Ryoue, Oshino-mura, Yamanashi, JP;
 Kajiyama, Takafumi, Oshino-mura, Yamanashi, JP**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **VORRICHTUNG ZUR SIMULATION DES BETRIEBS EINES ROBOTERS, VORRICHTUNG ZUR
 STEUERUNG EINES ROBOTERS, UND VERFAHREN ZUR SIMULATION DES BETRIEBS EINES ROBOTERS**

(57) Zusammenfassung: Diese Vorrichtung zur Roboterbetriebssimulation umfasst: eine Erfassungseinheit 341, die die Position eines Montagegegenstands des Roboters 100 in Bezug auf einen Roboter 100 mit einer drehbaren oder linearen Welle als Gelenk erfasst, wobei der Montagegegenstand an einem Verbindungselement montiert ist, das mit dem Gelenk verbunden ist, und die auch eine Bedingung für mindestens eine der Geschwindigkeiten, Beschleunigungen und wirkenden Kräfte erfasst, die in dem Montagegegenstand erzeugt werden, wenn der Roboter 100 in Betrieb ist; eine Berechnungseinheit 342, die mindestens eine der Geschwindigkeiten, Beschleunigungen und wirkenden Kräfte berechnet, von denen erwartet wird, dass sie in dem Montagegegenstand gemäß der Position des Montagegegenstands relativ zu dem Roboter 100 erzeugt werden, wenn der Roboter 100 einen Betrieb ausführt; und eine Vergleichseinheit 342, die die Beschränkung und mindestens eine der Geschwindigkeiten, Beschleunigungen und wirkenden Kräfte, die von der Berechnungseinheit 342 berechnet wurden, vergleicht.



Beschreibung

GEBIET

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf eine Vorrichtung zur Roboterbetriebssimulation, eine Robotersteuervorrichtung und ein Verfahren zur Roboterbetriebssimulation.

HINTERGRUND

[0002] Es ist bereits bekannt, zu bestimmen, ob die Spitze eines Werkzeugs in einem Betriebsbeschränkungsbereich positioniert ist, der eine beliebige Größe hat und durch Koordinatenwerte in einem Weltkoordinatensystem festgelegt ist und mindestens eine der beiden Größen Geschwindigkeit und Beschleunigung eines Roboters beschränkt, wenn die Spitze des Werkzeugs in dem Betriebsbeschränkungsbereich positioniert ist (siehe z. B. PTL 1).

[ZITIERLISTE]

[PATENTLITERATUR]

[0003] [PTL 1] Ungeprüfte japanische Patentveröffentlichung (Kokai) Nr. JP 2018-062026 A

ZUSAMMENFASSUNG

[TECHNISCHES PROBLEM]

[0004] An einem Industrieroboter werden verschiedene Anbauteile, wie z. B. ein Endeffektor, angebracht. Die Anbauteile haben unterschiedliche Tragfähigkeiten, Steifigkeitswerte und ähnliches; wenn der Betrieb des Roboters nicht zu einem Anbauteil passt, kann das Anbauteil daher eine schwere Last erhalten und je nach Betrieb des Roboters unerwartet beschädigt werden.

[0005] Die in der genannten Patentliteratur beschriebene Technologie geht davon aus, dass mindestens eine der beiden Größen Geschwindigkeit und Beschleunigung eines Roboters eingeschränkt wird, wenn sich ein bestimmtes Werkzeug, das an der Spitze des Roboters angebracht ist, in einem den Betrieb einschränkenden Bereich befindet, geht aber keineswegs davon aus, dass der Betrieb des Roboters gemäß den Eigenschaften eines am Roboter angebrachten Anbauteils, wie z. B. der Tragfähigkeit und dem Steifigkeitswert, eingeschränkt wird.

[0006] Um den Betrieb eines Roboters an ein Anbauteil anzupassen, das verschiedene Attribute aufweist und an einem Roboter angebracht ist, wird vorzugsweise eine Einschränkung für den Betrieb des Roboters durch einen Benutzer gemäß den Attributen des Anbauteils festgelegt. Die in der oben

genannten Patentliteratur beschriebene Technik geht jedoch keineswegs davon aus, dass ein Benutzer den Betrieb des Roboters gemäß den Attributen des Anbauteils einschränken muss.

[0007] Die in der oben genannten Patentliteratur beschriebene Technologie hat daher das Problem, dass der Betrieb des Roboters möglicherweise nicht an ein Anbauteil angepasst ist und das Anbauteil durch die Aufnahme einer unerwartet hohen Last beschädigt werden kann.

[0008] Weitere Beispiele für ein Anbauteil sind ein zwischen den Achsen der Gelenke eines Roboters angebrachtes Anbauteil sowie ein an der Spitze des Roboters angebrachtes Werkzeug, wie z. B. ein Endeffektor. Die in der vorgenannten Patentliteratur beschriebene Technik geht keineswegs davon aus, dass der Betrieb eines Roboters von der Position des Anbauteils relativ zum Roboter abhängig ist. Daher besteht das Problem, dass der Betrieb des Roboters möglicherweise nicht zu einem Anbauteil passt, das an verschiedenen Positionen am Roboter angebracht ist, und dass das Anbauteil durch eine unerwartet hohe Belastung beschädigt werden kann.

[0009] Ein Aspekt der vorliegenden Erfindung besteht darin, eine Vorrichtung zur Roboterbetriebssimulation, eine Robotersteuervorrichtung und ein Verfahren zur Roboterbetriebssimulation bereitzustellen, die es ermöglichen, den Betrieb eines Roboters an ein am Roboter angebrachtes Anbauteil anzupassen und Schäden am Anbauteil zu verhindern.

[LÖSUNG DES PROBLEMS]

[0010] Ein Überblick über die vorliegende Offenbarung ist wie folgt.

[0011] Eine Vorrichtung zur Roboterbetriebssimulation gemäß einem Aspekt der vorliegenden Erfindung umfasst: eine Erfassungseinheit, die eine Position eines Anbauteils erfasst, das an einem Verbindungselement angebracht ist, das mit einem Gelenk eines Roboters relativ zu dem Roboter verbunden ist, wobei das Gelenk eine drehbare oder linear bewegliche Achse aufweist, und eine Grenzbedingung für mindestens eine Geschwindigkeit, eine Beschleunigung und eine wirkende Kraft, die in dem Anbauteil erzeugt wird, wenn der Roboter in Betrieb ist; eine Berechnungseinheit, die mindestens eine Geschwindigkeit, eine Beschleunigung oder eine wirkende Kraft berechnet, von der erwartet wird, dass sie in dem Anbauteil gemäß einer Position des Anbauteils relativ zu dem Roboter erzeugt wird, wenn der Roboter einen Betrieb ausführt; und eine Vergleichseinheit, die mindestens eine Geschwindigkeit, eine Beschleunigung oder eine wirkende Kraft,

die von der Berechnungseinheit berechnet wurde, mit der Grenzbedingung vergleicht.

[0012] Die Vorrichtung zur Roboterbetriebssimulation kann ferner eine Bestimmungseinheit enthalten, die auf der Grundlage eines Vergleichsergebnisses der Vergleichseinheit feststellt, ob mindestens eine der von der Berechnungseinheit berechneten Geschwindigkeiten, Beschleunigungen und wirkenden Kräfte die Grenzbedingung erfüllt.

[0013] Die Bestimmungseinheit kann ferner eine Stelle bestimmen, an der die Grenzbedingung in einem Betriebsprogramm, das den Betrieb des Roboters beschreibt, nicht erfüllt ist, wenn sie feststellt, dass mindestens eine Geschwindigkeit, eine Beschleunigung oder eine wirkende Kraft, die von der Berechnungseinheit berechnet wurde, die Grenzbedingung nicht erfüllt, und die Vorrichtung zur Roboterbetriebssimulation kann ferner eine Anzeigeverarbeitungseinheit enthalten, die eine Verarbeitung durchführt, um auf einer Anzeigevorrichtung eine Stelle anzuzeigen, an der die Grenzbedingung im Betriebsprogramm nicht erfüllt ist.

[0014] Die Vorrichtung zur Roboterbetriebssimulation kann ferner eine Modifikationsanweisungserzeugungseinheit enthalten, die eine Modifikationsanweisung erzeugt, um zu bewirken, dass das Betriebsprogramm so modifiziert wird, dass mindestens eine von einer Geschwindigkeit, einer Beschleunigung und einer wirkenden Kraft, die von der Berechnungseinheit berechnet wurde, die Grenzbedingung erfüllt, wenn mindestens eine von einer Geschwindigkeit, einer Beschleunigung und einer wirkenden Kraft, die von der Berechnungseinheit berechnet wurde, die Grenzbedingung nicht erfüllt, wobei die Anzeigeverarbeitungseinheit eine Verarbeitung zur Anzeige der Modifikationsanweisung auf der Anzeigevorrichtung durchführen kann.

[0015] Die Modifikationsanweisungserzeugungseinheit kann eine Modifikationsanweisung erzeugen, um das Betriebsprogramm so zu modifizieren, dass eine Geschwindigkeit oder eine Beschleunigung, die mit der Grenzbedingung zusammenhängt, innerhalb der Grenzbedingung erhöht wird, wenn eine von der Berechnungseinheit berechnete Geschwindigkeit oder Beschleunigung die Grenzbedingung erfüllt.

[0016] Die Berechnungseinheit kann mindestens eine Geschwindigkeit, eine Beschleunigung und eine wirkende Kraft berechnen, von der erwartet wird, dass sie in dem Anbauteil erzeugt wird, wenn der Roboter den Betrieb gemäß dem Betriebsprogramm nach der Modifikation, die gemäß der Modifikationsanweisung modifiziert wurde, ausführt, und die Vergleichseinheit kann mindestens eine Geschwindigkeit, eine Beschleunigung und eine wirkende Kraft, die gemäß dem Betriebsprogramm

nach der Modifikation durch die Berechnungseinheit berechnet wurde, mit der Grenzbedingung vergleichen.

[0017] Die Vorrichtung zur Roboterbetriebssimulation kann ferner eine Modifikationseinheit umfassen, die das Betriebsprogramm so modifiziert, dass mindestens eine der von der Berechnungseinheit berechneten Geschwindigkeiten, Beschleunigungen und wirkenden Kräfte die Grenzbedingung erfüllt, wenn mindestens eine der von der Berechnungseinheit berechneten Geschwindigkeiten, Beschleunigungen und wirkenden Kräfte die Grenzbedingung nicht erfüllt.

[0018] Die Modifikationseinheit kann das Betriebsprogramm so modifizieren, dass eine Geschwindigkeit oder eine Beschleunigung, die mit der Grenzbedingung zusammenhängt, innerhalb der Grenzbedingung erhöht wird, wenn eine von der Berechnungseinheit berechnete Geschwindigkeit oder eine Beschleunigung die Grenzbedingung erfüllt.

[0019] Bei dem Roboter kann es sich um einen Gelenkroboter mit mehreren Gelenken handeln, von denen jedes die Achse umfasst, und das Anbauteil kann an dem Verbindungselement angebracht werden, das mit jedem der benachbarten Gelenke verbunden ist, oder an dem Verbindungselement, das einer Spitze des Roboters am nächsten liegt.

[0020] Eine Robotersteuerungsvorrichtung gemäß einem anderen Aspekt der vorliegenden Erfindung umfasst: die oben erwähnte Vorrichtung zur Roboterbetriebssimulation; und eine Robotersteuerungseinheit, die den Betrieb des Roboters steuert.

[0021] Ein Verfahren zur Roboterbetriebssimulation gemäß einem weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung umfasst: einen Schritt des Erfassens einer Position eines Anbauteils, das an einem Verbindungselement angebracht ist, das mit einem Gelenk eines Roboters relativ zu dem Roboter verbunden ist, wobei das Gelenk eine drehbare oder linear bewegliche Achse aufweist, und eine Grenzbedingung für mindestens eine Geschwindigkeit, eine Beschleunigung und eine wirkende Kraft, die in dem Anbauteil erzeugt wird, wenn der Roboter in Betrieb ist; einen Schritt des Berechnens mindestens einer Geschwindigkeit, einer Beschleunigung und einer wirkenden Kraft, von der erwartet wird, dass sie in dem Anbauteil gemäß einer Position des Anbauteils relativ zu dem Roboter erzeugt wird, wenn der Roboter einen Betrieb ausführt; und einen Schritt des Vergleichens mindestens einer berechneten Geschwindigkeit, einer berechneten Beschleunigung und einer berechneten wirkenden Kraft mit der Grenzbedingung.

[VORTEILHAFTE WIRKUNGEN DER ERFINDUNG]

[0022] Die vorliegende Erfindung ermöglicht es, den Betrieb eines Roboters an ein Anbauteil anzupassen, das an dem Roboter angebracht ist, und Schäden an dem Anbauteil zu verhindern.

KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

Fig. 1 ist ein schematisches Konfigurationsdiagramm eines Robotersystems gemäß einer Ausführungsform, in der eine Vorrichtung zur Roboterbetriebssimulation implementiert ist.

