



(10) **DE 10 2020 207 368 A1** 2020.12.17

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2020 207 368.6**

(22) Anmeldetag: **15.06.2020**

(43) Offenlegungstag: **17.12.2020**

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

(30) Unionspriorität:
2019-112218 17.06.2019 JP

(71) Anmelder:
KABUSHIKI KAISHA TOSHIBA, Tokyo, JP;
Toshiba Infrastructure Systems & Solutions
Corporation, Kawasaki-shi, Kanagawa, JP

(74) Vertreter:
HOFFMANN - EITLE Patent- und Rechtsanwälte
PartmbB, 81925 München, DE

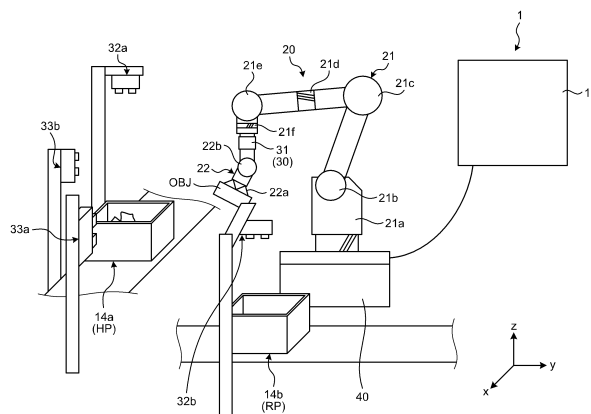
(72) Erfinder:
Oka, Yoshifumi, Tokyo, JP; Chiba, Yasunori,
Tokyo, JP; Masuda, Tetsuya, Kawasaki-shi,
Kanagawa, JP

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Objekthandhabungssteuervorrichtung, Objekthandhabungsvorrichtung,**
Objekthandhabungsverfahren und Computerprogrammprodukt

(57) Zusammenfassung: Eine Objekthandhabungssteuervorrichtung umfasst einen oder mehrere Prozessoren, konfiguriert zum Erfassen von zumindest einer Objektinformation und einer Statusinformation, die eine Anfangsposition und ein Ziel eines Objekts darstellt; Einstellen, wenn ein das Objekt greifender Greifer von der Anfangsposition zu dem Ziel fährt, einer ersten Region (104), einer zweiten Region und einer dritten Region in Übereinstimmung mit der Objektinformation und der Statusinformation; und Berechnen einer Bewegungsbahn, entlang der das Objekt von der Anfangsposition zu dem Ziel in Bezug auf die erste Region, die zweite Region und die dritte Region bewegt wird.



Beschreibung

[0001] Diese Anmeldung basiert auf der japanischen Patentanmeldung Nr. 2019-112218 vom 17. Juni 2019, die am 17. Juni 2019 eingereicht wurde und deren gesamter Inhalt hier durch Verweis aufgenommen wurde, und beansprucht deren Priorität.

GEBIET

[0002] Die hier beschriebenen Ausführungsformen beziehen sich im Allgemeinen auf eine Objekthandhabungssteuervorrichtung, eine Objekthandhabungsvorrichtung, ein Objekthandhabungsverfahren und ein Computerprogrammprodukt.

STAND DER TECHNIK

[0003] Konventionell wurden Objekthandhabungsvorrichtungen einschließlich eines Roboterarms eingeführt, um beispielsweise die physische Verteilung oder Herstellung vor Ort zu automatisieren. Eine Objekthandhabungsvorrichtung greift ein Objekt mit einer Hand und bewegt oder übergibt ein Objekt von einer Anfangsposition, beispielsweise auf einem Förderband oder in einem Behälter, in dem das Objekt gelagert wird, zu einem Ziel, beispielsweise in einen bestimmten Behälter oder einer Palette. In diesem Fall ist es vorzuziehen, dass das gegriffene Objekt und die Hand der Objekthandhabungsvorrichtung nicht mit umliegenden Hindernissen interferieren bzw. zusammenstoßen. In Wirklichkeit können jedoch das Objekt und die Hand aufgrund des Einflusses der Bedienungsgenauigkeit der Hand oder aufgrund eines Fehlers bei der Messung der Objektgröße, einer Greifposition, einer Behälterwand an einem Ziel, eines zuvor bewegten Objekts (im Folgenden als Hindernis bezeichnet) interferieren. In Anbetracht dessen wird eine Objekthandhabungsvorrichtung vorgeschlagen, die eine Roboterhand umfasst, die mit einem Kraftsensor ausgestattet ist, der die Auflagerkraft bzw. Reaktionskraft eines Greiforgans erfasst. Eine solche Objekthandhabungsvorrichtung führt eine rückgekoppelte Kraftsteuerung basierend auf der Reaktionskraft durch, um einen Roboter abweisend von einem interferierenden Hindernis wegzubewegen. Dadurch wird der Roboter daran gehindert, zu kollidieren und die Bewegung anzuhalten, um dauerhaft betriebsfähig zu bleiben.

[0004] Allerdings kann die Hand oder das gegriffene Objekt durch die abweisende Bewegung unter der Kraftsteuerung trotzdem beschädigt werden, abhängig von der Geschwindigkeit der Hand oder des gegriffenen Objekts zum Zeitpunkt der Kollision mit dem Hindernis. In einem solchen Fall kann die Kollisionswirkung verringert werden, indem die Arbeitsgeschwindigkeit des Arms oder der Hand auf der gesamten Bewegungsbahn oder in eine Region in der Nähe des Hindernisses verringert wird. Dadurch kann sich jedoch die Zeit für den Transfer des Objekts verlängern, was die Arbeitseffizienz verringert. Alternativ kann das Kollisionsrisiko bei der Planung der Bewegungsbahn zur Gewährleistung eines Abstands zum Hindernis verringert werden, indem die virtuelle Größe der Hand, des gegriffenen Objekts und des Hindernisses größer geschätzt werden als die tatsächliche Größe, also ein großer Rand bzw. Spielraum eingestellt wird. Dies kann es jedoch unmöglich machen, die Bewegungsbahn zu planen, wenn die Hand in einen schmalen Spalt eindringen oder die Objekte dicht anordnen soll.

[0005] Es ist daher vorzuziehen, eine Objekthandhabungssteuervorrichtung, eine Objekthandhabungsvorrichtung, eine Objekthandhabungsmethode und ein Computerprogrammprodukt bereitzustellen, die verhindern können, dass eine Hand oder ein mit der Hand gegriffenes Objekt mit einem Hindernis, das sie andernfalls beschädigen könnte, interferiert, und die das Objekt effizient transferieren können.

Figurenliste

Fig. 1 ist ein beispielhaftes und schematisches Konfigurationsdiagramm eines Objekthandhabungssystems einschließlich einer Objekthandhabungsvorrichtung gemäß einer Ausführungsform;

Fig. 2 ist ein beispielhaftes und schematisches Konfigurations-Blockdiagramm eines Objekthandhabungssystems einschließlich einer Objekthandhabungsvorrichtung gemäß der Ausführungsform;

Fig. 3 ist ein beispielhaftes und schematisches Flussdiagramm des Gesamtbetriebs des Objekthandhabungssystems einschließlich der Objekthandhabungsvorrichtung der Ausführungsform;

Fig. 4 ist ein beispielhaftes und schematisches Erklärungsdiagramm für die Ein-/Ausgabe eines Objektplatzierungsplans in der Objekthandhabungsvorrichtung der Ausführungsform;