Fig. 2 ist ein schematisches Konfigurationsdiagramm einer Steuerungsvorrichtung.

Fig. 3 ist ein funktionelles Blockdiagramm eines Prozessors.

Fig. 4 ist ein schematisches Diagramm zur Veranschaulichung der Position eines Anbauteils und des Baryzentrums eines Anbauteils in Bezug auf einen Roboter.

Fig. 5 ist ein schematisches Diagramm zur Veranschaulichung der Position eines Anbauteils und des Baryzentrums eines Anbauteils in Bezug auf einen Roboter.

Fig. 6 ist ein schematisches Diagramm, das einen Anzeigehalt veranschaulicht, der sich auf die Änderung eines Betriebsprogramms bezieht und auf einem Anzeigebildschirm einer Anzeigevorrichtung angezeigt wird.

Fig. 7 ist ein Flussdiagramm zur Veranschaulichung der Verarbeitung in einem Verfahren zur Roboterbetriebssimulation gemäß der vorliegenden Ausführungsform.

BESCHREIBUNG DER AUSFÜHRUNGSFORMEN

[0023] Mehrere Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung werden im Folgenden unter Bezugnahme auf Diagramme beschrieben. Die Beschreibungen dienen jedoch lediglich der Veranschaulichung bevorzugter Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung und sollen die vorliegende Erfindung nicht auf solche spezifischen Ausführungsformen beschränken.

[0024] **Fig. 1** ist ein schematisches Konfigurationsdiagramm eines Robotersystems 1000 gemäß einer Ausführungsform, in der eine Vorrichtung zur Roboterbetriebssimulation implementiert ist. Das Robotersystem 1000 umfasst einen Roboter 100, ein Werkzeug 200, das an der Spitze des Roboters 100 angebracht ist, eine Steuerungsvorrichtung 300, die den Roboter 100 und das Werkzeug 200 steuert, eine Anzeigevorrichtung 400 und ein Lehrbetriebsbedienfeld 500.

[0025] Der Roboter 100 ist ein Knickarmroboter und umfasst in dem in **Fig. 1** dargestellten Beispiel sechs Gelenke. Beachten Sie, dass der Roboter 100 im Folgenden zwar als Gelenkroboter dargestellt wird, dessen Gelenke jeweils eine drehbare Achse aufweisen, der Roboter 100 jedoch ein beliebiger Roboter sein kann, wie z. B. ein Roboter, dessen Gelenke jeweils eine linear bewegliche Achse aufweisen, ein einachsiger Roboter oder ein Deltaroboter. Der Roboter 100 umfasst einen Sockel 102, einen Drehtisch 104, einen ersten Arm 106, einen zweiten Arm 108 und ein Handgelenk 110. Jeder der Drehtische 104, der erste Arm 106, der zweite Arm 108 und das Handgelenk 110 wird von einer Achse getragen, die an einem Gelenk vorgesehen ist, an dem das Teil montiert ist, und ist durch den Antrieb der Achse durch einen Servomotor in Betrieb.

[0026] Der Sockel 102 ist ein Element, das als Basis dient, wenn der Roboter 100 auf einem Boden 1 installiert ist. Der Drehtisch 104 ist auf der Oberseite des Sockels 102 über ein Gelenk 112 drehbar gelagert, wobei eine Achse so vorgesehen ist, dass sie orthogonal zu einer Fläche des Sockels 102 als Drehpunkt liegt.

[0027] Ein Ende des ersten Arms 106 ist an dem Drehtisch 104 an einem Gelenk 114 befestigt, das an dem Drehtisch 104 vorgesehen ist. Der erste Arm 106 gemäß der vorliegenden Ausführungsform ist an dem Gelenk 114 um eine Achse drehbar, die parallel zu einer Oberfläche des Sockels 102 vorgesehen ist, auf dem der Drehtisch 104 montiert ist, wie in **Fig. 1** dargestellt.

[0028] Ein Ende des zweiten Arms 108 ist an dem ersten Arm 106 an einem Gelenk 116 befestigt, das am anderen Ende des ersten Arms 106 auf der gegenüberliegenden Seite des Gelenks 114 vorgesehen ist. Der zweite Arm 108 ist gemäß der vorliegenden Ausführungsform an dem Gelenk 116 um eine Achse drehbar, die parallel zu einer Oberfläche des Sockels 102 vorgesehen ist, auf dem der Drehtisch 104 montiert ist, wie in **Fig. 1** dargestellt.

[0029] Das Handgelenk 110 ist an der Spitze des zweiten Arms 108 auf der gegenüberliegenden Seite des Gelenks 116 über ein Gelenk 118 befestigt. Das Handgelenk 110 umfasst ein Gelenk 120 und ist am Gelenk 120 mit einer Achse biegsam, die parallel zur Achse des Gelenks 114 und der Achse des Gelenks 116 als Drehpunkt verläuft. Ferner ist das Handgelenk 110 am Gelenk 118 mit einer Achse parallel zur Längsrichtung des zweiten Arms 108 als Drehpunkt auf einer Fläche orthogonal zur Längsrichtung des zweiten Arms 108 drehbar. Ferner ist das Handgelenk 110 so ausgebildet, dass eine Werkzeugaufnahmefläche (Werkzeugaufnahmeteil) 122 an der Spitze des Handgelenks 110 auf der gegenüberliegenden Seite des Gelenks 118 an einem

Gelenk 119 drehbar ist. Die Drehachse des Gelenks 120 ist so ausgebildet, dass sie die Drehachse des Gelenks 118 und die Drehachse des Gelenks 119 im gleichen Punkt rechtwinklig schneidet.

[0030] Das Werkzeug 200 ist auf der Werkzeugaufnahme­fläche 122 montiert. Das Werkzeug 200 umfasst einen Mechanismus oder eine Vorrichtung zur Durchführung von Arbeiten an einem Werkstück W. Das Werkzeug 200 kann beispielsweise einen Laser zur Verarbeitung des Werkstücks W oder eine Servopistole zum Schweißen des Werkstücks W umfassen. Alternativ dazu kann das Werkzeug 200 einen Endeffektor (Roboterhand) zum Greifen des Werkstücks W oder eines auf dem Werkstück W zu montierenden Teils umfassen.

[0031] Die Steuerungsvorrichtung 300 ist eine Ausführungsform einer Vorrichtung zur Roboterbetriebs­simulation. Die Steuerungsvorrichtung 300 ist mit dem Roboter 100 über eine Kommunikationsleitung 302 verbunden und empfängt von dem Roboter 100 über die Kommunikationsleitung 302 Informationen, die den Betriebszustand eines Servomotors, der eine Achse antreibt, die in jedem Gelenk des Roboters 100 vorgesehen ist, und Ähnliches anzeigen. Dann steuert die Steuerungsvorrichtung 300 die Position und die Lage jedes beweglichen Teils des Roboters 100 durch Steuerung des Servomotors auf der Grundlage der empfangenen Informationen und der von einer oberen Steuervorrichtung (nicht abgebildet) empfangenen Informationen oder der Informationen, die den voreingestellten Betrieb des Roboters 100 anzeigen.

[0032] Die Anzeigevorrichtung 400 ist zum Beispiel mit einer Flüssigkristallanzeige (LCD) ausgestattet. Die Anzeigevorrichtung 400 zeigt Informationen an, die sich auf die Änderung eines Betriebsprogramms beziehen, das später beschrieben wird, und ähnliches gemäß einem Befehl von der Steuerungsvorrichtung 300. Eine Bedienung durch einen Bediener wird in das Lehrbetriebsbedienfeld 500 eingegeben. Durch die manuelle Bedienung des Lehrbetriebsbedienfelds 500 führt der Bediener die Erstellung, Änderung oder Registrierung des Betriebsprogramms des Roboters 100 oder die Einstellung verschiedener Parameter des Betriebsprogramms aus, und darüber hinaus einen Wiedergabebetrieb, einen Tippbetrieb und dergleichen des Roboters 100, der auf dem Betriebsprogramm basiert. Beachten Sie, dass die Anzeigevorrichtung 400 und das Lehrbetriebsbedienfeld 500 integriert sein können. Ferner kann das Lehrbetriebsbedienfeld 500 Bedienelemente wie eine Maus und eine Tastatur enthalten.

[0033] Wie in **Fig. 1** dargestellt, sind ein Koordinatensystem (im Folgenden als Roboterkoordinatensystem bezeichnet) Σb , das an der Roboterbasis befestigt ist, und ein Koordinatensystem (im Folgen-

den als Koordinatensystem der Werkzeugaufnahme­fläche bezeichnet) Σf , das an der Werkzeugaufnahme­fläche 122 befestigt ist, auf das Robotersystem 1000 eingestellt. In der Steuerungsvorrichtung 300 können die Position des Ursprungs und die Lage des Koordinatensystems der Werkzeugaufnahme­fläche Σf je nach Bedarf erkannt werden, basierend auf einer Spezifikation des Roboters 100, wie z. B. dem Winkel eines Gelenks und einer Armlänge des Roboters 100.

[0034] Der Roboter 100 ist gemäß dem Betriebsprogramm in Betrieb. Wenn das Werkzeug 200 beispielsweise ein Endeffektor ist, bewegt der Roboter 100 dessen Spitze von einer ersten Position (Anfangsposition) zu einer zweiten Position, in der der Endeffektor das Werkstück W greifen kann, und bewegt das Werkstück W nach dem Greifen des Werkstücks W in der zweiten Position zu einer dritten Position, um gemäß dem Betriebsprogramm einen vorbestimmten Prozess (wie Schweißen) auf das Werkstück W anzuwenden. Im Betrieb sind die erste bis dritte Position (Koordinaten), die Geschwindigkeit und die Beschleunigung, wenn der Roboter 100 in Betrieb ist, im Betriebsprogramm beschrieben.

[0035] Wenn der Roboter 100 gemäß dem Betriebsprogramm in Betrieb ist, wird eine wirkende Kraft (Trägheitskraft) in dem Werkzeug 200 erzeugt, das an der Werkzeugaufnahme­fläche 122 an der Spitze des Roboters 100 angebracht ist. Wenn es sich bei dem Werkzeug 200 um einen Endeffektor handelt und das Werkstück W von dem Endeffektor ergriffen wird, bewirkt das Werkstück W, dass der Endeffektor eine wirkende Kraft erzeugt, wenn der Roboter 100 in Betrieb ist. Beispielsweise kann sich durch die erzeugte wirkende Kraft eine Spannung auf die Basis des Werkzeugs 200 oder ähnliches konzentrieren.

[0036] Außerdem sind außer dem Werkzeug 200 verschiedene Anbauteile am Roboter 100 angebracht, und einige der Anbauteile können an einer anderen Stelle als der Spitze des Roboters 100 angebracht werden. Beispiele für ein Anbauteil, das an einer anderen Stelle als der Spitze des Roboters 100 angebracht ist, sind ein Drahtkörper, ein Klemmblech, eine Zuführung, eine Klemmleiste und ein elektromagnetisches Luftventil. Die Anbauteile, die an anderen Stellen als der Spitze des Roboters 100 angebracht sind, werden zwischen den Achsen der Gelenke des Roboters 100 angebracht. Eine wirkende Kraft wird in dem Anbauteil erzeugt, das an einer anderen Stelle als der Spitze des Roboters 100 angebracht ist, wenn der Roboter 100 in Betrieb ist.

[0037] Ein Drahtkörper umfasst ein Kabel, einen Luftschlauch und dergleichen. Beispiele für ein

Kabel sind ein Stromversorgungskabel, das einen Servomotor im Werkzeug 200 an der Spitze des Roboters 100 oder einem Gelenk mit Strom versorgt, und ein Signalkabel, das ein Steuersignal an das Werkzeug 200 sendet. Ein Luftschlauch ist zum Beispiel ein Schlauch für die Luftzufuhr zum Werkzeug 200 an der Spitze des Roboters 100. Ein Klemmblech ist eine Metallvorrichtung, mit der die Drahtkörper entlang des ersten Arms 106 und des zweiten Arms 108 befestigt werden. Wenn es sich bei dem Werkzeug 200 um einen Schweißbrenner handelt, wird der Schweißbrenner über eine Zuführung mit Schweißmaterial versorgt. Ein Klemmenblock ist ein Sockel, an dem eine Klemme zum Anschluss von Drahtkörpern befestigt ist. Ein elektromagnetisches Luftventil ist ein Ventil zur Steuerung der Luftzufuhr von einem Luftschlauch zum Werkzeug 200.

[0038] Es wird davon ausgegangen, dass ein Anbauteil durch die wirkende Kraft beschädigt wird, wenn eine wirkende Kraft, die durch den Betrieb des Roboters 100 erzeugt wird, stark ist. Daher ist der Roboter 100 vorzugsweise so in Betrieb, dass die erzeugte wirkende Kraft in einen Bereich fällt, der auf der Tragfähigkeit, dem Steifigkeitswert und/oder dergleichen des Anbauteils basiert. Da die Größe der in dem Anbauteil erzeugten wirkenden Kraft durch die Masse und die Beschleunigung des Anbauteils bestimmt wird, wird die Beschleunigung, wenn der Roboter 100 in Betrieb ist, vorzugsweise auf einen vorbestimmten Schwellenwert oder einen niedrigeren Wert beschränkt, so dass sie in den Bereich der wirkenden Kraft fällt, der auf der Tragfähigkeit, dem Steifigkeitswert und/oder dergleichen des Anbauteils basiert.

[0039] Im Hinblick auf die Geschwindigkeit, mit der der Roboter 100 in Betrieb ist, wird theoretisch keine wirkende Kraft erzeugt, solange der Roboter 100 mit konstanter Geschwindigkeit arbeitet, jedoch kann eine hohe Geschwindigkeit zu Problemen führen. Eine höhere Geschwindigkeit erhöht das Volumen des Luftstroms, der von einem Anbauteil und dem Werkstück W gemäß dem Betrieb des Roboters 100 aufgenommen wird, und kann daher Probleme verursachen; und wenn es sich beispielsweise bei einem vom Endeffektor gegriffenen Objekt um ein verderbliches Lebensmittel handelt, kann eine höhere Geschwindigkeit, wenn der Roboter 100 in Betrieb ist, dazu führen, dass das verderbliche Lebensmittel eher verrottet, weil es mit einer größeren Luftmenge in Kontakt kommt. Außerdem kann eine höhere Geschwindigkeit, mit der der Roboter 100 in Betrieb ist, spezifische Vibrationen im Roboter 100 erzeugen. Dementsprechend wird auch die Geschwindigkeit des Roboters 100 vorzugsweise so begrenzt, dass sie gleich oder kleiner als ein vorgegebener Schwellenwert ist. Es ist zu beachten, dass der vorgegebene Schwellenwert, der die Ober-

grenze der Geschwindigkeit definiert, aus der Erfahrung des Benutzers ermittelt werden kann.

[0040] Gemäß der vorliegenden Ausführungsform gibt der Benutzer Grenzbedingungen (Schwellenwerte) für mindestens eine oder mehrere Geschwindigkeiten, eine Beschleunigung und eine wirkende Kraft an, die auf ein Anbauteil einwirken. Ferner variiert eine wirkende Kraft, die auf das Anbauteil wirkt, wenn der Roboter 100 in Betrieb ist, durch die Position des Anbauteils relativ zum Roboter 100 und die Schwerpunktposition des Anbauteils, und daher gibt der Benutzer Positionsinformationen an, die einen Teil des Roboters 100, an dem das Anbauteil angebracht ist, und die Schwerpunktposition des Anbauteils angeben. Beachten Sie, dass die Baryzentrumposition des Anbauteils eine Ausführungsform der Position eines Anbauteils relativ zu einem Roboter ist. Dann werden mindestens eine oder mehrere der Geschwindigkeiten, die Beschleunigung und die wirkende Kraft des Anbauteils aus den Betriebsinformationen des Roboters 100 durch eine Simulation berechnet, ohne dass der Roboter 100 tatsächlich in Betrieb ist, und es wird ermittelt, ob die berechneten Werte die jeweiligen Grenzbedingungen erfüllen. Wenn dann mindestens eine der Größen Geschwindigkeit, Beschleunigung und wirkende Kraft des Anbauteils die Grenzbedingung nicht erfüllt, wird das Betriebsprogramm so geändert, dass die Grenzbedingung erfüllt wird. Wenn der Roboter 100 durch das geänderte Betriebsprogramm gesteuert wird, liegen die Geschwindigkeit, die Beschleunigung oder die wirkende Kraft beim Betrieb des Roboters 100 innerhalb der Grenzbedingung, und daher wird eine Beschädigung des Anbauteils beim Betrieb des Roboters 100 verhindert.

[0041] Nachfolgend wird eine Konfiguration der Steuerungsvorrichtung 300 zur Durchführung der oben beschriebenen Verarbeitung beschrieben. **Fig. 2** ist ein schematisches Konfigurationsdiagramm der Steuerungsvorrichtung 300. Die Steuerungsvorrichtung 300 umfasst eine Kommunikationsschnittstelle 310, eine Treiberschaltung 320, einen Speicher 330 und einen Prozessor 340. Die Kommunikationsschnittstelle 310 umfasst beispielsweise eine Kommunikationsschnittstelle zum Anschluss der Steuerungsvorrichtung 300 an die Kommunikationsleitung 302 und eine Schaltung zur Ausführung der Verarbeitung im Zusammenhang mit dem Senden und Empfangen von Signalen über die Kommunikationsleitung 302. Dann empfängt die Kommunikationsschnittstelle 310 beispielsweise Informationen, die den Betriebszustand eines Servomotors 130 anzeigen, wie einen Messwert eines Drehbetrags von einem Encoder zum Erfassen eines Drehbetrags des Servomotors 130, von dem Roboter 100 über die Kommunikationsleitung 302 und überträgt die Informationen an den Prozessor 340. Es ist zu beachten, dass der Roboter 100 für

jedes Gelenk einen Servomotor enthalten kann, der die Achse des Gelenks antreibt, auch wenn in **Fig. 3** nur ein Servomotor 130 dargestellt ist.

[0042] Darüber hinaus umfasst die Kommunikationsschnittstelle 310 eine Schnittstellenschaltung zur Verbindung des Prozessors 340 mit der Anzeigevorrichtung 400 oder dem Lehrbetriebsbedienfeld 500 sowie eine Schaltung zur Ausführung von Verarbeitungen im Zusammenhang mit dem Senden und Empfangen von Signalen an das und vom Lehrbetriebsbedienfeld 500 oder der Anzeigevorrichtung 400.

[0043] Die Antriebsschaltung 320 ist über ein Stromversorgungskabel mit dem Servomotor 130 verbunden und versorgt den Servomotor 130 gemäß der Steuerung durch den Prozessor 340 mit elektrischer Energie auf der Grundlage des vom Servomotor 130 zu erzeugenden Drehmoments, einer Drehrichtung oder einer Drehgeschwindigkeit.

[0044] Der Speicher 330 umfasst beispielsweise einen lesend-schreibenden Halbleiterspeicher [Random-Access Memory (RAM)], einen Nur-Lese-Halbleiterspeicher [Read-Only Memory (ROM)] und einen nichtflüchtigen Speicher. Darüber hinaus kann der Speicher 330 ein Speichermedium wie eine Halbleiterspeicherkarte, eine Festplatte oder ein optisches Speichermedium sowie eine Vorrichtung für den Zugriff auf das Speichermedium umfassen.

[0045] Der Speicher 330 speichert verschiedene Computerprogramme zur Steuerung des Roboters 100, wie z. B. das oben erwähnte Betriebsprogramm des Roboters 100, wobei die Programme von dem Prozessor 340 in der Steuerungsvorrichtung 300 ausgeführt werden. Insbesondere ist ein Systemprogramm, das die Grundfunktionen des Roboters 100 und der Vorrichtung 300 unterstützt, in einem ROM im Speicher 330 gespeichert. Des Weiteren sind Daten, die sich auf die Spezifikation des Roboters 100 beziehen, wie z. B. die Armlänge zwischen den Gelenken des Roboters 100, ebenfalls in dem ROM im Speicher 330 gespeichert. Ferner sind das Betriebsprogramm des Roboters, das gemäß einer Anwendung (z. B. ein Punktschweißprogramm) angewiesen ist, und die zugehörigen Einstelldaten in einem nichtflüchtigen Speicher im Speicher 330 gespeichert. Des Weiteren speichert der Speicher 330 Informationen zur Steuerung des Betriebs des Roboters 100, wenn der Roboter 100 in Betrieb ist. Darüber hinaus speichert der Speicher 330 Informationen, die den Betriebsstatus des Servomotors 130 anzeigen und während des Betriebs des Roboters 100 vom Roboter 100 erfasst werden, und dergleichen.

[0046] **Fig. 3** ist ein funktionales Blockdiagramm des Prozessors 340, das mit der Verarbeitung der Bestimmung, ob mindestens eine der Größen Geschwindigkeit, Beschleunigung und wirkende Kraft des Roboters 100 eine Grenzbedingung erfüllt, und der Modifizierung des Betriebsprogramms, wenn die Grenzbedingung nicht erfüllt ist, und der Verarbeitung der Steuerung des Roboters 100 unter Verwendung des Betriebsprogramms zusammenhängt. Der Prozessor 340 umfasst eine Erfassungseinheit 341, eine Berechnungseinheit 342, eine Vergleichseinheit 343, eine Bestimmungseinheit 344, eine Programmmodifikationseinheit 345, eine Anzeigeverarbeitungseinheit 346 und eine Robotersteuerungseinheit 347. Die Programmmodifikationseinheit 345 umfasst eine Modifikationsanweisungserzeugungseinheit 345a und eine Einheit zur automatischen Modifikation 345b. Beispielsweise ist jede der im Prozessor 340 enthaltenen Einheiten ein Funktionsmodul, das durch ein auf dem Prozessor 340 ausgeführtes Computerprogramm bereitgestellt wird. Alternativ kann jede der Einheiten als dedizierter arithmetischer Schaltkreis implementiert sein, der in einem Teil des Prozessors 340 implementiert ist. Ein Computerprogramm zur Ausführung der Verarbeitung in jeder Einheit des Prozessors 340 kann in Form einer Aufzeichnung auf einem computerlesbaren Aufzeichnungsmedium wie einem Halbleiterspeicher, einem magnetischen Aufzeichnungsmedium oder einem optischen Aufzeichnungsmedium bereitgestellt werden.

[0047] Ohne dass der Roboter 100 tatsächlich in Betrieb ist, berechnet der Prozessor 340 die Geschwindigkeit, die Beschleunigung oder die wirkende Kraft, die erzeugt wird, wenn der Roboter 100 in Betrieb ist, durch eine Simulation und stellt fest, ob eine Grenzbedingung erfüllt ist, wobei die Konfiguration in **Fig. 3** dargestellt ist. Wenn die Grenzbedingung nicht erfüllt ist, führt der Prozessor 340 eine Verarbeitung zur Modifizierung des Betriebsprogramms durch. Es ist zu beachten, dass der Prozessor 340 in dem in **Fig. 3** dargestellten Konfigurationsbeispiel zwar die Robotersteuerungseinheit 347 enthält, die Vorrichtung zur Roboterbetriebsimulation gemäß der vorliegenden Ausführungsform den Roboter 100 jedoch nicht steuern und die Robotersteuerungseinheit 347 in diesem Fall nicht enthalten kann. Beispielsweise kann die Vorrichtung zur Roboterbetriebssimulation in einem elektronischen Gerät implementiert sein, das den Roboter 100 nicht steuert, wie z.B. einem Personalcomputer.

[0048] Die Erfassungseinheit 341 im Prozessor 340 erfasst mindestens eine der Grenzbedingungen für eine Geschwindigkeit, eine Beschleunigung und eine wirkende Kraft eines Anbauteils, die durch die Bedienung des Lehrbetriebsbedienfelds 500 durch einen Benutzer eingegeben werden. Die Grenzbe-

dingung wird vom Benutzer auf der Grundlage der Tragfähigkeit, des Steifigkeitswerts und/oder dergleichen des Anbauteils festgelegt und über das Lehrbetriebsbedienfeld 500 eingegeben. Es wird beispielsweise angenommen, dass das Anbauteil eine an der Spitze des Roboters 100 angebrachte Roboterhand ist, die Tragfähigkeit der Roboterhand mit F [N] bezeichnet wird, die Masse eines von der Roboterhand transportierten Zielobjekts (Werkstück W) mit m [kg] bezeichnet wird und die Beschleunigung des Zielobjekts mit a [m/s²] bezeichnet wird. Wenn sowohl die Tragfähigkeit F als auch die Beschleunigung a positive Werte sind, muss $F > ma$ erfüllt sein, und die Grenzbedingung für die Beschleunigung ist daher $a < F/m$. Man beachte, dass die Tragfähigkeit F der Roboterhand als eine Tragfähigkeit angenommen wird, die sich nur auf eine wirkende Kraft bezieht, die vom Zielobjekt erzeugt wird, und nicht auf eine wirkende Kraft, die durch das Eigengewicht der Roboterhand erzeugt wird.

[0049] Außerdem erfasst die Erfassungseinheit 341 Informationen über das Anbauteil, die durch die Bedienung des Lehrbetriebsbedienfelds 500 durch den Benutzer eingegeben werden. Zu den Informationen über das Anbauteil gehören die Anbringungsposition des Anbauteils relativ zum Roboter 100, die Masse des Anbauteils und die Baryzentrumposition des Anbauteils. Beachten Sie, dass die Position des Anbauteils eine Position am Roboter 100 ist, an der das Anbauteil angebracht ist, und beispielsweise eine Position (Koordinaten) des Anbauteils relativ zu einer Achse, die dem Anbauteil auf der Seite des Sockels 102 am nächsten ist. Außerdem ist die Baryzentrumposition eine Koordinate, die von der Position des Anbauteils aus gesehen wird (Koordinaten mit der Position des Anbauteils als Ursprung).