- Fig. 5** ist ein beispielhaftes Flussdiagramm des Objektplatzierungsplans durch die Objekthandhabungsvorrichtung gemäß der Ausführungsform;
- Fig. 6** ist ein schematisches Diagramm, das eine beispielhafte Objektanordnung zur Verbesserung einer Verpackungsdichte in einem engen Raum zwischen Objekten und einer Behälterwand an einem Bewegungsziel bei der Bewegung, Anordnung oder Verpackung von Objekten durch die Objekthandhabungsvorrichtung der Ausführungsform darstellt;
- Fig. 7** ist ein beispielhaftes und schematisches Erklärungsdiagramm für die Situation, dass ein gegriffenes Objekt mit einem Behälter, der ein Bewegungsziel ist, oder einem zuvor bewegten Objekt auf engem Raum kollidieren kann;
- Fig. 8** ist ein beispielhaftes und schematisches Erklärungsdiagramm für die Situation, dass ein gegriffenes Objekt mit einem Behälter, der ein Bewegungsziel ist, oder einem zuvor bewegten Objekt auf engem Raum kollidieren kann;
- Fig. 9** ist ein beispielhaftes und schematisches Erklärungsdiagramm, das eine abweisende Kraftsteuerung durch die Objekthandhabungsvorrichtung der Ausführungsform über eine Hand oder einen Gegenstand, der mit einer Behälterwand interferiert, die ein Bewegungsziel oder eine Seitenfläche eines zuvor platzierten Objekts ist, veranschaulicht;
- Fig. 10** ist ein beispielhaftes und schematisches Erklärungsdiagramm für die Festlegung einer zweiten Region als bewegungsbeschränkte Region mit Bezug auf eine Behälterwand als Bewegungsziel oder ein zuvor platziertes Objekt, um ein Interferieren der Objekthandhabungsvorrichtung der Ausführungsform zu vermeiden;
- Fig. 11** ist ein beispielhaftes und schematisches Erklärungsdiagramm zum Festlegen einer ersten Region, einer zweiten Region und einer dritten Region unter Bezugnahme auf eine Behälterwand als Bewegungsziel oder ein zuvor platziertes Objekt, um die Bewegungsbahn eines Objekts und eine Hand zur Vermeidung einer Interferenz in der Objekthandhabungsvorrichtung der Ausführungsform zu erzeugen;
- Fig. 12** ist eine schematische Draufsicht einer beispielhaften zweiten Region, die in der Objekthandhabungsvorrichtung der Ausführungsform eingestellt ist;
- Fig. 13** ist eine schematische Seitenansicht einer beispielhaften zweiten Region, die in der Objekthandhabungsvorrichtung entsprechend der Ausführungsform eingestellt ist;
- Fig. 14** ist eine schematische Draufsicht einer beispielhaften ersten Steuerregion der dritten Region, die in der Objekthandhabungsvorrichtung der Ausführungsform eingestellt ist;
- Fig. 15** ist eine schematische Seitenansicht einer beispielhaften ersten Steuerregion der dritten Region, die in der Objekthandhabungsvorrichtung der Ausführungsform eingestellt ist;
- Fig. 16** ist eine beispielhafte und schematische Draufsicht zur Erläuterung eines angenommenen Wertes eines Objekts beim Einstellen der zweiten Region unter Berücksichtigung der Größe des Objekts, das mit der Hand in der Objekthandhabungsvorrichtung der Ausführungsform gegriffen wird;
- Fig. 17** ist eine beispielhafte und schematische Seitenansicht zur Erläuterung eines angenommenen Wertes eines Objekts bei der Einstellung der zweiten Region unter Berücksichtigung der Größe des von der Hand in der Objekthandhabungsvorrichtung der Ausführungsform gegriffenen Objekts;
- Fig. 18** ist eine beispielhafte und schematische Draufsicht zum Einstellen der zweiten Region unter Berücksichtigung der Größe des mit der Hand in der Objekthandhabungsvorrichtung der Ausführungsform gegriffenen Objekts;
- Fig. 19** ist eine beispielhafte und schematische Seitenansicht zum Einstellen der zweiten Region unter Berücksichtigung der Größe des mit der Hand in der Objekthandhabungsvorrichtung der Verkörperung gegriffenen Objekts;
- Fig. 20** ist eine beispielhafte und schematische Draufsicht zur Erläuterung eines angenommenen Wertes der Hand beim Einstellen der zweiten Region, unter Berücksichtigung der Größe der Hand in der Objekthandhabungsvorrichtung der Ausführungsform;
- Fig. 21** ist eine beispielhafte und schematische Seitenansicht zur Erläuterung eines angenommenen Wertes der Hand beim Einstellen der zweiten Region unter Berücksichtigung der Größe der Hand in der Objekthandhabungsvorrichtung der Ausführungsform;
- Fig. 22** ist eine beispielhafte und schematische Draufsicht zum Einstellen der zweiten Region unter Berücksichtigung der Größe der Hand in der Objekthandhabungsvorrichtung der Ausführungsform;

Fig. 23 ist eine beispielhafte und schematische Seitenansicht zum Einstellen der zweiten Region unter Berücksichtigung der Größe der Hand in der Objekthandhabungsvorrichtung der Ausführungsform;

Fig. 24 ist eine beispielhafte und schematische Darstellung der eingestellten Regionen und einer Bewegungsbahn in der Objekthandhabungsvorrichtung der Ausführungsform;

Fig. 25 ist ein weiteres beispielhaftes und schematisches Erklärungsdiagramm der eingestellten Regionen und einer Bewegungsbahn in der Objekthandhabungsvorrichtung der Ausführungsform;

Fig. 26 ist ein beispielhaftes und schematisches Erklärungsdiagramm, das eine Interferenzkontrollhöhe in der zweiten Region in der Objekthandhabungsvorrichtung der Ausführungsform veranschaulicht;

Fig. 27 ist ein schematisches erläuterndes Diagramm, das ein Beispiel für die Erzeugung eines ersten Durchgangspunktes einer Bewegungsbahn in der Objekthandhabungsvorrichtung der Ausführungsform veranschaulicht;

Fig. 28 ist ein beispielhaftes und schematisches Erklärungsdiagramm zur Berechnung einer Position der Hand, die nicht durch die zweite Region in der Objekthandhabungsvorrichtung der Ausführungsform passieren soll;

Fig. 29 ist ein beispielhaftes und schematisches Erklärungsdiagramm für die Erzeugung von Durchgangspunkten, die nicht durch die zweite Region in der Objekthandhabungsvorrichtung der Ausführungsform verlaufen sollen;

Fig. 30 ist ein beispielhaftes und schematisches Erklärungsdiagramm zur Erzeugung eines nächsten Durchgangspunktes, der auf die Durchgangspunkte in **Fig. 29** folgt und nicht durch die zweite Region verlaufen soll;

Fig. 31 ist ein beispielhaftes und schematisches Erklärungsdiagramm zur Erzeugung eines nächsten Durchgangspunktes, der auf die Durchgangspunkte in **Fig. 30** folgt und nicht durch die zweite Region nach den Durchgangspunkten in **Fig. 30** verlaufen soll;

Fig. 32 ist ein beispielhaftes und schematisches Erklärungsdiagramm für ein Beispiel dafür, dass das Passieren der zweiten Region in der Objekthandhabungsvorrichtung der Ausführungsform unvermeidbar ist;

Fig. 33 ist ein beispielhaftes und schematisches Erklärungsdiagramm für die ausnahmsweise Erzeugung einer Bewegungsbahn in der Andrücksteuerung in **Fig. 32**;

Fig. 34 ist ein beispielhaftes und schematisches Flussdiagramm für die Einstellung einer Andrückrichtung in der Drucksteuerung in **Fig. 33**;

Fig. 35 ist ein schematisches Erklärungsdiagramm zur beispielhaften Erzeugung einer Druckfläche und Druckposition durch einen kontrollierten Druckbetrieb der Objekthandhabungsvorrichtung der Ausführungsform;

Fig. 36 ist ein beispielhaftes Flussdiagramm zur Erzeugung von Durchgangspunkten auf einer Bewegungsbahn des Objekts oder der Hand durch die Objekthandhabungsvorrichtung der Ausführungsform; und

Fig. 37 ist ein beispielhaftes und schematisches Erklärungsdiagramm der Positionen der Durchgangspunkte auf der in **Fig. 36** erzeugten Bewegungsbahn.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG

[0006] Nach einer Ausführungsform im Allgemeinen, umfasst eine Objekthandhabungssteuervorrichtung einen oder mehrere Prozessoren. Der eine oder die mehreren Prozessoren sind ausgebildet: zumindest eine Objektinformation und eine Statusinformation zu erfassen, wobei die Objektinformation ein von einem Greifer gegriffenes Objekt darstellt und die Statusinformation eine Anfangsposition und ein Ziel des Objekts darstellt; wenn der das Objekt greifende Greifer sich von der Anfangsposition zum Ziel bewegt, eine erste Region, eine zweite Region und eine dritte Region in Übereinstimmung mit der Objektinformation und der Statusinformation einzustellen, wobei die erste Region eine Region ist, in der sich der Greifer bewegen darf, ohne durch ein Hindernis eingeschränkt zu werden, das in einem Raum zwischen der Anfangsposition und dem Ziel vorhanden ist, wobei die zweite Region eine Region ist, in der der Greifer aufgrund des Hindernisses in seiner Bewegung eingeschränkt ist, wobei die dritte Region zumindest teilweise unterhalb der zweiten Region liegt, wobei die dritte Region eine Region ist, in der der Greifer unter Kraftsteuerung betrieben wird; und eine Bewegungsbahn

zu berechnen, entlang der das Objekt von der Anfangsposition zum Ziel unter Bezugnahme auf die erste Region, die zweite Region und die dritte Region bewegt wird.

[0007] Im Folgenden werden Ausführungsformen mit Bezug auf die begleitenden Zeichnungen beschrieben. Die Merkmale der Ausführungsformen und Funktionen und die durch die Merkmale erzielten Ergebnisse oder Wirkungen werden nur beispielhaft dargestellt und sollen den Umfang der Ausführungsformen nicht einschränken.

[0008] Allgemeine Systemkonfiguration **Fig. 1** ist ein schematisches Konfigurationsdiagramm eines Objekthandhabungssystems **1** einschließlich einer Objekthandhabungsvorrichtung. Das Objekthandhabungssystem **1** umfasst eine Steuervorrichtung **10**, einen Manipulator **20** (Roboterarm), einen Sensor **30** und ein Gehäuse **40**. Das Objekthandhabungssystem **1** dient dazu, ein zur Bewegung vorgesehenes Objekt **OBJ** an einer Anfangsposition **HP** zu greifen, das Objekt **OBJ** zu bewegen oder zu befördern und es an einem Bewegungsziel **RP** loszulassen. Ein solcher Betrieb wird als Aufnahme, Transfer, Beförderung des Objekts **OBJ** bezeichnet. Von der Steuereinrichtung **10** können die Elemente, mit Ausnahme einer später beschriebenen Robotersteuerung **57** (Bewegungssteuerung), die den Manipulator **20** steuert, separat als Objekthandhabungssteuervorrichtung vorgesehen werden.

[0009] Der Manipulator **20** umfasst einen Arm **21** und eine Hand **22**, also einen Endeffektor bzw. ein Greiforgan oder einen Greifer. Beispielsweise dient der Arm **21** als Mehrgelenkroboter mit den Drehteilen **21a** bis **21f**, die von mehreren (z.B. sechs) Servomotoren gedreht werden. Der Manipulator **20** kann eine austauschbare Hand **22** enthalten. In diesem Fall kann die Hand **22** durch einen Mechanismus wie einen Werkzeugwechsler ausgetauscht werden (nicht abgebildet). Der Arm **21** ist nicht auf den Mehrgelenkroboter beschränkt und kann ein SCARA-Roboter, ein Linearbewegungsroboter oder eine Kombination von mindestens zweien aus einem Mehrgelenkroboter, einem SCARA-Roboter und einem Linearbewegungsroboter sein.

[0010] Im Beispiel von **Fig. 1** umfasst die Hand **22** einen Sauggreifer **22a** mit einem Drucksensor (nicht abgebildet). Der Sauggreifer **22a** dient als Saugmechanismus zum Greifen des Objekts **OBJ**. Die Spezifikationen des Sauggreifers **22a** wie Anzahl, Platzierung bzw. Anordnung, Form und Größe können auf verschiedene Weise geändert oder eingestellt werden.

[0011] Der Greifmechanismus für das Objekt **OBJ** ist nicht auf den Saugmechanismus beschränkt und kann beispielsweise einen Blockiermechanismus, einen Quetschmechanismus oder einen Mehrfingermechanismus umfassen. Der Greifer **22** kann mindestens zwei von einem Saugmechanismus, einen Blockiermechanismus, einen Klemmechanismus und einen Mehrfingermechanismus umfassen.

[0012] Die Hand **22** umfasst eine Krümmung **22b**. Die Hand **22** kann zusätzlich zu der Krümmung **22b** beispielsweise ein bewegliches Teil, wie ein Drehteil oder ein Ausziehteil, enthalten.

[0013] Der Sensor **30** der Hand **22** stellt einen sechsachsigen Kraftsensor **31**, also dreiachsigen Translationskraft- und dreiachsigen Drehmomentsensor dar. Die Position des Kraftsensors **31** ist nicht auf die in der Zeichnung dargestellte Position beschränkt. Die Hand **22** kann verschiedene andere Sensoren als den Kraftsensor **31** umfassen. Wie später in der vorliegenden Ausführungsform beschrieben, kann die Hand **22**, um einen gegebenen Raum lückenlos mit Objekten **OBJ** zu füllen, einen erfassten Wert des Kraftsensors **31** für die Platzierung des Objekts **OBJ** zurückmelden und das Objekt **OBJ** unter Kraftsteuerung gegen ein Hindernis an ein Bewegungsziel drücken. Eine solche Kraftsteuerung des Andrückens des Objekts **OBJ** gegen das Hindernis am Bewegungsziel wird als Andrücksteuerung bezeichnet. Zusätzlich kann in der Ausführungsform die Hand **22** oder das Objekt **OBJ**, wenn die Hand **22** oder das Objekt **OBJ** mit einem Hindernis unter der Kraftsteuerung basierend auf dem erfassten Wert des Kraftsensors **31** interferiert, von dem interferierenden Hindernis wegbewegt werden. Eine solche Kraftsteuerung über die Hand **22** und das Objekt **OBJ**, um sich von dem interferierenden Hindernis wegzubewegen, wird als Abweisungssteuerung bezeichnet.

[0014] Der Sensor **30** kann ein Drehmomentsensor, ein Rotationssensor oder ein Stromsensor eines Motors sein, der in jedem der Rotationsteile **21a** bis **21f** zusätzlich zum Kraftsensor **31** vorgesehen ist. In diesem Fall kann die Steuereinrichtung **10** die auf die Hand **22** wirkende Kraft aus dem erfassten Wert des Kraftsensors **31** ermitteln oder die Kraft aus einem Stromwert oder einem Rotationswert (erfasster Wert des Rotationssensors) jedes Motors berechnen.

[0015] Der Sensor **30** des Objekthandhabungssystems **1** umfasst beispielsweise eine Vielzahl von Kameras **32a** und **32b** und eine Vielzahl von Laser-Entfernungsscannern **33a** und **33b**. Die Kameras **32a** und **32b** sind

beispielsweise RGB-Bildkameras. Bei den Laser-Entfernungsscannern **33a** und **33b** handelt es sich um zwei-dimensional abtastende, optische Entfernungsmesssensoren, die mit Abtastlicht eine Entfernung zum Objekt **OBJ** messen. Sie können auch als Laser-Entfernungsmesser (LRF) oder Lichterfassung und Entfernungsmessung (LIDAR) bezeichnet werden.

[0016] Die Kamera **32a** befindet sich bei der Anfangsposition, um das Objekt **OBJ** und seine Umgebung von oben in der Anfangsposition **HP** des zu greifenden und zu bewegenden oder zu befördernden Objekt **OBJ** abzubilden und eine Objektinformation (wie eine Form oder eine Größe) und eine Statusinformation (wie eine stationäre Pose bzw. Stellung) über das Objekt **OBJ** zu erfassen. In der Anfangsposition **HP** befindet sich das Objekt **OBJ** in einem Behälter **14a**, wie beispielsweise einem Stauraum oder einer Palette. In einem solchen Fall erzeugt die Kamera **32a** ein Bild des gesamten oder eines Teils des Inneren des Behälters **14a**. Die Anfangsposition **HP** kann auch als Bewegungsstartposition oder als Anfangsposition des Objekts **OBJ** bezeichnet werden. In **Fig. 1** wird der Behälter **14a** nur zu exemplarischen Zwecken auf einen Fördermechanismus wie beispielsweise ein Förderband gestellt, und seine Lage ist nicht darauf beschränkt.

[0017] Die Kamera **32b** befindet sich bei dem Bewegungsziel **RP** zum Freigeben, Anordnen oder Platzieren des Objekts **OBJ**, um das Bewegungsziel **RP** und seine Umgebung abzubilden und die Objektinformation über das Objekt **OBJ** (z. B. Form oder Größe eines zuvor platzierten Objekts) und die Statusinformation (z. B. die Pose eines zuvor platzierten Objekts) zu erfassen. Am Bewegungsziel **RP** ist das Objekt **OBJ** in einem Freigabe-Zweckbehälter **14b** wie beispielsweise einem Stauraum oder einer Palette untergebracht. In einem solchen Fall erzeugt die Kamera **32b** ein Bild des gesamten oder eines Teils des Inneren des Behälters **14b**. Das Bewegungsziel **RP** kann auch als Bewegungs-Stopp-Position oder als Ankunftsposition des Objekts **OBJ** bezeichnet werden. In **Fig. 1** wird der Behälter **14b** auf einen Fördermechanismus wie beispielsweise ein Förderband gestellt, aber die Position des Behälters **14b** ist nicht darauf beschränkt.

[0018] Die Laser-Entfernungsscanner **33a** und **33b** erfassen die Objektinformation wie die Größe des Objekts **OBJ** (einschließlich der Größe einer Oberfläche, die von der Kamera **32a** nicht erfasst werden kann) und die Statusinformation wie die Greifhaltung einer Hand **22** des Objekts **OBJ**, während der Arm **21** das mit der Hand **22** gegriffene Objekt **OBJ** von der Anfangsposition **HP** zum Bewegungsziel **RP** bewegt. Die Objektinformation, die von den Kameras **32a** und **32b** und den Laser-Entfernungsscannern **33a** und **33b** erfasst wird, kann zur Positionierungssteuerung über die dichte Platzierung der Objekte **OBJ** im Behälter **14b** am Bewegungsziel **RP** verwendet werden.

[0019] Das Gehäuse **40** kann beispielsweise verschiedene Komponenten oder Elemente und Vorrichtungen des Objekthandhabungssystems **1** umfassen, wie beispielsweise eine Stromversorgung für den Antrieb eines elektrischen Stellgliedes wie einen Motor, einen Kolben zum Antrieb eines Flüssigkeitsstellgliedes, einen Tank, einen Kompressor und verschiedene Sicherheitsmechanismen. Das Gehäuse **40** kann die Steuervorrichtung **10** umfassen.