[0050] Fig. 4 und Fig. 5 sind schematische Diagramme zur Veranschaulichung der Position des Anbauteils und des Schwerpunkts des Anbauteils 600 in Bezug auf den Roboter 100 und sind vereinfachte Diagramme zur Veranschaulichung der Achsen der einzelnen Gelenke und der Arme, die im Roboter 100 enthalten sind. Die sechs Achsen der im Roboter 100 enthaltenen Gelenke sind in der Reihenfolge einer ersten Achse a_1 , einer zweiten Achse a_2 , einer dritten Achse a_3 , einer vierten Achse a_4 , einer fünften Achse a_5 und einer sechsten Achse a_6 vom Sockel 102 in Richtung der Spitze des Roboters 100 in Fig. 5 und Fig. 6 dargestellt. Die erste Achse a_1 ist die Achse des Gelenks 112, die zweite Achse a_2 ist die Achse des Gelenks 114, die dritte Achse a_3 ist die Achse des Gelenks 116, die vierte Achse a_4 ist die Achse des Gelenks 118, die fünfte Achse a_5 ist die Achse des Gelenks 120 und die sechste Achse a_6 ist die Achse des Gelenks 119.

[0051] Das Anbauteil 600 ist an einem Verbindungselement angebracht, das drehbar oder linear beweg-

lich mit einem Gelenk des Roboters verbunden ist, wobei das Gelenk eine drehbare oder linear bewegliche Achse aufweist. Es ist zu beachten, dass „ein an einem Verbindungselement angebrachtes Anbauteil“ sowohl den Fall einschließt, dass das Anbauteil 600 direkt an dem Verbindungselement angebracht ist, als auch den Fall, dass das Anbauteil 600 über ein anderes Teil an dem Verbindungselement angebracht ist. Wenn es sich bei dem Anbauteil 600 beispielsweise um den oben erwähnten Drahtkörper handelt, ist das Anbauteil 600 über ein Klemmblech an einem Verbindungselement angebracht, und eine solche Ausführungsform fällt ebenfalls unter „ein Anbauteil, das an einem Verbindungselement angebracht ist.“ Im Beispiel des in Fig. 1 dargestellten Knickarmroboters ist das Anbauteil 600 an der Kopfseite des Roboters 100 relativ zur sechsten Achse a_6 angebracht, beispielsweise an der Werkzeugaufnahmefläche 122, oder es ist zwischen einer i -ten Achse und einer $(i+1)$ -ten Achse des Roboters 100 angebracht. Wenn das Anbauteil 600 an der Spitzenseite des Roboters 100 relativ zur sechsten Achse a_6 angebracht ist, ist das Anbauteil 600 an einem Verbindungselement angebracht, das an der Spitzenseite des Roboters 100 relativ zum Gelenk 119 der sechsten Achse a_6 angeschlossen ist (einschließlich an der Werkzeugmontagefläche 122). Wenn das Anbauteil 600 zwischen einer i -ten Achse und einer $(i+1)$ -ten Achse angebracht ist, ist das Anbauteil 600 an einem Verbindungselement angebracht, das mit den Gelenken verbunden ist, die die i -te Achse und die $(i+1)$ -te Achse einschließen (zum Beispiel am ersten Arm 106 oder am zweiten Arm 108). Man beachte, dass i eine natürliche Zahl ist und der maximale Wert von i ein Wert ist, den man erhält, indem man 1 von der Anzahl der Gelenke (Anzahl der Achsen) des Roboters 100 subtrahiert. Im Falle des sechssachsigen Roboters 100, wie in Fig. 1, Fig. 4 und Fig. 5 dargestellt, ist $i = 1, 2, 3, 4, 5$.

[0052] Fig. 4 zeigt ein Beispiel für das Anbauteil 600, das an der Werkzeugaufnahmefläche 122 angebracht ist, ähnlich wie in Fig. 1, und das Anbauteil 600 entspricht dem Werkzeug 200 in Fig. 1. Ferner zeigt Fig. 5 ein Beispiel für das Anbauteil 600, das zwischen der dritten Achse a_3 und der vierten Achse a_4 angebracht ist. Mit anderen Worten: Fig. 5 entspricht einem Fall von $i = 3$.

[0053] In einer Position P_1 in Fig. 4 ist das Anbauteil 600 an der Werkzeugaufnahmefläche 122 angebracht, die in einem Verbindungselement vorgesehen ist, das an der Kopfseite des Roboters 100 relativ zur sechsten Achse a_6 angeschlossen ist. P_2 in Fig. 4 zeigt die Baryzentrumposition des Anbauteils 600 an. Ferner ist das Anbauteil 600 an einer Position P_3 in Fig. 5 am zweiten Arm 108 des Roboters 100 angebracht, und P_4 zeigt die Baryzentrumposition des Anbauteils 600 an. Unter der Annahme, dass eine Anbauteil-Position eine Position ist, die

sich auf eine Achse bezieht, die der Seite des Sockels 102 am nächsten ist, ist die Anbauteil-Position P1 eine Position, die sich auf die sechste Achse a6 im Fall von Fig. 4 bezieht, und die Anbauteil-Position P3 ist eine Position, die sich auf die dritte Achse a3 im Fall von Fig. 5 bezieht. Ferner ist eine Baryzentrumposition eine Koordinate, die von einer Anbauteilposition aus betrachtet wird, und es kann beispielsweise ein gemäß der Spezifikation, der Form und/oder dergleichen des Anbauteils 600 vorgegebener Wert oder ein auf der Dichte, der Form und/oder dergleichen des Anbauteils 600 berechneter Wert verwendet werden.

[0054] Im Fall von Fig. 4 gibt ein Benutzer die Anbauteilposition P1 und die Baryzentrumposition P2 vom Lehrbetriebsbedienfeld 500 als Informationen über das Anbauteil 600 ein. Im Fall von Fig. 5 gibt ein Benutzer die Schwerpunktposition P3 und die Schwerpunktposition P4 des Anbauteils 600 über das Lehrbetriebsbedienfeld 500 ein. Die eingegebene Position des Anbauteils und die eingegebene Baryzentrumposition werden von der Erfassungseinheit 341 erfasst.

[0055] Die Berechnungseinheit 342 im Prozessor 340 berechnet mindestens eine der Geschwindigkeiten, die Beschleunigung und die wirkende Kraft des Anbauteils, die erzeugt werden, wenn der Roboter 100 in Betrieb ist. Unter der Annahme, dass das Anbauteil 600 zwischen einer i-ten Achse und einer (i+1)-ten Achse angebracht ist, wird eine Beziehung zwischen der Winkelgeschwindigkeit jeder der ersten Achsen zur i-ten Achse und der Schwerpunktsgeschwindigkeit und der Lagewinkelgeschwindigkeit des Anbauteils durch eine Jacobimatrix J dargestellt. Die Jacobimatrix J wird durch partielle Differenzierung einer Beziehung in Bezug auf die Vorwärtskinematik zwischen „dem Winkel jeder der ersten Achsen zur i-ten Achse (dem Winkel jeder Achse auf der Seite des Sockels 102 relativ zum Anbauteil), einer Positionsbeziehung zwischen den Achsen (Parameter, die aus der Spezifikation des Roboters 100, wie z.B. die Längen des ersten Arms 106 und des zweiten Arms 108), und die Position des Schwerpunkts des Anbauteils vom Zentrum der i-ten Achse aus gesehen“ und „die Position des Schwerpunkts des Anbauteils vom Ursprung des Roboterkoordinatensystems Σ b aus gesehen“, basierend auf Informationen, die von einem Benutzer eingegeben wurden. Es ist zu beachten, dass die zuvor im ROM im Speicher 303 gespeicherten Werte als die Parameter verwendet werden, die aus der Spezifikation des Roboters 100 bestimmt werden, wie z. B. die Längen des ersten Arms 106 und des zweiten Arms 108. Ferner wird die Schwerpunktposition des Anbauteils von der i-ten Achsenmitte aus gesehen aus der Position des Anbauteils am Roboter 100 und der Schwerpunktposition des Anbauteils, die von der Erfassungseinheit 341 erfasst werden, ermittelt.

[0056] Wenn die Position des Schwerpunkts und die Lage des Anbauteils, die vom Ursprung des Roboterkoordinatensystems Σ b aus betrachtet werden, mit r bezeichnet werden, die Winkel zwischen der ersten Achse und der i-ten Achse mit θ bezeichnet werden und die Jacobimatrix mit J bezeichnet wird, sind eine Mikroverschiebung des Schwerpunkts des Anbauteils und ein Mikrodrehwinkel der Lage des Anbauteils Funktionen eines Mikrodrehwinkels jeder Achse und werden durch die folgende bekannte Gleichung (1) dargestellt. Durch Zeitdifferenzierung beider Seiten von Gleichung (1) erhält man die folgende Gleichung (2) und damit eine Beziehung zwischen „der Winkelbeschleunigung jeder der ersten Achsen zur i-ten Achse“ und „der Schwerpunktsbeschleunigung und der Lagebeschleunigung des Anbauteils“. Beachten Sie, dass r ein Vektor mit sechs Komponenten ist, die eine Position und eine Lage relativ zu drei Achsen xyz des Roboterkoordinatensystems Σ b darstellen. r ist ein Vektor mit sechs Komponenten, nämlich der Position (x, y, z) und der Lage (ϕ_x, ϕ_y, ϕ_z) der Baryzentrumposition P4 relativ zum Roboterkoordinatensystem Σ b. Ferner ist θ ein Vektor mit den Winkeln ($\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_i$) der ersten Achse zur i-ten Achse als Komponenten. Die Position und die Lage der Baryzentrumposition P4 relativ zum Roboterkoordinatensystem Σ b (Vektor r) können in Form von Vorwärtskinematik aus den Winkeln ($\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_i$) der ersten Achse zur i-ten Achse und einer Positionsbeziehung zwischen den Achsen und der Baryzentrumposition P4 des Anbauteils vom i-ten Achsenzentrum aus gesehen definiert werden, und daher wird die Jacobimatrix durch partielle Differenzierung des Obigen gewonnen. Beachten Sie, dass $i = 3$ in dem Beispiel in Fig. 5.

[Math. 1]

$$\dot{r} = J\dot{\theta} \quad (1)$$

$$\ddot{r} = \dot{J}\dot{\theta} + J\ddot{\theta} \quad (2)$$

[0057] Wie oben beschrieben, ermöglicht die Verwendung der Jacobimatrix J die Berechnung der Geschwindigkeit, der Beschleunigung, der Lagewinkelgeschwindigkeit und der Lagewinkelbeschleunigung der Baryzentrumposition des Anbauteils aus der Winkelgeschwindigkeit und der Winkelbeschleunigung jeder der ersten Achsen zur i-ten Achse. Die Berechnungseinheit 342 berechnet die Geschwindigkeit, die Beschleunigung, die Lagewinkelgeschwindigkeit und die Lagewinkelbeschleunigung der Baryzentrumposition des Anbauteils aus der Winkelgeschwindigkeit und der Winkelbeschleunigung jeder der ersten Achsen zur i-ten Achse unter Verwendung der durch Gleichung (1) und Gleichung (2) dargestellten Beziehungen.

[0058] Zu diesem Zeitpunkt kann die Berechnungseinheit 342 aus dem Betriebsprogramm, in dem der Betrieb des Roboters 100 definiert ist, Informationen

über die Winkelgeschwindigkeit jeder der ersten Achsen bis zur i -ten Achse gewinnen und kann ferner Informationen über die Winkelbeschleunigung jeder der ersten Achsen bis zur i -ten Achse gewinnen. Zum Beispiel berechnet die Berechnungseinheit 342 die Winkelgeschwindigkeit und die Winkelbeschleunigung jeder der ersten Achse zur i -ten Achse aus den im Betriebsprogramm beschriebenen Winkelgeschwindigkeitsinformationen und Winkelbeschleunigungsinformationen der Spitze des Roboters 100 und kann auf der Grundlage des Berechnungsergebnisses die Geschwindigkeit, die Beschleunigung, die Lagewinkelgeschwindigkeit und die Lagewinkelbeschleunigung der Baryzentrumposition des Anbauteils berechnen. Alternativ kann die Berechnungseinheit 342 die Geschwindigkeit, die Beschleunigung, die Lagewinkelgeschwindigkeit und die Lagewinkelbeschleunigung der Baryzentrumposition des Anbauteils berechnen, wenn im Betriebsprogramm Informationen über die Winkelgeschwindigkeit und die Winkelbeschleunigung jeder der ersten Achse bis zur i -ten Achse beschrieben sind, und zwar auf der Grundlage der Informationen.

[0059] Ferner berechnet die Berechnungseinheit 342 eine wirkende Kraft, die im Anbauteil erzeugt wird, indem sie die berechnete Beschleunigung des Anbauteils mit der Masse des Anbauteils multipliziert.