[0020] Steuervorrichtung **Fig. 2** ist ein beispielhaftes und schematisches Konfigurations-Blockschaltbild des Objekthandhabungssystems **1** einschließlich der Objekthandhabungsvorrichtung der Ausführungsform, das hauptsächlich den schematischen Aufbau der Steuervorrichtung **10** veranschaulicht. Die Steuervorrichtung **10** fungiert als ein oder mehrere Prozessoren und umfasst beispielsweise einen Integrator **51**, einen Bildprozessor **52**, einen Signalprozessor **53**, einen Greifplangenerator **54**, einen Regioneinsteller **55**, einen Bahnrechner **56**, eine Robotersteuerung **57** (Bewegungssteuerung), eine Peripherie- und Ein-/Ausgabesteuerung **58**, eine Lernsteuerung **59**, einen Fehlerdetektor **60** und eine interne Datenbank (DB) **61**.

[0021] Der Integrator **51** dient dazu, einen Arbeitsplan des Objekthandhabungssystems **1** basierend auf einer Benutzereingabeinformation von einer externen Schnittstelle (I/F) **71**, den Zustand des Objekthandhabungssystems **1** und den erfassten Wert des Sensors **30** zu erzeugen, zu betreiben und zu verwalten.

[0022] Der Bildprozessor **52** empfängt und verarbeitet Bilder von den Kameras **32a** und **32b**, die als Sensor **30** dienen, um eine Information zu erzeugen, die bei der Bewegungsplanung, Bewegungssteuerung, Fehlererkennung und beim Lernen verwendet wird.

[0023] Der Signalprozessor **53** empfängt und verarbeitet eine Information, also die erfassten Werte von den als Sensor dienenden Laser-Entfernungsscannern **33a** und **33b**, um eine Information zu erzeugen, die bei der Bewegungsplanung, der Bewegungssteuerung und der Fehlererkennung verwendet wird. Der Bildprozessor **52** und der Signalprozessor **53** sind Beispiele für einen Informationserfasser.

[0024] Der Greifplangenerator **54** berechnet ein Greifverfahren und eine Greifpose des Objekts **OBJ** an der Anfangsposition **HP** sowie eine Bewegungsbahn und über Punkte, entlang derer der Manipulator **20** oder die Hand **22** zur Anfangsposition **HP** bewegt wird. Der Greifplangenerator **54** berechnet auch eine Bewegungsbahn und Durchgangspunkte der Hand **22**, um ein nächstes vorgesehenes Objekt **OBJ** zu greifen, nachdem das Objekt **OBJ** am Bewegungsziel **RP** losgelassen wird. In diesen Fällen wird die von der Kamera **32a** erfassten Objektinformation bei der Berechnung der Bewegungsbahn und der Durchgangspunkte verwendet, um die Hand **22** zu bewegen, ohne mit umliegenden Hindernissen wie Wandflächen der Behälter **14a** und **14b** oder einem Objekt oder Objekten, anders als das gegenwärtig bewegte Objekt **OBJ**, zu interferieren.

[0025] Um die das Objekt **OBJ** greifende Hand **22** von der Anfangsposition **HP** zum Bewegungsziel **RP** zu bewegen, stellt der Regioneinsteller **55** Regionen in einem Raum zwischen der Anfangsposition **HP** und dem Bewegungsziel **RP** unter Bezugnahme auf die Objektinformation und die Statusinformation, die von den Kameras **32a** und **32b** und den Laser-Entfernungsscannern **33a** und **33b** erfasst werden, ein. Der Regioneinsteller **55** stellt beispielsweise eine erste Region, eine zweite Region und eine dritte Region ein. In der ersten Region darf sich die Hand **22** bewegen, ohne durch Hindernisse wie die Behälter **14a** und **14b** und ein zuvor platziertes Objekt im Raum zwischen der Anfangsposition **HP** und dem Bewegungsziel **RP** eingeschränkt zu sein. In der zweiten Region ist die Hand **22** aufgrund von Hindernissen in ihrer Bewegung eingeschränkt. Zumindest ein Teil der dritten Region ist unterhalb der zweiten Region angeordnet, und in der dritten Region wird die Hand **22** unter Kraftsteuerung bewegt. In der ersten Region ist die Hand **22** zum Beispiel mit einer höheren Geschwindigkeit bewegbar. In der zweiten Region ist die Hand **22** eingeschränkt oder am Durchfahren gehindert. In der dritten Region erfasst der Kraftsensor **31** die Kraft, sodass die Hand **22** unter Abweisungssteuerung die Bewegungsbahn korrigieren kann, wenn das Objekt **OBJ** oder die Hand **22** mit dem das Hindernis interferiert. Zusätzlich kann in der dritten Region die Bewegungsgeschwindigkeit der Hand **22** (Objekt **OBJ**) verringert oder der Kraftsensor **31** vorübergehend beispielsweise in Bezug auf die Erfassungsgenauigkeit verbessert werden.

[0026] Die obige Kraftsteuerung umfasst die Andrücksteuerung und die Abweisungssteuerung. Der Regioneinsteller **55** kann einen Teil der dritten Region als Gegenstand der Andrücksteuerung der Kraftsteuerung und den Rest davon als Gegenstand der Abweisungssteuerung der Kraftsteuerung einstellen. In diesem Fall kann in der Region, die der Andrücksteuerung unterworfen ist, die Hand **22** allgemein eingeschränkt oder verboten werden wie in der zweiten Region, und das Objekt **OBJ** und die Hand **22** können unter einer außerordentlichen Andrücksteuerung durch sie hindurchgelassen werden.

[0027] Der Bahnrechner **56** berechnet die Bewegungsbahn des Objekts **OBJ** von der Anfangsposition **HP** zum Bewegungsziel **RP** unter Bezugnahme auf die erste Region, die zweite Region und die dritte Region. Zum Beispiel berechnet der Bahnrechner **56** die Bewegungsbahn einschließlich eines Bewegungsverfahrens und einer Geschwindigkeit der Hand **22**, um das gegriffene Objekt **OBJ** sanft von der Anfangsposition **HP** zum Bewegungsziel **RP** zu bewegen. Die Einstellung der ersten Region, der zweiten Region und der dritten Region und das Umschalten des Verhaltens der sich entlang der Bewegungsbahn bewegenden Hand **22** zwischen den Regionen ermöglicht es, das Objekt **OBJ** effizient mit einer höheren Geschwindigkeit zu bewegen oder zu befördern und gleichzeitig das Risiko einer Interferenz mit den Hindernissen zu verringern. Die Einstellung der ersten Region, der zweiten Region und der dritten Region und das Bewegen der Hand **22** oder des Objekts **OBJ** in den Regionen wird später ausführlich beschrieben.

[0028] Die Robotersteuerung **57** einer Steuerung von Geschwindigkeit, Orientierung und Bewegungspose des Manipulators **20** einschließlich der Hand **22**, um die Hand **22**, die das Objekt **OBJ** greift, entlang der Bewegungsbahn zu bewegen.

[0029] Die Peripherie- und Ein-/Ausgabesteuerung **58** steuert Ein- und Ausgaben zur Steuerung verschiedener Transportvorrichtungen und einer Peripherievorrichtung **70** wie beispielsweise einer Schutztür, zur Erfassung verschiedener Arten von Sensorinformationen und zur Steuerung der Beleuchtung.

[0030] Die Lernsteuerung **59** steuert eine Lernfunktion der Objekthandhabungsvorrichtung, einschließlich des Lernens des Robotermodells zur Verbesserung der Bewegungsgenauigkeit des Manipulators **20** zu verbessern, wie beispielsweise die Vibrationsunterdrückung, das Lernen der Greifsteuerparameter und das Lernen der Greifdatenbank zur Verbesserung der Fähigkeit das Objekt **OBJ** zu greifen und das Lernen der Fehlererkennung zur Verbesserung der Durchführbarkeit eines Arbeitsplans. In der Ausführungsform wählt die Lernsteuerung **59** je nach Situation einen optimalen Parameterwert in der Kraftsteuerung aus. Der Benutzer kann solche Werte empirisch einstellen, die Anwendung der Ergebnisse des maschinellen Lernens ermöglicht jedoch eine effizientere Verarbeitung mit Arbeitseinsparung.

[0031] Der Fehlerdetektor **60** überwacht einen Zustand des Objekthandhabungssystems **1**, den Fortschritt eines Arbeitsplans, einen kontrollierten Zustand des Systems **1**, einen Zustand des Objekts **OBJ** beim Greifen, Bewegen oder Fördern zur Fehlerdetektion. Der Fehlerdetektor **60** kann diese Fehlerdetektion beispielsweise durch Überwachung eines Fingerspitzenkoordinatenwertes der Hand **22a** implementieren, um einen Fehler zu detektieren, wenn der Wert einen vordefinierten Wert überschreitet. Der Fingerspitzenkoordinatenwert wird von einem Ausgang des Kraftsensors **31** umgewandelt und durchläuft einen Tiefpassfilter. Infolgedessen kann das Objekthandhabungssystem **1** die laufende Arbeit unterbrechen und zu einem Wiederherstellungsbetrieb übergehen.

[0032] Die interne Datenbank (DB) **61** enthält beispielsweise eine Roboterdatenbank, eine Handdatenbank, eine Artikeldatenbank, eine Greiffunktionsdatenbank und eine Umgebungsdatenbank, von denen keine abgebildet ist.

[0033] Die Roboterdatenbank (DB) speichert beispielsweise die Struktur des Objekthandhabungssystems **1**, Abmessungen und Gewichte sowie das Trägheitsmoment der jeweiligen Elemente, einen Arbeitsbereich, die Geschwindigkeit und das Drehmoment jedes Antriebs.

[0034] Die Handdatenbank (DB) speichert beispielsweise die Funktionen der Hand **22** und eine Information über die Greifeigenschaft der Hand **22**.

[0035] Die Artikeldatenbank (DB) speichert beispielsweise verschiedene Arten von Informationen über das Objekt **OBJ**, wie einen Namen, eine Identifikationsnummer, eine Kategorie, Bildinformationen der gesamten Oberfläche, CAD-Modellinformationen, Gewichtsinformationen und Informationen über Greifmerkmale (z.B. weich, zerbrechlich oder verformbar). In der Ausführungsform haben die Objekte **OBJ** unterschiedliche Formen und Größen und werden in einem gemischten Zustand in die Ausgangsposition **HP** gebracht. Eine dichte Anordnung der gemischten Objekte **OBJ** am Bewegungsziel **RP** kann die Menge der im Behälter **14b** unterzubringenden Objekte **OBJ** auf einen Schlag erhöhen und die Effizienz der physischen Verteilung verbessern.

[0036] Die Greifdatenbank (DB) speichert bezüglich des Objekts **OBJ** eine Bewertungsinformation wie beispielsweise eine Greifposition und -pose und Fähigkeit zu greifen, einen möglichen Druckbetrag zum Zeitpunkt des Greifens, eine Greifbestimmungsschwelle und eine Bestimmungsschwelle für die Fehlererkennung für jedes Greifverfahren der Hand **22**. Beispiele für das Greifverfahren sind das Ansaugen, das Zwei-Parallele-Finger-Verfahren, das Vier-Parallele-Finger-Verfahren und das Mehrgelenksverfahren.

[0037] Die Umgebungsdatenbank (DB) speichert beispielsweise eine Werkbankinformation, die mit dem Objekthandhabungssystem **1** kompatibel ist, sowie eine Umgebungsinformation, die einen Arbeitsbereich des Objekthandhabungssystems **1** und umliegende Hindernisse darstellt.

[0038] Die externe I/F **71** dient zum Übertragen und Empfangen von Daten zwischen dem Integrator **51** (Steuervorrichtung **10**) und einer externen Vorrichtung (nicht abgebildet).

[0039] Schematische Steuerung und Bedienung des Objekthandhabungssystems oder -vorrichtung
Das Objekthandhabungssystem **1** arbeitet nach einem Bewegungsarbeitsplan für alle Objekte **OBJ**, die von einem übergeordneten System über die externe I/F **71** bereitgestellt werden.

[0040] **Fig. 3** veranschaulicht den gesamten Betriebsablauf des Objekthandhabungssystems **1**. Der Betrieb des Objekthandhabungssystems **1** oder der Objekthandhabungsvorrichtung wird im Allgemeinen in einen Planungsbetrieb, einen Erkennungsbetrieb, einen Roboterarmbetrieb (Bewegen) und einen Sauggreifbetrieb (Greifen) unterteilt.

[0041] Zuerst führt der Integrator **51** eine Auftragsprüfung mit Bezug auf einen Bewegungsarbeitsplan durch, der vom übergeordneten System als Planungsbetrieb angewiesen wird. In diesem Fall erkennt die Kamera **32a** die Objekte **OBJ** im Behälter **14a** an der Anfangsposition **HP**, und die Kamera **32b** erkennt zuvor platzierte Objekte im Behälter **14b** am Bewegungsziel **RP**, um die Objekt- und Statusinformation zu erfassen. Der Greifplangenerator **54** erzeugt dann einen Greifplan einschließlich der Reihenfolge des Greifens der Objekte **OBJ**. Der Greifplangenerator **54** erzeugt auch einen Plan einer Bewegungs- oder Greifbahn zu dem Objekt **OBJ**. Beim Betrieb des Roboterarms bewegt die Robotersteuerung **57** die Hand **22** aus einer Greifbereitschaftsposition (Ausgangsposition) in die Anfangsposition **HP** entlang der erzeugten Greifbahn. Die Robotersteuerung **57** veranlasst die Hand **22** oder den Sauggreifer **22a**, das Objekt **OBJ** an der Greifposition durch den Sauggreifbetrieb zu greifen. Die Robotersteuerung **57** veranlasst die Hand **22**, die das Objekt **OBJ** greift, sich in

eine Bewegungsbereitschaftsposition zu bewegen (z.B. in den Messregionen der Laser- Entfernungsscanner **33a** und **33b**), und veranlasst, während sich die Hand bewegt, die Laser-Entfernungsscanner **33a** und **33b** (z.B. LRFs), die Pose des Objekts **OBJ** einschließlich einer Größe und einer Greifpose als Erkennungsbetrieb abzuschätzen.

[0042] Als Planungsbetrieb legt der Regioneinsteller **55** die erste Region, die zweite Region und die dritte Region basierend auf der Objektinformation und der durch den Erkennungsbetrieb erfassten Statusinformation fest, und der Bahnrechner **56** generiert eine Bewegungsbahnplan für die Hand **22**, die das Objekt **OBJ** ergreift, um das Objekt **OBJ** zu platzieren.

[0043] Beim Roboterarmbetrieb veranlasst die Robotersteuerung **57** dann die Hand **22**, die das Objekt **OBJ** an der Bewegungsbereitschaftsposition greift, sich entlang der Bewegungsbahn zum Bewegungsziel **RP** zu bewegen. Beim Sauggreifbetrieb löst die Robotersteuerung **57** den Sauggreifer **22a** vom Greifen am Bewegungsziel **RP** und setzt das Objekt **OBJ** am Bewegungsziel **RP** ab. Dann veranlasst die Robotersteuerung **57** die Hand **22**, die das Objekt **OBJ** losgelassen hat, in die Greifbereitschaftsposition zurückzukehren, und schließt eine Reihe von Bewegungen, Transfers oder Platzierung des Objekts **OBJ** ab und führt wiederholt die Betriebe aus, um ein nächstes Objekt **OBJ** zu bewegen.

[0044] Umriss des Objektplatzierungsplans **Fig. 4** ist ein beispielhaftes und schematisches Erklärungsdiagramm für die Ein- und Ausgabe eines Bewegungs- oder Platzierungsplanes für das Objekt **OBJ** im Objekt-handhabungssystem **1** oder der Objekthandhabungseinrichtung. **Fig. 5** ist ein beispielhaftes Flussdiagramm für die Planung der Platzierung des Objekts **OBJ**.

[0045] Um den Platzierungsplan zu erstellen, erfasst beispielsweise der Bahnrechner **56** von der Kamera **32a** und den Laser-Entfernungsscannern **33a** und **33b** eine Eingabeinformation einschließlich der Greifpose und der Größe des Objekts **OBJ**, das gegenwärtig von der Hand **22** oder dem Sauggreifer **22a** gegriffen wird und bewegt und am Bewegungsziel **RP** (Behälter **14b**) platziert werden soll (**S100**). Anschließend berechnet der Bahnrechner **56** die Pose des gegenwärtig gegriffenen Objekts **OBJ**, um das Objekt **OBJ** in Übereinstimmung mit der Greifpose und der Größe des Objekts **OBJ** in den Behälter **14b** zu platzieren (**S102**). Der Bahnrechner **56** berechnet eine platzierbare Position und eine Pose des gegriffenen Objekts **OBJ**, also eines Kandidaten des Bewegungsziels **RP**, basierend auf der Statusinformation von zuvor platzierten Objekten **OBJs** im Behälter **14b** (**S104**). Der Bahnrechner **56** berechnet eine Vielzahl von Mustern von Positions- und Posekandidaten einer Fingerspitze **TCP** der Hand **22** beim Platzieren des Objekts **OBJ** basierend auf der Information über die zuvor platzierten Objekte **OBJs** im Behälter **14b** (**S106**) und wählt aus den Mustern einen optimalen Positions- und Posekandidaten aus (**S108**). Der Bahnrechner **56** stellt auch eine Information ein, darunter einen Sollkraftwert, eine Position einer Andrückfläche und eine Andrückrichtung, die bei der Kraftsteuerung durch den Manipulator **20** (Hand **22**) während der Bewegung oder Platzierung verwendet wird (**S110**). Der Bahnrechner **56** berechnet Durchgangspunkte (über Position und Pose RAP) auf der Bewegungsbahn des Objekts **OBJ** aus der Größe und der Greifpose des Objekts **OBJ**, einem Zustand der zuvor platzierten Objekte **OBJs**, der Position und Pose der Fingerspitze **TCP** zum Zeitpunkt der Platzierung des Objekts **OBJ** (**S112**). Das Bewegungsziel **RP** und die Durchgangsposition und -pose RAP, die als die Kandidaten berechnet werden, sind mit Bewertungen wie beispielsweise der voreingestellten Priorität verbunden, und der Bahnrechner **56** wählt ein optimales Bewegungsziel **RP** und die Durchgangsposition und -pose RAP entsprechend den Bewertungen aus. Nachdem es dem Bahnrechner **56** gelungen ist, die Bewegungsbahn so zu generieren, dass mit Hindernissen wie den zuvor platzierten Objekten **OBJs** oder dem Behälter **14b** nicht interferiert wird, veranlasst die Robotersteuerung **57** die Bedienung des Manipulators **20**.