[0060] Während die obige Beschreibung davon ausgeht, dass das Anbauteil 600 zwischen einer i -ten Achse und einer $(i+1)$ -ten Achse angebracht ist, berechnet die Berechnungseinheit 342 in ähnlicher Weise die Schwerpunktgeschwindigkeit, die Beschleunigung, die Lagewinkelgeschwindigkeit und die Lagewinkelbeschleunigung des Anbauteils 600 an der Schwerpunktposition des Anbauteils 600, wenn das Anbauteil 600 an der Kopfseite des Roboters 100 relativ zur sechsten Achse a_6 angebracht ist. Zum Beispiel werden im Beispiel in **Fig. 4** können die Position und die Lage der Baryzentrumposition P_2 (Vektor r) relativ zum Roboterkoordinatensystem Σ b in Form einer Vorwärtskinematik aus den Winkeln $(, \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_{i+1})$ der ersten Achse zur $(i+1)$ -ten Achse und einer Positionsbeziehung zwischen den Achsen und der Baryzentrumposition P_2 des Anbauteils vom $(i+1)$ -ten Achsenzentrum aus gesehen definiert werden, und daher wird die Jacobimatrix durch partielles Differenzieren der definierten Position und der definierten Lage gewonnen.

[0061] Wenn der Roboter 100 ein Deltaroboter (Parallelroboter) ist, kann die Berechnungseinheit 342 die Geschwindigkeit, die Beschleunigung, die Lagewinkelgeschwindigkeit und die Lagewinkelbeschleunigung der Baryzentrumposition eines Anbauteils aus Parametern (einer Winkelgeschwindigkeit und einer Winkelbeschleunigung) berechnen, die die Bewegung eines im Deltaroboter enthaltenen

Aktuators, die Anbauteilposition des Anbauteils relativ zu einem mit einem Gelenk des Deltaroboters verbundenen Verbindungselement und die Baryzentrumposition des Anbauteils darstellen, ähnlich wie beim Gelenkroboter. Man beachte, dass in diesem Fall ein Verbindungselement, das mit einem Gelenk verbunden ist, eine Verfahrplatte des Deltaroboters umfasst. Als Relation des Deltaroboters mit Vorwärtskinematik kann eine bekannte Relation sinnvoll verwendet werden. Im Falle eines sechssachsigen Parallelroboters können beispielsweise eine Jacobimatrix und eine Vorwärtskinematik verwendet werden, wie sie in der Literatur „Development of a 6-DOF High-Speed Parallel Robot HEXA“ von Masaru Uchiyama, et al. im Journal of the Robotics Society of Japan, Vol. 12, No. 3, pp. 451 to 458, 1994 beschrieben sind.

[0062] Die Vergleichseinheit 343 im Prozessor 340 vergleicht eine von der Berechnungseinheit 342 berechnete Geschwindigkeit, eine Beschleunigung oder eine wirkende Kraft des Anbauteils mit einer von der Erfassungseinheit 341 erfassten Geschwindigkeit, Beschleunigung oder wirkenden Kraft in einer Grenzbedingung. Neben dem Vergleich zur Bestimmung, ob die von der Berechnungseinheit 342 berechnete Geschwindigkeit, Beschleunigung oder wirkende Kraft des Anbauteils größer ist als die von der Erfassungseinheit 341 erfasste Geschwindigkeit, Beschleunigung oder wirkende Kraft in der Grenzbedingung die Vergleichseinheit 343 den von der Berechnungseinheit 342 berechneten Wert mit dem Wert der Grenzbedingung vergleicht, wie das Bestimmen eines Prozentsatzes der von der Berechnungseinheit 342 berechneten Geschwindigkeit, der Beschleunigung oder der wirkenden Kraft des Anbauteils in Bezug auf die von der Erfassungseinheit 341 erfasste Geschwindigkeit, die Beschleunigung oder die wirkende Kraft in der Grenzbedingung. Wenn das Betriebsprogramm wie später beschrieben modifiziert wird, vergleicht die Vergleichseinheit 343 die von der Berechnungseinheit 342 gemäß dem Programm nach der Modifikation berechnete Geschwindigkeit, Beschleunigung oder wirkende Kraft des Anbauteils mit der von der Erfassungseinheit 341 erfassten Geschwindigkeit, Beschleunigung bzw. wirkenden Kraft in der Grenzbedingung.

[0063] Die Bestimmungseinheit 344 im Prozessor 340 ermittelt anhand des Vergleichsergebnisses der Vergleichseinheit 343, ob die von der Berechnungseinheit 342 berechnete Geschwindigkeit, die Beschleunigung oder die wirkende Kraft des Anbauteils die von der Erfassungseinheit 341 erfasste Geschwindigkeit, die Beschleunigung oder die wirkende Kraft in der Grenzbedingung erfüllt. Die Bestimmungseinheit 344 stellt fest, dass die Grenzbedingung nicht erfüllt ist, wenn die von der Berechnungseinheit 342 berechnete Geschwindigkeit, die

Beschleunigung oder die wirkende Kraft des Anbauteils größer ist als die Geschwindigkeit, die Beschleunigung oder die wirkende Kraft in der von der Erfassungseinheit 341 erfassten Grenzbedingung. Ferner kann die Bestimmungseinheit 344 feststellen, dass die Grenzbedingung nicht erfüllt ist, wenn das Verhältnis der von der Berechnungseinheit 342 berechneten Geschwindigkeit, Beschleunigung oder wirkenden Kraft des Anbauteils zu der von der Erfassungseinheit 341 erfassten Geschwindigkeit, Beschleunigung oder wirkenden Kraft in der Grenzbedingung ein vorbestimmtes Verhältnis (z.B. 80%) überschreitet.

[0064] Wenn festgestellt wird, dass die von der Berechnungseinheit 342 berechnete Geschwindigkeit, Beschleunigung oder wirkende Kraft des Anbauteils die Grenzbedingung nicht erfüllt, bestimmt die Bestimmungseinheit 344 ferner eine Stelle im Betriebsprogramm, an der die Grenzbedingung nicht erfüllt ist. Beispielsweise bestimmt die Bestimmungseinheit 344 auf der Grundlage der Geschwindigkeit oder der Beschleunigung des Anbauteils, die aus einer Bewegung jeder Achse (einer Winkelgeschwindigkeit und einer Winkelbeschleunigung) erzeugt wird, wenn die Spitze des Roboters 100 mit einer im Betriebsprogramm beschriebenen Geschwindigkeit oder Beschleunigung betrieben wird, als eine Stelle, an der die Grenzbedingung nicht erfüllt ist, eine bestimmte Stelle (bestimmte Zeile) im Betriebsprogramm, an der der Betrieb eine Bewegung anfordert, die eine Geschwindigkeit, eine Beschleunigung oder eine wirkende Kraft erzeugt, die die Grenzbedingung für das Anbauteil überschreitet.

[0065] Wenn die Geschwindigkeit, die Beschleunigung oder die wirkende Kraft des Anbauteils, die von der Berechnungseinheit 342 berechnet wurde, nicht der Geschwindigkeit, der Beschleunigung oder der wirkenden Kraft in der Grenzbedingung entspricht, die von der Erfassungseinheit 341 erfasst wurde, führt die Programmmodifikationseinheit 345 im Prozessor 340 eine Verarbeitung zur Modifizierung des Betriebsprogramms des Roboters 100 durch.

[0066] Zwei mögliche Methoden zur Modifikation des Betriebsprogramms sind eine manuelle Modifikation durch einen Benutzer und eine automatische Modifikation durch den Prozessor 340. Daher umfasst die Verarbeitung zur Modifikation des Betriebsprogramms, die von der Programmmodifikationseinheit 345 durchgeführt wird, die Verarbeitung zur Erzeugung einer Modifikationsanweisung, um einen Benutzer anzuweisen, das Betriebsprogramm zu modifizieren, und die Verarbeitung zur automatischen Modifikation des Betriebsprogramms. Wenn ein Benutzer das Betriebsprogramm manuell modifiziert, erzeugt die Modifikationsanweisungserzeugungseinheit 345a in der Programmmodifikationseinheit 345 eine Modifikationsanweisung, um den Benutzer zu veranlassen, das Betriebsprogramm so zu modifizieren, dass die Geschwindigkeit, die Beschleunigung oder die wirkende Kraft des Anbauteils die Grenzbedingung erfüllt. Die Einheit zur automatischen Modifikation 345b in der Programmmodifikationseinheit 345 modifiziert das Betriebsprogramm automatisch so, dass die Geschwindigkeit, die Beschleunigung oder die wirkende Kraft des Anbauteils die Grenzbedingung erfüllt, ohne dass eine manuelle Modifikation durch den Benutzer erforderlich ist. Beachten Sie, dass der Benutzer angeben kann, ob das Betriebsprogramm manuell oder automatisch durch eine Betriebseingabe in das Lehrbetriebsbedienfeld 500 zu ändern ist.

[0067] Wenn die von der Berechnungseinheit 342 berechnete Geschwindigkeit, Beschleunigung oder wirkende Kraft des Anbauteils unter der Grenzbedingung liegt und gemäß dem Vergleichsergebnis der Vergleichseinheit 343 eine Marge gegenüber der Grenzbedingung aufweist, kann die Einheit zur automatischen Modifikation 345b das Betriebsprogramm so modifizieren, dass die Geschwindigkeit, die Beschleunigung oder die wirkende Kraft des Anbauteils innerhalb der Grenzbedingung erhöht wird. Dadurch wird der Betrieb des Roboters 100 innerhalb der Grenzbedingung weiter beschleunigt. Beachten Sie, dass ein Benutzer eine weitere Beschleunigung des Betriebs des Roboters 100 innerhalb der Grenzbedingung durch eine Betriebseingabe an das Lehrbetriebsbedienfeld 500 festlegen kann.

[0068] Wenn die von der Berechnungseinheit 342 berechnete Geschwindigkeit, Beschleunigung oder wirkende Kraft des Anbauteils kleiner als die Grenzbedingung ist und gemäß dem Vergleichsergebnis der Vergleichseinheit 343 eine Marge gegenüber der Grenzbedingung aufweist, kann die Modifikationsanweisungs-Erzeugungseinheit 345a eine Modifikationsanweisung erzeugen, um eine Modifikation des Betriebsprogramms in der Weise zu bewirken, dass die Geschwindigkeit, die Beschleunigung oder die wirkende Kraft des Anbauteils innerhalb der Grenzbedingung erhöht wird.

[0069] Ein Beispiel für eine automatische Modifikation des Betriebsprogramms auf der Grundlage einer Geschwindigkeit und einer Beschleunigung wird im Folgenden ausführlich beschrieben. Im folgenden Beispiel wird das Betriebsprogramm modifiziert, indem eine Geschwindigkeit oder eine Beschleunigung durch einen Absolutwert ausgewertet wird. Das Grundkonzept besteht darin, dass, wenn die Geschwindigkeit des Anbauteils (das Differential erster Ordnung des Vektors r), die auf der linken Seite der oben genannten Gleichung (1) angegeben ist, um $x\%$ erhöht oder verringert wird, basierend auf

Gleichung (1), die Winkelgeschwindigkeit jeder Achse (das Differential erster Ordnung des Winkels θ) auf der rechten Seite von Gleichung (1) um x% erhöht oder verringert wird. Dementsprechend wird die im Betriebsprogramm beschriebene Geschwindigkeit der Spitze des Roboters 100 so verändert, dass sie um x% erhöht oder verringert wird.

[0070] Wenn die Beschleunigung des Anbauteils (der Differenzwert zweiter Ordnung des Vektors r), die auf der linken Seite der oben genannten Gleichung (2) angegeben ist, um x % erhöht oder verringert wird, werden auf der Grundlage von Gleichung (2) sowohl die Winkelgeschwindigkeit jeder Achse (der Differenzwert erster Ordnung des Winkels θ) als auch die Winkelbeschleunigung jeder Achse (der Differenzwert zweiter Ordnung des Winkels θ) auf der rechten Seite von Gleichung (2) um x % erhöht oder verringert. Dementsprechend wird die im Betriebsprogramm beschriebene Beschleunigung der Spitze des Roboters 100 so verändert, dass sie um x% erhöht oder verringert wird. Es kann jedoch sein, dass die Geschwindigkeit des Baryzentrum des Anbauteils in diesem Fall nicht die Grenzbedingung erfüllt, und daher muss die Grenzbedingung der Geschwindigkeit berücksichtigt werden, wenn die Beschleunigung erhöht wird.

[0071] Zunächst wird ein Fall beschrieben, in dem das Betriebsprogramm auf der Grundlage der Grenzbedingung für die Geschwindigkeit geändert wird. Ein von der Erfassungseinheit 341 erfasster Schwellenwert der Grenzbedingung für die Geschwindigkeit des Anbauteils wird mit v_{lim} bezeichnet, und die von der Berechnungseinheit 342 berechnete Geschwindigkeit des Anbauteils wird mit v_{act} bezeichnet. Die Bestimmungseinheit 344 stellt fest, dass die Grenzbedingung erfüllt ist, wenn $v_{act} - v_{lim} \leq 0$ und dass die Grenzbedingung nicht erfüllt ist, wenn $v_{act} - v_{lim} > 0$. Wenn die Grenzbedingung nicht erfüllt ist, verringert die Einheit zur automatischen Modifikation 345b die Winkelgeschwindigkeit jeder Achse um $[(v_{act} - v_{lim})/v_{act}] * 100$ [%].