[0046] In der Ausführungsform wird die Position und Pose des Objekts **OBJ** oder der Hand **22** durch eine homogene Transformationsmatrix T aus vier Zeilen und vier Spalten dargestellt. Beispielsweise wird eine Position und Pose ${}^wT_{RP}$ des beweglichen Ziels **RP** durch den folgenden Ausdruck 1 dargestellt:

$${}^wT_{RP} = \begin{bmatrix} {}^wR_{RP} & {}^wt_{RP} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{13} & {}^wX_{RP} \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} & {}^wY_{RP} \\ R_{31} & R_{32} & R_{33} & {}^wZ_{RP} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{Ausdruck 1})$$

wobei die oberen linken Symbole ein Koordinatensystem vor der Transformation darstellen, die unteren rechten Teilstriche ein Koordinatensystem nach der Transformation darstellen, **R** eine dreireihige, dreispaltige Ro-

tationsmatrix der Lage darstellt, t einen dreireihigen, einspaltigen Translationsvektor der Pose darstellt und W ein Weltkoordinatensystem des Bewegungsziels **RP** darstellt.

[0047] Bei der Koordinatentransformation gilt der folgende Ausdruck 2:

$${}^U T_V = {}^U T_S {}^S T_V \quad (\text{Ausdruck 2})$$

wobei S, U und V jeweils ein optionales Koordinatensystem darstellen.

[0048] Ausdruck 3 gilt auch wie folgt:

$$A = \begin{bmatrix} A_{11} & \cdots & A_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ A_{m1} & \cdots & A_{mn} \end{bmatrix}$$

$$A(i, j) = A_{ij}, A(i, :) = [A_{i1} \cdots A_{in}], A(:, j) = [A_{1j} \cdots A_{mj}]^T \quad (\text{Ausdruck 3})$$

wobei A eine Matrix darstellt, $A(i, j)$ eine Operation zum Extrahieren eines Elements der i-ten Zeile und der j-ten Spalte darstellt, und $A(i, :)$ und $A(:, j)$ Operationen zum Extrahieren eines i-ten Zeilenvektors bzw. eines j-ten Spaltenvektors darstellen.

[0049] In ähnlicher Weise gilt der folgende Ausdruck 4:

$$u = [u_1 \cdots u_n]^T, u(i) = u_i \quad (\text{Ausdruck 4})$$

wobei u einen Vektor darstellt und $u(i)$ eine Operation zur Extraktion des i-ten Elements aus dem Vektor darstellt.

[0050] In der Ausführungsform wird eine rechteckige parallelepipedische Region durch Ausdruck 5 dargestellt, ähnlich wie das Koordinatensystem und die Größe des Objekts:

$${}^U T_{Area} = \begin{bmatrix} {}^U R_{Area} & {}^U t_{Area} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{13} & {}^U X_{Area} \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} & {}^U Y_{Area} \\ R_{31} & R_{32} & R_{33} & {}^U Z_{Area} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^U S_{Area} = [sx \ sy \ sz]^T \quad (\text{Ausdruck 5})$$

wobei ${}^U T_{Area}$ ein Koordinatensystem der Schwerpunktposition darstellt und ein Vektor ${}^U S_{Area}$ eine Größe davon darstellt.

[0051] Das Objekthandhabungssystem **1** oder die Objekthandhabungsvorrichtung ist vorgesehen, so viele der Objekte **OBJ** wie möglich in den Behälter **14b**, der ein Bewegungsziel ist, zu bewegen und anzuordnen. Das heißt, es soll eine Packdichte verbessert werden. Mit einer verbesserten Packdichte kann das Objekthandhabungssystem **1** die Anzahl der zu versendenden Behälter **14b** reduzieren und damit zur Senkung der Versandkosten beitragen. Das Objekthandhabungssystem **1** wird voraussichtlich die Packdichte erhöhen, indem es die Objekte **OBJ** auf kleinem Raum anordnet, so wie in **Fig. 6** dargestellt. In dem kleinen Raum So kann jedoch das Objekt **OBJ**, das mit der Hand **22** gegriffen wird, wahrscheinlich mit den zuvor platzierten Objekten **OBJs** im Behälter **14b** kollidieren, wie in **Fig. 7** dargestellt. Insbesondere können große Fehler bei Messungen mit den Laser-Entfernungsscannern **33a** und **33b** oder bei Messungen der zuvor platzierten Objekte **OBJs** im Behälter **14b** durch einen dreidimensionalen Sensor wie die Kamera **32b** auftreten. In einem solchen Fall ist es sehr wahrscheinlich, dass das festzulegende Objekt **OBJ** mit einem Hindernis beispielsweise entlang einer Bewegungsbahn **R** kollidiert. Eine Kollision zwischen dem Objekt **OBJ** und dem Hindernis kann dazu führen, dass das Objekt **OBJ** oder die Hand **22** oder der Manipulator **20** beschädigt werden.

[0052] Um eine solche Kollision zu vermeiden, kann beispielsweise die Größe des Objekts **OBJs** zum Zeitpunkt der Berechnung der Platzierungsposition oder der Bewegungsbahn auf einen größeren Wert einschließlich eines Rands bzw. Spielraums als die tatsächliche Größe eingestellt werden. Die Einstellung eines einheitlich großen Rands kann es jedoch erschweren, einen Platzierungsplan für das Objekt **OBJ** in einem kleinen Raum im Behälter **14b** zu erstellen oder einzurichten.

[0053] In Anbetracht dessen führt das Objekthandhabungssystem **1** oder die Objekthandhabungsvorrichtung in der Ausführungsform die Andrücksteuerung und die Abweisungssteuerung unter der Kraftsteuerung durch, um einen kleinen Raum effektiv auszunutzen. Wie in **Fig. 1** dargestellt, ist die Hand **22** des Objekthandhabungssystems **1** mit dem sechsachsigen Kraftsensor **31** ausgestattet. Wie in **Fig. 8** dargestellt, kann die Hand **22** somit das Objekt **OBJ** entlang der Bewegungsbahn **R** bewegen und das Objekt **OBJ** in den Behälter **14b** platzieren, während sie es gegen eine Wand **14W** oder ein anderes Objekt **OBJs** in Richtung des Pfeils A unter der Kraftsteuerung drückt. Dadurch kann die Lücke zwischen den Objekten durch Drücken oder die Andrücksteuerung verkleinert und die Packdichte verbessert werden. Wie in **Fig. 9** dargestellt, kann die Hand **22** durch die Kraftsteuerung so gesteuert werden, dass sie sich entgegengesetzt in Richtung von Pfeil B (abweisende Bewegung) bewegt, wenn die Hand **22** oder das Objekt **OBJ** die Wand **14W** des Behälters **14b** oder eine Seitenfläche der zuvor platzierten Objekte **OBJs** interferiert, während sie sich entlang der Bewegungsbahn **R** bewegt. In der folgenden Ausführungsform kann das Objekthandhabungssystem **1** große Fehler in einem Messwert, der bei der Erstellung eines Platzierungsplans oder eines Bahnplans durch die Kraftsteuerung wie oben beschrieben verwendet wird, eliminieren und die Bewegungsbahn so planen, dass das Objekt **OBJ** auf engem Raum platziert wird.