[0072] Wenn die Grenzbedingung für die Geschwindigkeit erfüllt ist, kann die Einheit zur automatischen Modifikation 345b den Betrieb des Roboters 100 durch Erhöhung der Geschwindigkeit beschleunigen. In diesem Fall erhöht die Einheit zur automatischen Modifikation 345b die Winkelgeschwindigkeit jeder Achse um $|(v_{lim} - v_{act})/v_{act}| * 100$ [%].

[0073] Als nächstes wird ein Fall beschrieben, in dem das Betriebsprogramm auf der Grundlage der Grenzbedingung für die Beschleunigung modifiziert wird. Ein Schwellenwert der Grenzbedingung der Beschleunigung des Anbauteils, der von der Erfassungseinheit 341 erfasst wird, wird mit a_{lim} bezeichnet, und die Beschleunigung des Anbauteils, die von der Berechnungseinheit 342 berechnet wird, wird mit a_{act}

bezeichnet. Die Bestimmungseinheit 344 bestimmt, dass die Grenzbedingung erfüllt ist, wenn $a_{act} - a_{lim} \leq 0$ und dass die Grenzbedingung nicht erfüllt ist, wenn $a_{act} - a_{lim} > 0$. Wenn die Grenzbedingung nicht erfüllt ist, verringert die Einheit zur automatischen Modifikation 345b die Winkelgeschwindigkeit jeder Achse und die Winkelbeschleunigung jeder Achse um $[(a_{act} - a_{lim})/a_{act}] * 100$ [%].

[0074] Wenn die Grenzbedingung für die Beschleunigung erfüllt ist, kann die Einheit zur automatischen Modifikation 345b den Betrieb des Roboters 100 durch Erhöhung der Geschwindigkeit und der Beschleunigung beschleunigen. Da in diesem Fall die Beschleunigung einen kleineren Spielraum gegenüber der Grenzbedingung hat als die Geschwindigkeit, wenn $(v_{lim} - v_{act})/v_{act} \geq (a_{lim} - a_{act})/a_{act}$, erhöht die Einheit zur automatischen Modifikation 345b die Winkelgeschwindigkeit jeder Achse und die Winkelbeschleunigung jeder Achse um $[(a_{lim} - a_{act})/a_{act}] * 100$ [%], basierend auf der Beschleunigung.

[0075] Da die Geschwindigkeit einen kleineren Spielraum gegenüber der Grenzbedingung hat als die Beschleunigung, wenn $|(v_{lim} - v_{act})/v_{act}| < (a_{lim} - a_{act})/a_{act}$, erhöht die Einheit zur automatischen Modifikation 345b die Winkelgeschwindigkeit jeder Achse und die Winkelbeschleunigung jeder Achse um $|(v_{lim} - v_{act})/v_{act}| * 100$ [%], basierend auf der Geschwindigkeit. Wenn die Grenzbedingung für die Geschwindigkeit nicht gegeben ist, erhöht die Einheit zur automatischen Modifikation 345b die Winkelgeschwindigkeit jeder Achse und die Winkelbeschleunigung jeder Achse um $[(a_{lim} - a_{act})/a_{act}] * 100$ [%]. Außerdem kann es sein, dass die Geschwindigkeit des Anbauteils die oben beschriebene Grenzbedingung nicht erfüllt, weshalb die Grenzbedingung für die Geschwindigkeit berücksichtigt wird, wenn die Beschleunigung erhöht wird.

[0076] Wenn der Benutzer das Betriebsprogramm manuell ändert, erzeugt die Modifikationsanweisungserzeugungseinheit 351a eine Modifikationsanweisung, die ein Verhältnis (%) enthält, um das die oben genannte Geschwindigkeit oder die oben genannte Beschleunigung verringert oder erhöht werden soll.

[0077] Die Anzeigeverarbeitungseinheit 346 im Prozessor 340 führt eine Verarbeitung durch, um die Anzeigevorrichtung 400 zu veranlassen, einen Inhalt anzuzeigen, der sich auf die Änderung des Betriebsprogramms bezieht. Zum Beispiel führt die Anzeigeverarbeitungseinheit 346 eine Verarbeitung durch, um das Betriebsprogramm des Roboters 100, das im Speicher 330 gespeichert ist, auf der Anzeigevorrichtung 400 anzuzeigen. Ferner führt die Anzeigeverarbeitungseinheit 346 eine Verarbeitung durch, um eine Stelle (Zeile) im Betriebsprogramm, für die

von der Bestimmungseinheit 344 festgestellt wurde, dass sie die Grenzbedingung nicht erfüllt, auf der Anzeigevorrichtung 400 anzuzeigen. Außerdem führt die Anzeigeverarbeitungseinheit 346 eine Verarbeitung zur Anzeige einer Modifikationsanweisung, die von der Modifikationsanweisungserzeugungseinheit 345a erzeugt wurde, auf der Anzeigevorrichtung 400 durch. Für die oben beschriebenen Anzeigen führt die Anzeigeverarbeitungseinheit 346 eine Verarbeitung durch, um zu bewirken, dass Pixel eines zugehörigen Teils Licht und dergleichen auf einem Anzeigebildschirm der Anzeigevorrichtung 400 emittieren.

[0078] Fig. 6 ist eine schematische Darstellung eines Anzeigehalts, der auf einem Anzeigebildschirm 402 der Anzeigevorrichtung 400 angezeigt wird und mit der Änderung des Betriebsprogramms zusammenhängt. Wie in Fig. 6 dargestellt, wird ein Betriebsprogramm 404 auf dem Anzeigebildschirm 402 angezeigt. In der ersten Zeile des Betriebsprogramms 404 sind die Position der Spitze des Roboters 100 (die Position einer der Spitze am nächsten liegenden Achse) P[1], die Geschwindigkeit A [mm/s] und die Beschleunigung (Acc) E [mm/s²] angegeben. In ähnlicher Weise werden die Position der Spitze des Roboters 100, die Geschwindigkeit und die Beschleunigung auch in der zweiten bis vierten Zeile des Betriebsprogramms 404 angegeben. Der Betrieb des Roboters 100 geht von der ersten Zeile an sequentiell vor sich. Wenn beispielsweise die Spitze des Roboters 100 gemäß dem Betriebsprogramm 404 bei P[2] positioniert ist, bewegt sich die Spitze des Roboters 100 mit einer Geschwindigkeit B und einer Beschleunigung F. Es ist zu beachten, dass, während die Geschwindigkeit und die Beschleunigung der Verschiebung des Roboters 100 im Betriebsprogramm 404 in Fig. 6 angegeben sind, die Winkelgeschwindigkeit und die Winkelbeschleunigung der Haltung auf ähnliche Weise angezeigt werden können. Ferner können die Geschwindigkeit und die Beschleunigung jeder Achse im Betriebsprogramm 404 angegeben werden.

[0079] Wenn eine vom Benutzer angegebene Grenzbedingung in einem Fall, in dem der Betrieb gemäß einer in jeder Zeile des Betriebsprogramms 404 des Roboters 100 beschriebenen Bedingung durchgeführt wird, nicht erfüllt ist, wird eine Zeile hervorgehoben, in der ein Zielpunkt nach der Bewegung beschrieben ist. Fig. 6 zeigt den Fall, dass die von der Berechnungseinheit 342 berechnete Beschleunigung eine Grenzbedingung nicht erfüllt, wenn sich die Spitze des Roboters 100 von der Position P[2] zu einer Position P[3] bewegt, und die dritte Zeile des Betriebsprogramms 404 ist in diesem Fall hervorgehoben. Beachten Sie, dass, wie oben beschrieben, eine Zeile des Betriebsprogramms 404, in der eine Grenzbedingung nicht erfüllt ist, von der Bestimmungseinheit 344 bestimmt wird. Dann wird die Ver-

arbeitung zur Hervorhebung durch die Anzeigeverarbeitungseinheit 346 durchgeführt. Beachten Sie, dass die Hervorhebung in einer Farbe erfolgt, die sich von der Farbe des Hintergrunds oder eines Zeichens auf dem Anzeigebildschirm 402 unterscheidet. So kann der Benutzer eine Zeile des Betriebsprogramms 404, in der eine Grenzbedingung nicht erfüllt ist, auf dem Anzeigebildschirm 402 visuell erkennen.

[0080] Außerdem erscheint über der Anzeigeposition des Betriebsprogramms 404 eine Meldung 406 mit einer Modifikationsanweisung „Dritte Reihe erfüllt nicht die Grenzbedingung für die Beschleunigung. Muss um XX% reduziert werden.“ wird oberhalb der Anzeigeposition des Betriebsprogramms 404 angezeigt. Die Meldung 406 der Modifikationsanweisung wird von der Modifikationsanweisungserzeugungseinheit 345a erzeugt. Auf diese Weise kann dem Benutzer eine Bedingung, die im Betriebsprogramm 404 nicht erfüllt ist, und die Art und Weise, wie das Betriebsprogramm 404 geändert werden kann, angezeigt werden, was den Benutzer dazu veranlassen kann, das Betriebsprogramm 404 zu ändern. Während der Fall, dass die Beschleunigung im Betriebsprogramm eine Grenzbedingung nicht erfüllt, in Fig. 6 beschrieben ist, wird eine ähnliche Meldung 406 angezeigt, wenn die Geschwindigkeit im Betriebsprogramm 404 eine Grenzbedingung nicht erfüllt.

[0081] Des Weiteren werden unter dem Betriebsprogramm 404 eine Taste für automatische Modifikation 408 durch einen Benutzer und eine Beschleunigungstaste 410 für die Beschleunigung des Roboters 100 durch den Benutzer angezeigt, wenn eine Grenzbedingung erfüllt ist. Der Benutzer kann die automatische Modifikation auswählen, indem er einen Cursor auf dem Anzeigebildschirm 402 über die Taste für automatische Modifikation 408 bewegt, indem er das Lehrbetriebsbedienfeld 500 bedient und die Taste für automatische Modifikation 408 drückt (anklickt). Wenn die automatische Modifikation ausgewählt wird, wird eine automatische Modifikation des Betriebsprogramms 404 durch die Einheit zur automatischen Modifikation 345b durchgeführt, und die hervorgehobene Zeile (dritte Zeile) des Betriebsprogramms 404 wird automatisch so umgeschrieben, dass die Grenzbedingung erfüllt wird.

[0082] In ähnlicher Weise kann der Benutzer, wenn eine Grenzbedingung erfüllt ist, die Beschleunigung des Betriebs des Roboters 100 bei gleichzeitiger Erfüllung der Grenzbedingung auswählen, indem er den Cursor auf dem Anzeigebildschirm 402 über die Beschleunigungstaste 410 bewegt, indem er das Lehrbetriebsbedienfeld 500 bedient und die Beschleunigungstaste 410 drückt.

[0083] Während in Fig. 6 eine Meldung 406 für den Fall, dass eine Grenzbedingung nicht erfüllt ist, dar-

gestellt ist, kann eine Meldung 406, die zu einer Beschleunigung auffordert, angezeigt werden, wenn die Grenzbedingung erfüllt ist. In diesem Fall wird z. B. eine Meldung 406 wie „Beschleunigungsgrenzbedingung ist erfüllt, und Beschleunigung kann um XX % erhöht werden“ angezeigt. Der Benutzer kann den Betrieb des Roboters 100 beschleunigen, indem er auf die Beschleunigungstaste 410 klickt oder das Betriebsprogramm 404 gemäß der Meldung 406, die zur Beschleunigung auffordert, modifiziert.

[0084] Die Robotersteuerungseinheit 347 im Prozessor 340 steuert den Betrieb des Roboters 100, indem sie den Servomotor in jedem Gelenk gemäß dem Betriebsprogramm steuert. Wenn das Betriebsprogramm geändert wird, steuert die Robotersteuerungseinheit 347 den Betrieb des Roboters 100 gemäß dem Betriebsprogramm nach der Änderung.

[0085] Nachfolgend wird die Verarbeitung in einem Verfahren zur Roboterbetriebssimulation gemäß der vorliegenden Ausführungsform anhand eines Flussdiagramms in **Fig. 7** beschrieben. Die in **Fig. 7** dargestellte Verarbeitung wird in einem vorbestimmten Steuerungszyklus durch den Prozessor 340 in der Steuerungsvorrichtung 300 durchgeführt. Als Voraussetzung für die Durchführung einer Roboterbetriebssimulation erstellt ein Benutzer ein Betriebsprogramm und speichert das Programm im Speicher 330.

[0086] Zunächst erfasst die Erfassungseinheit 341 im Prozessor 340 eine mit dem Anbauteil zusammenhängende Grenzbedingung und Informationen über das Anbauteil (z. B. die Masse, die Position des Anbauteils und die Position des Schwerpunkts des Anbauteils) (Schritt S10). Beim Erfassen der mit dem Anbauteil zusammenhängenden Grenzbedingung und der Informationen über das Anbauteil startet der Prozessor 340 eine Betriebssimulation des Roboters 100 (Schritt S12).