[0054] Zur effizienten Berechnung der Bewegungsbahn für das Bewegen und Platzieren des Objekts **OBJ** sortiert das Objekthandhabungssystem **1** der Ausführungsform eine mögliche Interferenz mit dem Hindernis, wie beispielsweise der Wand **14W** des Behälters **14b** oder den zuvor platzierten Objekten **OBJs**, in eine vertikale Interferenz und horizontale Interferenz aus. Eine vertikale Interferenz bezieht sich auf die Interferenz zwischen der Unterseite des Objekts **OBJ** und der Oberseite der zuvor platzierten Objekte **OBJs** oder dem oberen Ende des Behälters **14b** als Bewegungsziel im Falle der Bewegung des Objekts **OBJ** in Richtung des Pfeils **R**, bezogen auf die obere Zeichnung von **Fig. 10**. Eine horizontale Interferenz bezieht sich auf die Interferenz zwischen der Seitenfläche des Objekts **OBJ** und der Seitenfläche des zuvor platzierten Objekts **OBJs** oder der Wand **14W** (Innenwand) des Behälters **14b** im Falle der Bewegung des Objekts **OBJ** in Richtung des Pfeils **R**, bezogen auf die obere Zeichnung von **Fig. 11**. Das Objekthandhabungssystem **1** betreibt im Wesentlichen die Hand **22**, um das gegriffene Objekt **OBJ** von oben nach unten zu bewegen oder zu platzieren, sodass die vertikale Interferenz eine Kollision des Objekts **OBJ** bedeutet, die wahrscheinlich das gegriffene Objekt **OBJ** oder die zuvor platzierten Objekt **OBJs** beschädigen würde. In der Zwischenzeit bedeutet die horizontale Interferenz ein Gleiten zwischen den Kontaktflächen, was eine Beschädigung der Objekte **OBJ** und **OBJs** unwahrscheinlich macht. Somit kann sich die Hand **22** durch die abweisende Bewegung wie oben beschrieben kontinuierlich bewegen, um das Objekt unabhängig vom Auftreten der Interferenz zu platzieren.

[0055] Um also die Hand **22**, die das Objekt **OBJ** greift, von der Anfangsposition **HP** zum Bewegungsziel **RP** zu bewegen, klassifiziert der Regioneinsteller **55** des Objekthandhabungssystems **1** der Ausführungsform den Raum zwischen der Anfangsposition **HP** und dem Bewegungsziel **RP** in die erste Region, die zweite Region und die dritte Region mit unterschiedlichen Merkmalen.

[0056] In der ersten Region darf sich die Hand **22** bewegen, ohne durch Hindernisse wie der Wand **14W** des Behälters **14b** oder dem zuvor platzierten Objekt im Raum zwischen der Anfangsposition **HP** und dem sich bewegenden Ziel **RP** eingeschränkt zu sein.

[0057] In der zweiten Region ist die Hand **22** aufgrund von Hindernissen in ihrer Bewegung eingeschränkt. Beispielsweise ist die Hand **22** am Eintritt in das Hindernis oder an der Bewegung von oberhalb nach unterhalb des Hindernisses gehindert. Um eine Interferenz zu vermeiden, ist es der Fingerspitze **TCP** der Hand **22** untersagt, die zweite Region zu durchfahren, während sie sich nach einem Bewegungsbahnplan von oben nach unten bewegt. In der zweiten Region kann die Hand **22** zusätzlich daran gehindert werden, sich von unten nach oben oder seitlich zu bewegen. Die zweite Region kann auf eine Region mit Bewegungsverbot eingestellt werden, in der es der Hand **22** oder dem Objekt **OBJ** verboten ist, in die zweite Region einzutreten oder sich dort zu bewegen.

[0058] Zumindest ein Teil der dritten Region ist unterhalb und angrenzend an die zweite Region eingestellt und umfasst beispielsweise eine erste Steuerregion und eine zweite Steuerregion. In der dritten Region wird die Hand **22** unter der später beschriebenen Kraftsteuerung betrieben. Bei der Einstellung der dritten Region

unterhalb der zweiten Region kann zumindest ein Teil der ersten Region zwischen der zweiten Region und der dritten Region eingestellt werden. Die erste Steuerregion der dritten Region wird unterhalb der zweiten Region entlang des Hindernisses eingestellt und weist einen geringeren Rand in Bezug auf das Hindernis auf als die zweite Region, also eine geringere seitliche Breite als die zweite Region. In der seitlichen Richtung ist die erste Steuerregion vollständig an den Boden der zweiten Region angrenzend angeordnet. Die Hand **22** tritt in die erste Steuerregion von der lateralen Richtung in Bezug auf das Hindernis ein. Anders ausgedrückt, die Einstellung der ersten Steuerregion unterhalb der zweiten Steuerregion verhindert, dass sich das Objekt **OBJ** oder die Hand **22** der ersten Steuerregion von oberhalb der zweiten Region nähert. Außerdem dringt das Objekt **OBJ** oder die Hand **22** in das Innere der ersten Steuerregion ein und nähert sich diesem allein aus der seitlichen Richtung. Die erste Steuerregion liegt seitlich neben dem Hindernis unterhalb der zweiten Region, und die Hand **22** wird unter der Andrücksteuerung der darin befindlichen Kraftsteuerung bedient. Wie in einer zweiten Region **100** kann der Hand **22** grundsätzlich verboten werden, sich in die erste Steuerregion zu bewegen oder in diese einzudringen, beispielsweise von der Aufwärts- zur Abwärtsbewegung. In diesem Fall, wenn ein solches Bewegungs- oder Eindringverbot die Erstellung der Bahn erschwert oder eine erstellte Bahn ineffizient ist, kann der Hand **22** ausnahmsweise gestattet werden, sich in die erste Steuerregion zu bewegen oder in diese einzudringen, unter der Bedingung, dass die Hand **22** unter der Andrücksteuerung betrieben wird.

[0059] Die zweite Steuerregion der dritten Region grenzt an eine Seite der ersten Steuerregion, die dem Hindernis gegenüberliegt, an und dient als Eindringbahn in die erste Steuerregion. Zumindest ein Teil der zweiten Steuerregion auf der Seite der ersten Steuerregion befindet sich unterhalb der zweiten Region. Vorzugsweise befindet sich die gesamte zweite Steuerregion in seitlicher Richtung unterhalb der zweiten Region. In der zweiten Steuerregion wird die Hand **22** unter der Abweisungssteuerung der Kraftsteuerung betrieben. Das heißt, in der zweiten Steuerregion wird die Hand **22** abweisend bedient, um sich von einem interferierenden Hindernis wegzubewegen, das aufgrund einer unterschiedlichen tatsächlichen Größe des von der Hand **22** ge Griffenen Objekts **OBJ** auftritt.

[0060] In der zweiten Steuerregion kann das Verhalten zumindest der Hand **22** eingeschränkt werden, um die Drucksteuerung in der ersten Steuerregion zu ermöglichen. In diesem Fall bezieht sich die Beschränkung auf das Verhalten der Hand **22** in der zweiten Steuerregion beispielsweise auf die Begrenzung der Bewegungsgeschwindigkeit der Hand **22**. In der zweiten Steuerregion wird die Bewegungsgeschwindigkeit der Hand **22** niedriger eingestellt als die Durchlaufgeschwindigkeit in der ersten Region, um ein Umschalten auf die Andrücksteuerung der Kraftsteuerung zum geeigneten Zeitpunkt, also zum Zeitpunkt des Eintritts in die erste Steuerregion, zu ermöglichen. Alternativ dazu kann die dritte Region die zweite Steuerregion ausschließen, in der der Hand **22** unter der Abweisungssteuerung betrieben wird, und sie kann vollständig auf die erste Steuerregion eingestellt werden, in der die Hand **22** unter der Andrücksteuerung betrieben wird.

[0061] Der Regioneinsteller **55** dient dazu, die erste Region, die zweite Region und die dritte Region einschließlich der ersten Steuerregion und der zweiten Steuerregion entsprechend der Objektinformation und der Statusinformation einzustellen, die von den Kameras **32a** und **32b** und den Laser-Entfernungsscannern **33a** und **33b** erfasst werden. Wenn es eine überlappende Region zwischen der zweiten Region und der dritten Region gibt, gibt der Regioneinsteller **55** der dritten Region Priorität und behandelt die überlappende Region als die dritte Region. Wenn eine überlappende Region zwischen der ersten Steuerregion der dritten Region und der zweiten Region gefunden wird, gibt der Regioneinsteller **55** der ersten Steuerregion Priorität und behandelt die überlappende Region als die erste Steuerregion.