[0087] Als nächstes berechnet die Berechnungseinheit 342 im Prozessor 340 die Geschwindigkeit, die Beschleunigung und die wirkende Kraft des Anbauteils aus den Informationen (der Geschwindigkeit und der Beschleunigung) jeder Achse des Roboters 100 unter Verwendung einer Jacobimatrix (Schritt S14). Anschließend vergleicht die Vergleichseinheit 343 die Grenzbedingung mit der Geschwindigkeit, der Beschleunigung oder der wirkenden Kraft des Anbauteils, die in Schritt S14 berechnet wurden, und die Bestimmungseinheit 344 stellt fest, ob die Grenzbedingung erfüllt ist (Schritt S16).

[0088] Wenn in Schritt S16 festgestellt wird, dass die Grenzbedingung nicht erfüllt ist, erzeugt die Modifikationsanweisungserzeugungseinheit 345a eine Modifikationsanweisung, um den Benutzer zu veranlassen, das Betriebsprogramm zu modifizieren,

und die Anzeigeverarbeitungseinheit 346 zeigt die Modifikationsanweisung zusammen mit einer falschen Stelle im Betriebsprogramm auf dem Anzeigebildschirm der Anzeigevorrichtung 400 an (Schritt S18).

[0089] Als nächstes wird festgestellt, ob die Taste für automatische Modifikation 408 gedrückt ist (Schritt S20), und wenn die Taste für automatische Modifikation 408 gedrückt ist, ändert die Einheit zur automatischen Modifikation 345b automatisch das Betriebsprogramm (Schritt S22). Die Verarbeitung in diesem Kontrollzyklus endet nach Schritt S22.

[0090] Wenn die Taste für automatische Modifikation 408 in Schritt S20 nicht gedrückt wird, modifiziert der Benutzer das Betriebsprogramm manuell, und daher wird ein Modifikationsinhalt des Betriebsprogramms, der vom Benutzer über das Lehrbetriebsbedienfeld 500 eingegeben wird, erfasst (Schritt S28), und die Verarbeitung kehrt zur Betriebssimulationsverarbeitung in und nach Schritt S12 zurück.

[0091] Wenn in Schritt S16 festgestellt wird, dass die Grenzbedingung erfüllt ist, wird bestimmt, ob die Beschleunigungstaste 410 gedrückt wird (Schritt S24), und wenn die Beschleunigungstaste 410 gedrückt wird, modifiziert die Einheit zur automatischen Modifikation 345b das Betriebsprogramm automatisch so, dass der Betrieb des Roboters 100 beschleunigt wird (Schritt S26). Die Verarbeitung in diesem Kontrollzyklus endet nach Schritt S26. Wenn die Beschleunigungstaste 410 in Schritt S24 nicht gedrückt wird, endet die Verarbeitung in diesem Steuerungszyklus. Beachten Sie, dass der Benutzer in Schritt S26 das Betriebsprogramm gemäß der Modifikationsanweisung, die von der Modifikationsanweisungserzeugungseinheit 345a erzeugt wurde, manuell modifizieren kann, anstatt dass die Einheit zur automatischen Modifikation 345b das Betriebsprogramm automatisch modifiziert.

[0092] Man beachte, dass das Robotersystem 1000 eine Vielzahl von Robotern 100 und eine Vielzahl von Steuerungsvorrichtungen 300 umfassen kann, die jeweils mit der Vielzahl von Robotern 100 verbunden sind. Jede der mehreren Steuerungsvorrichtungen 300 berechnet mindestens eine Geschwindigkeit, eine Beschleunigung und eine wirkende Kraft, die in einem Anbauteil an einem zugehörigen Roboter 100 erzeugt wird, und vergleicht das berechnete Ergebnis mit einer Grenzbedingung. Die mehreren Steuerungsvorrichtungen 300 können über ein Netzwerk miteinander verbunden sein und können ferner über das Netzwerk mit einer übergeordneten Vorrichtung verbunden sein, die die Vergleichsergebnisse der mehreren Steuerungsvorrichtungen 300 empfängt. Die übergeordnete Vorrichtung kann auf der Grundlage der empfangenen Vergleichsergebnisse der einzelnen Steuerungsvorrichtungen 300 eine Fehlervor-

hersage durchführen. Selbst wenn die Geschwindigkeit, die Beschleunigung oder die wirkende Kraft eines Anbauteils in einem einzelnen Roboter 100 eine Grenzbedingung erfüllt, kann die Vorrichtung auf der Oberseite die Möglichkeit des Auftretens eines Fehlers in dem Anbauteil des Roboters 100 erkennen, indem sie Informationen wie beispielsweise einen Betrag der Spanne der Geschwindigkeit, der Beschleunigung oder der wirkenden Kraft des Anbauteils in dem Roboter 100 gegenüber der Grenzbedingung erfasst und somit eine Fehlervorhersage des Roboters 100 durchführen kann.	100 102 104 106 108 110 112, 114, 116, 118, 119, 120 122	Roboter Sockel Drehtisch erster Arm zweiter Arm Handgelenk Gelenk Werkzeugaufnah- mefläche
[0093] Gemäß der vorliegenden Ausführungsform wird durch eine Simulation ermittelt, ob die Geschwindigkeit, die Beschleunigung oder die wirkende Kraft eines Anbauteils eine Grenzbedingung erfüllt, ohne dass der Roboter 100 tatsächlich in Betrieb ist, und wenn die Grenzbedingung nicht erfüllt ist, wird das Betriebsprogramm, wie oben beschrieben, geändert. Dementsprechend wird eine unerwartete Beschädigung des Anbauteils, wenn der Roboter 100 tatsächlich in Betrieb ist, dadurch unterdrückt, dass das Betriebsprogramm zuvor so geändert wird, dass die Grenzbedingung erfüllt ist. Da ein Benutzer eine Grenzbedingung für ein Anbauteil und Informationen über das Anbauteil, wie z. B. die Masse, die Position des Anbauteils und die Position des Schwerpunkts des Anbauteils, festlegt, kann ein Betriebsprogramm so erstellt und modifiziert werden, dass es für verschiedene Anbauteile, die am Roboter 100 angebracht sind, geeignet ist, und daher muss ein Anbauteil nicht gemäß einer Einschränkung für den Betrieb des Roboters 100 ausgewählt werden, wenn es ausgewählt wird. Ein Betriebsprogramm, das die Grenzbedingungen für verschiedene Anbauteile erfüllt, kann also leicht erstellt werden.	130 200 300 302 310 320 330 340 341 342 343 344 345	Servomotor Werkzeuge Steuerungsvorrichtung Kommunikationsleitung Kommunikationsschnittstelle Antriebsschaltung Speicher Prozessor Erfassungseinheit Berechnungseinheit Vergleichseinheit Bestimmungseinheit Programmmodifikationseinheit
[0094] Jedes Beispiel und jede spezifische Terminologie, die hier angeführt werden, sind für lehrreiche Zwecke gedacht, um dem Leser das Verständnis der vorliegenden Erfindung und des Konzepts, das der Erfinder zur Weiterentwicklung des Standes der Technik beigetragen hat, zu erleichtern, und sind so zu verstehen, dass sie keine Einschränkung der Konfiguration eines beliebigen Beispiels hierin und solcher spezifisch angeführter Beispiele und Bedingungen darstellen, was die Angabe von Überlegenheit und Unterlegenheit der vorliegenden Erfindung betrifft. Während die Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung im Detail beschrieben worden sind, sollte es verstanden werden, dass verschiedene Änderungen, Substitutionen und Modifikationen vorgenommen werden können, ohne von dem Geist und Umfang der vorliegenden Erfindung abzuweichen.	345a 345b 346 347 400 402 404 406 408	Modifikationsanweisungserzeugungseinheit Einheit zur automatischen Modifikation Anzeigeverarbeitungseinheit Robotersteuerungseinheit Anzeigevorrichtung Anzeigebildschirm Betriebsprogramm Meldung Taste für automatische Modifikation
BEZUGSZEICHENLISTE	410	Beschleunigungstaste

500	Lehrbetriebsbedien- feld
600	Anbauteil
1000	Robotersystem

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 2018062026 A [0003]

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Roboterbetriebssimulation umfassend:

eine Erfassungseinheit, die eine Position eines Anbauteils erfasst, das an einem Verbindungselement angebracht ist, das mit einem Gelenk eines Roboters relativ zu dem Roboter verbunden ist, wobei das Gelenk eine drehbare oder linear bewegliche Achse enthält, und die eine Grenzbedingung für eine Geschwindigkeit, eine Beschleunigung und/oder eine wirkende Kraft erfasst, die in dem Anbauteil erzeugt wird, wenn der Roboter in Betrieb ist;

eine Berechnungseinheit, die eine Geschwindigkeit, eine Beschleunigung und/oder eine wirkende Kraft, von der erwartet wird, dass sie in dem Anbauteil erzeugt wird, gemäß einer Position des Anbauteils relativ zu dem Roboter berechnet, wenn der Roboter einen Betrieb ausführt; und

eine Vergleichseinheit, die eine Geschwindigkeit, eine Beschleunigung und/oder eine wirkende Kraft, die von der Berechnungseinheit berechnet wurde, mit der Grenzbedingung vergleicht.

2. Vorrichtung zur Roboterbetriebssimulation nach Anspruch 1, ferner umfassend eine Bestimmungseinheit, die auf der Grundlage eines Vergleichsergebnisses der Vergleichseinheit bestimmt, ob eine Geschwindigkeit, eine Beschleunigung und/oder eine wirkende Kraft, die von der Berechnungseinheit berechnet wurde, die Grenzbedingung erfüllt.

3. Vorrichtung zur Roboterbetriebssimulation nach Anspruch 2, wobei

die Bestimmungseinheit ferner einen Ort bestimmt, an dem die Grenzbedingung in einem Betriebsprogramm, das den Betrieb des Roboters beschreibt, nicht erfüllt ist, wenn sie feststellt, dass eine Geschwindigkeit, eine Beschleunigung und/oder eine wirkende Kraft, die von der Berechnungseinheit berechnet wurde, die Grenzbedingung nicht erfüllt, und

die Vorrichtung zur Roboterbetriebssimulation ferner eine Anzeigeverarbeitungseinheit umfasst, die eine Verarbeitung durchführt, um auf einer Anzeigevorrichtung eine Stelle anzuzeigen, an der die Grenzbedingung in dem Betriebsprogramm nicht erfüllt ist.

4. Vorrichtung zur Roboterbetriebssimulation nach Anspruch 3, die ferner eine Modifikationsanweisungserzeugungseinheit umfasst, die eine Modifikationsanweisung erzeugt, um zu bewirken, dass das Betriebsprogramm in einer solchen Weise modifiziert wird, dass eine Geschwindigkeit, eine Beschleunigung und/oder eine wirkende Kraft, die von der Berechnungseinheit berechnet wird, die Grenzbedingung erfüllt, wenn eine Geschwindigkeit, eine Beschleunigung und/oder eine wirkende Kraft,

die von der Berechnungseinheit berechnet wird, die Grenzbedingung nicht erfüllt, wobei die Anzeigeverarbeitungseinheit eine Verarbeitung zum Anzeigen der Modifikationsanweisung auf der Anzeigevorrichtung durchführt.

5. Vorrichtung zur Roboterbetriebssimulation nach Anspruch 4, wobei die Modifikationsanweisungserzeugungseinheit eine Modifikationsanweisung erzeugt, um zu bewirken, dass das Betriebsprogramm so modifiziert wird, dass eine Geschwindigkeit oder eine Beschleunigung, die mit der Grenzbedingung zusammenhängt, innerhalb der Grenzbedingung erhöht wird, wenn eine Geschwindigkeit oder eine Beschleunigung, die von der Berechnungseinheit berechnet wird, die Grenzbedingung erfüllt.

6. Vorrichtung zur Roboterbetriebssimulation nach Anspruch 4, wobei

die Berechnungseinheit mindestens eine Geschwindigkeit, eine Beschleunigung und eine wirkende Kraft berechnet, von der erwartet wird, dass sie in dem Anbauteil erzeugt wird, wenn der Roboter den Betrieb gemäß dem Betriebsprogramm nach der Modifikation, die gemäß der Modifikationsanweisung modifiziert wurde, ausführt, und die Vergleichseinheit eine Geschwindigkeit, eine Beschleunigung und/oder eine wirkende Kraft, die in Übereinstimmung mit dem Betriebsprogramm nach der Modifikation durch die Berechnungseinheit berechnet wurde, mit der Grenzbedingung vergleicht.

7. Vorrichtung zur Roboterbetriebssimulation nach Anspruch 3, die ferner eine Modifikationseinheit umfasst, die das Betriebsprogramm so modifiziert, dass eine Geschwindigkeit, eine Beschleunigung und/oder eine wirkende Kraft, die von der Berechnungseinheit berechnet wurde, die Grenzbedingung erfüllt, wenn eine Geschwindigkeit, eine Beschleunigung und/oder eine wirkende Kraft, die von der Berechnungseinheit berechnet wurde, die Grenzbedingung nicht erfüllt.

8. Vorrichtung zur Roboterbetriebssimulation nach Anspruch 7, wobei die Modifikationseinheit das Betriebsprogramm so modifiziert, dass eine Geschwindigkeit oder eine Beschleunigung, die mit der Grenzbedingung zusammenhängt, innerhalb der Grenzbedingung erhöht wird, wenn eine Geschwindigkeit oder eine Beschleunigung, die von der Berechnungseinheit berechnet wurde, die Grenzbedingung erfüllt.

9. Vorrichtung zur Roboterbetriebssimulation nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei der Roboter ein Gelenkroboter ist, der eine Vielzahl von Gelenken aufweist, von denen jedes die Achse enthält, und das Anbauteil an dem Verbindungselement

angebracht ist, das mit jedem der benachbarten Gelenke oder dem Verbindungselement, das einer Spitze des Roboters am nächsten ist, verbunden ist.

10. Robotersteuerungsvorrichtung, umfassend: die Vorrichtung zur Roboterbetriebssimulation nach einem der Ansprüche 1 bis 9; und eine Robotersteuerungseinheit, die den Betrieb des Roboters steuert.

11. Verfahren zur Roboterbetriebssimulation, umfassend:
einen Schritt des Erfassens einer Position eines Anbauteils, das an einem Verbindungselement angebracht ist, das mit einem Gelenk eines Roboters relativ zu dem Roboter verbunden ist, wobei das Gelenk eine drehbare oder linear bewegliche Achse aufweist, und einer Grenzbedingung für eine Geschwindigkeit, eine Beschleunigung und/oder eine wirkende Kraft, die in dem Anbauteil erzeugt wird, wenn der Roboter in Betrieb ist;
einen Schritt des Berechnens von einer Geschwindigkeit, einer Beschleunigung und/oder einer wirkenden Kraft, von der erwartet wird, dass sie in dem Anbauteil erzeugt wird, gemäß einer Position des Anbauteils relativ zu dem Roboter, wenn der Roboter in Betrieb ist; und
einen Schritt des Vergleichens mindestens einer berechneten Geschwindigkeit, einer berechneten Beschleunigung und einer berechneten wirkenden Kraft mit der Grenzbedingung.

Es folgen 5 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG. 1

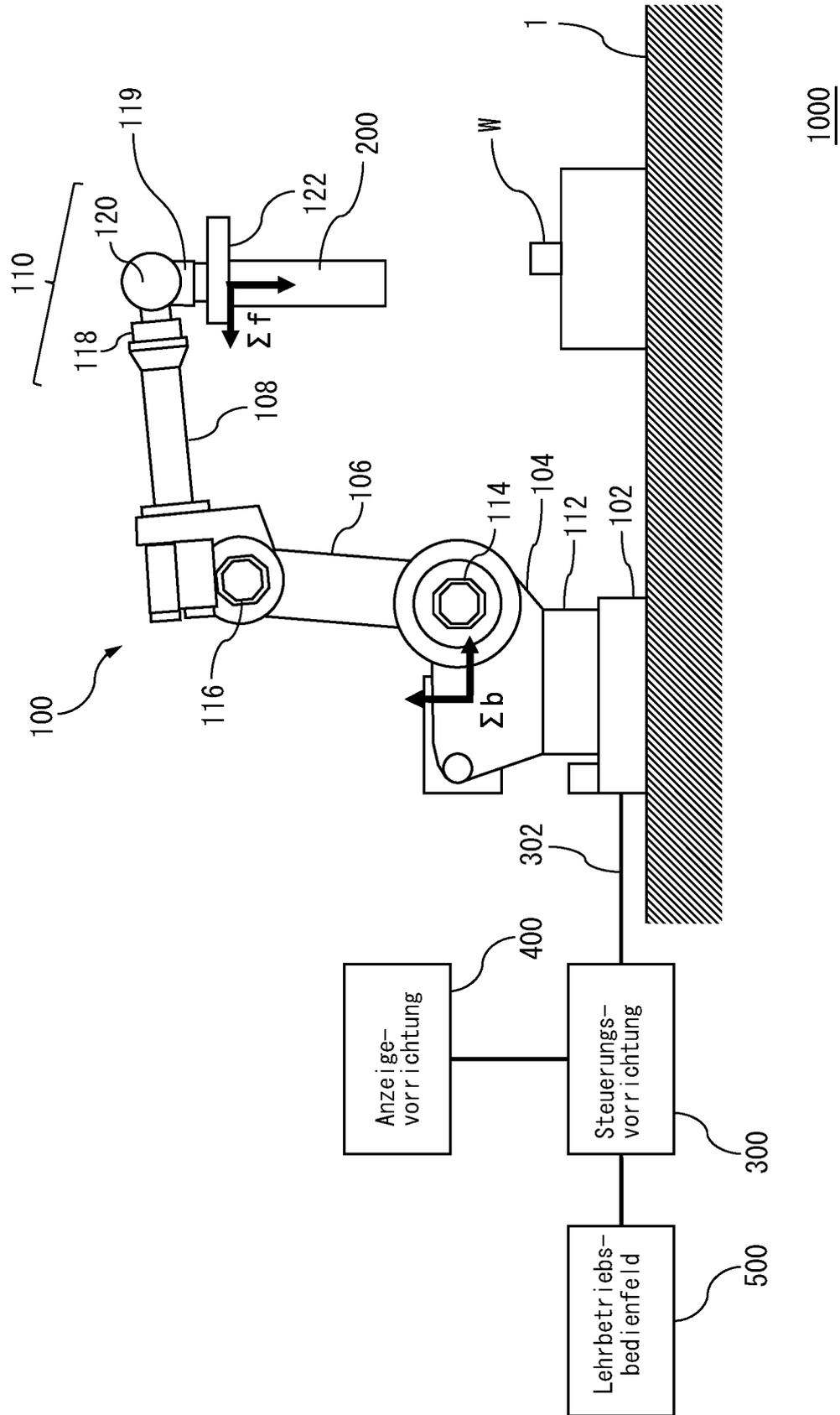


FIG. 2

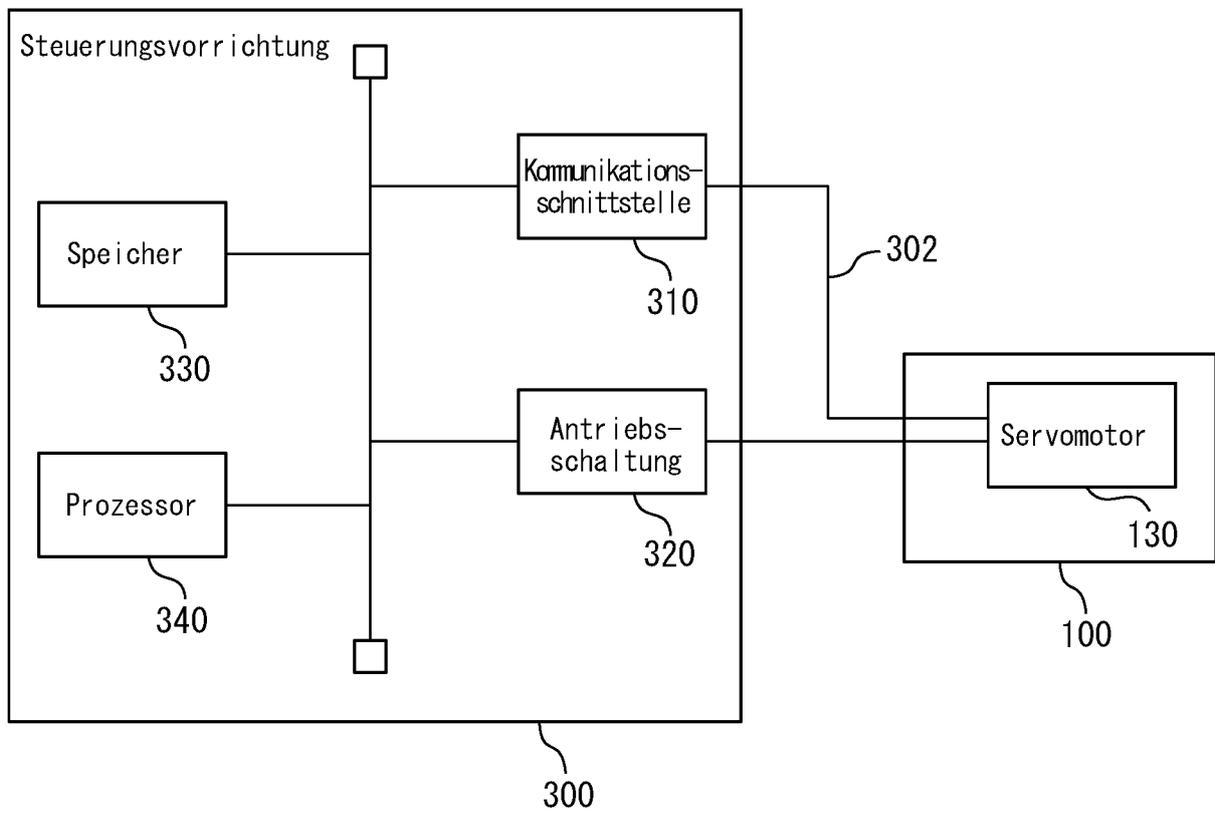


FIG. 3

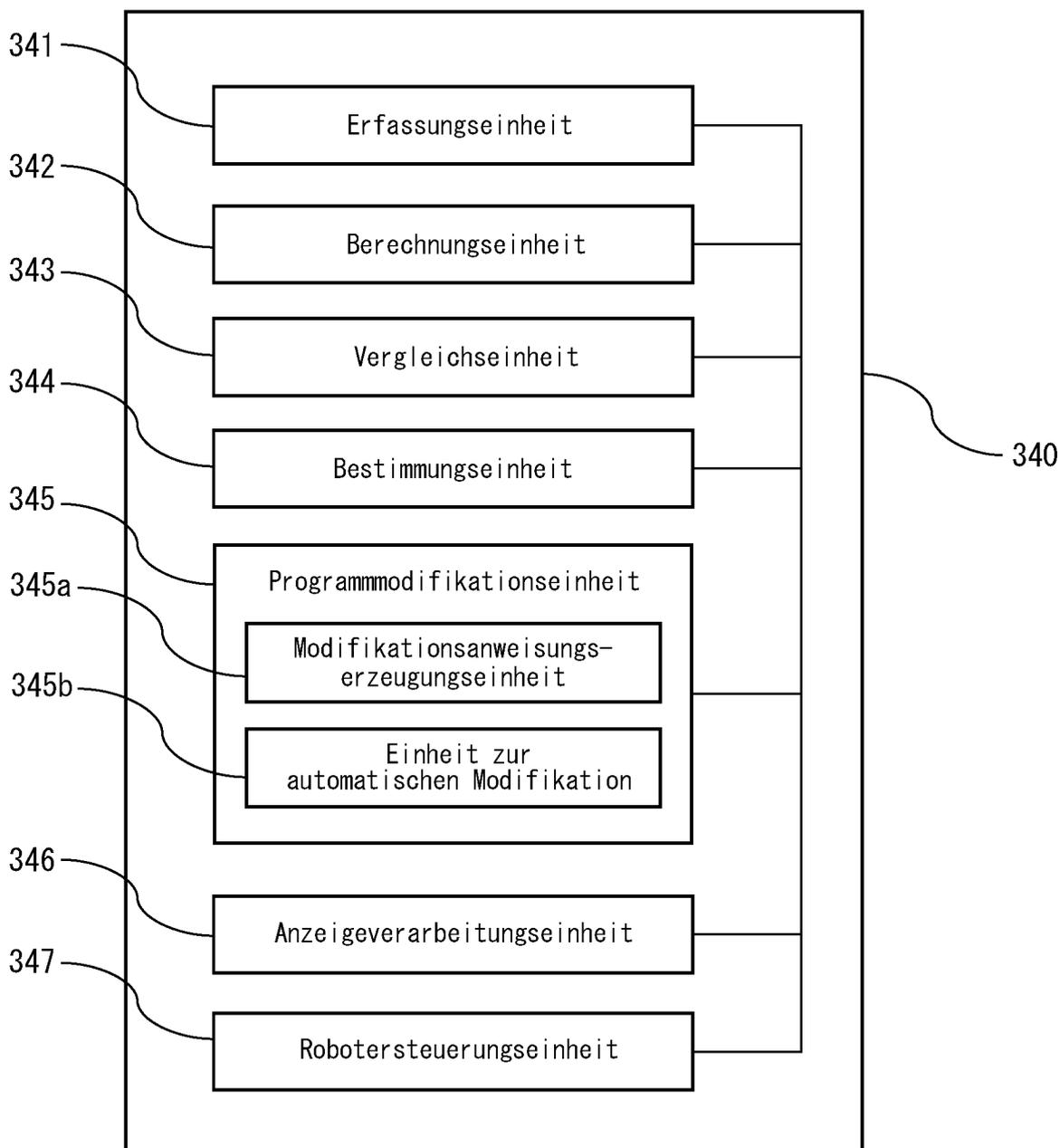


FIG. 7