[0062] Wenn sich zum Beispiel das Objekt **OBJ** von oben an die zuvor platzierten Objekte **OBJs** entlang der Wand **14W** des Behälters **14b** nähert, wie in der oberen Zeichnung von **Fig. 10** dargestellt, wird die zweite Region **100** in der Nähe der oberen Oberfläche der zuvor platzierten Objekte **OBJs** platziert, wie in der unteren Zeichnung von **Fig. 10** dargestellt. Die Hand **22**, die das Objekt **OBJ** greift, wird entlang der Bewegungsbahn **R** bewegt, um die zweite Region **100** nicht zu passieren, wodurch sichergestellt wird, dass das Objekt **OBJ** nicht mit den Objekten **OBJs** kollidiert. Die untere Zeichnung von **Fig. 11** zeigt ein Beispiel für die Unterteilung einer dritten Region **102** in eine erste Steuerregion **102a** und eine zweite Steuerregion **102b**. In diesem Beispiel bewegt sich die Hand **22**, die das Objekt **OBJ** greift, entlang der Bewegungsbahn **R**, ohne die zweite Region **100** und die erste Steuerregion **102a** zu durchlaufen, um sicherzustellen, dass das Objekt **OBJ** daran gehindert wird, mit den Objekten **OBJs** zu kollidieren. In der unteren Zeichnung von **Fig. 11** wird das Objekt **OBJ** entlang der Bewegungsbahn **R** in X-Richtung bewegt, also nicht von oben nach unten, und tritt beispielsweise in die zweite Region **100** ein. Ferner wird in der unteren Zeichnung von **Fig. 11** die dritte Region **102** einschließlich der ersten Steuerregion **102a** und der zweiten Steuerregion **102b** angrenzend an den Boden der zweiten Region **100** eingestellt, und die andere Region als die zweite Region **100** und die dritte Region **102** wird auf die erste Region **104** eingestellt. Die erste Region **104** wird später beschrieben.

[0063] Unter Bezugnahme auf **Fig. 12** bis **Fig. 23** wird im Folgenden die Einstellung der zweiten Region **100** und der ersten Steuerregion **102a** der dritten Region **102** im Detail beschrieben.

[0064] Zunächst wird unter Bezugnahme auf **Fig. 12** und **Fig. 13** im Folgenden ein Beispiel für die Einstellung einer durchlaufbeschränkten Region für die Fingerspitze **TCP**, also die zweite Region **100**, beschrieben, um eine vertikale Interferenz zu vermeiden, ohne die Größe des gegriffenen Objekts **OBJ** und die Größe der Hand **22** zu berücksichtigen. Das heißt, die Region mit Durchlaufbeschränkung für die Fingerspitze **TCP** wird unter der Annahme eingestellt, dass die Größen des gegriffenen Objekts **OBJ** und der Hand **22** unendlich nahe bei Null liegen. In der Draufsicht auf den Behälter **14b** und dem zuvor platzierten Objekt **OBJs** in **Fig. 12** sind die Orte, an denen eine vertikale Interferenz auftreten kann, die von Ellipsen **C1** umschlossene Wand **14W** des Behälters **14b** und das von einer Ellipse **C2** umschlossene Objekt **OBJs**. In diesem Fall wird die zweite Region **100** (zweite Region **100t₀**) zur Vermeidung von Interferenzen zwischen dem Boden des mit der Hand **22** gegriffenen Objekts **OBJ** und dem oberen Ende der Wand **14W** innerhalb und entlang der Wand **14W** so eingestellt, dass sie einen gegebenen ersten Randwert bzw. Spielraumwert δ_x (X-Richtung) und einen ersten Randwert δ_y (Y-Richtung) einschließt. In ähnlicher Weise ist auf der Oberseite des Objekts **OBJs** die zweite Region **100** (zweite Region **100d₀**) so eingestellt, dass sie die Peripherie des Objekts **OBJs** abdeckt, einschließlich des gegebenen ersten Randwerts δ_x (X-Richtung) und des ersten Randwerts δ_y (Y-Richtung) in Bezug auf das obere Ende des Objekts **OBJs**. **Fig. 13** veranschaulicht die Position der Ellipse **C1** für die Wand **14W**, die Position der Ellipse **C2** für das Objekt **OBJs** und die Positionen der zweiten Region **100t₀**, die auf einen oberen Teil der Wand **14W** eingestellt ist, und der zweiten Region **100d₀**, die auf die Oberseite des Objekts **OBJs** eingestellt ist, in der Seitenansicht des Behälters **14b** und der Objekt **OBJs** in **Fig. 12**. Wie in **Fig. 13** dargestellt, enthalten die zweite Region **100t₀** und die zweite Region **100d₀** einen gegebenen ersten Randwert δ_z entlang der Höhe, also in Z-Richtung. Der gegebene erste Randwert δ_x , der erste Randwert δ_y und der erste Randwert δ_z werden beispielsweise durch Tests voreingestellt.

[0065] Konkret werden zur Vermeidung vertikaler Interferenzen mit jedem zuvor platzierten Objekt **OBJs** die Position und Pose ${}^{TOTE}T_{KeepoutZ,i}$ und die Größe ${}^{TOTE}S_{KeepoutZ,i}$ der Fingerspitze **TCP** in der durchgangsbegrenzten Region durch die folgenden Ausdrücke **6** und **7** berechnet:

$${}^{TOTE}T_{KeepoutZ,i} = \begin{bmatrix} {}^{TOTE}R_{Obstacle,i} & {}^{TOTE}x_{Obstacle,i} & {}^{TOTE}y_{Obstacle,i} & {}^{TOTE}z_{Obstacle,i} + {}^{TOTE}sz_{Obstacle,i} / 2 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (\text{Ausdruck 6})$$

$${}^{TOTE}S_{KeepoutZ,i} = \begin{bmatrix} {}^{TOTE}sx_{Obstacle,i} + 2\delta_x & {}^{TOTE}sy_{Obstacle,i} + 2\delta_y & 2\delta_z \end{bmatrix}^T \quad (\text{Ausdruck 7})$$

wobei ${}^{TOTE}T_{Obstacle,i}$ die Position und Pose des zuvor platzierten Objekts **OBJs** darstellt ($i = 1, \dots, n$: n ist die Anzahl der Objekte **OBJs**) und ${}^{TOTE}S_{Obstacle,i}$ deren Größe darstellt.

[0066] Unter Bezugnahme auf **Fig. 14** und **Fig. 15** wird im Folgenden ein Beispiel für die Einstellung der durchlaufbeschränkten Region für die Fingerspitze **TCP** beschrieben, also die erste Steuerregion **102a** der dritten Region **102**, ohne Berücksichtigung der Größe des gegriffenen Objekts **OBJ** und der Größe der Hand **22**, um eine horizontale Interferenz zu vermeiden. In der Draufsicht auf den Behälter **14b** und dem zuvor platzierten Objekt **OBJs** sind die Orte, an denen eine horizontale Interferenzen auftreten können, die von einer Ellipse **C3** umschlossenen Wände **14W** des Behälters **14b** und das von einer Ellipse **C4** umschlossene Objekt **OBJs**. In diesem Fall wird zur Vermeidung einer Interferenz zwischen der Seitenfläche des mit der Hand gegriffenen Objekts **OBJ 22** und den Innenflächen der Wände **14W** die erste Kontrollregion **102a** (erste Kontrollregion **102aw₀**) innerhalb und entlang der Wände **14W** mit gegebenem zweiten Randwert ε_x (X-Richtung) und zweitem Randwert ε_y (Y-Richtung) eingestellt. In ähnlicher Weise ist auf der Außenfläche des Objekts **OBJs** die erste Steuerregion **102a** (erste Steuerregion **102aow₀**) so eingestellt, dass sie die Seitenfläche des Objekts **OBJs** mit dem vorgegebenen zweiten Randwert ε_x (X-Richtung) und dem zweiten Randwert ε_y (Y-Richtung) in Bezug auf die Außenfläche des Objekts **OBJs** bedeckt. **Fig. 15** veranschaulicht eine Position der Ellipse **C3** für die Wand **14W**, eine Position der Ellipse **C4** für das Objekt **OBJs** und Positionen der ersten Steuerregion **102aw₀**, die auf die Innenfläche der Wand **14W** eingestellt ist, und der ersten Steuerregion **102aow₀**, die auf die Außenfläche des Objekts **OBJs** eingestellt ist, in der Seitenansicht des Behälters **14b** und des Objekts **OBJs** in **Fig. 14**. Wie in **Fig. 15** dargestellt, sind die erste Steuerregion **102aw₀** und die erste Steuerregion

102aow₀ so eingestellt, dass sie einen vorgegebenen zweiten Randwert ε_z entlang der Höhe, also in Z-Richtung, enthalten. Der vorgegebene zweite Randwert ε_x , der zweite Randwert ε_y und der zweite Randwert ε_z sind durch Tests kleiner als der erste Randwert ε_x , der erste Randwert ε_y und der erste Randwert ε_z voreingestellt.

[0067] Konkret werden zur Vermeidung einer horizontalen Interferenz mit jedem zuvor platzierten Objekt **OBJ** die Position und Lage $TOTET_{KeepoutXY,i,j}$ und die Größe $TOTES_{KeepoutXY,i,j}$ der Fingerspitze **TCP** in der Region der Durchlaufbeschränkung durch die folgenden Ausdrücke 8 und 9 berechnet:

$$TOTET_{KeepoutXY,i,j} = \begin{bmatrix} TOTET_{xObstacle,i} + \Delta x \\ TOTET_{yObstacle,i} + \Delta y \\ TOTET_{zObstacle,i} \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\Delta x = \begin{cases} TOTET_{sxObstacle,i} / 2 + \varepsilon_x / 2 & \text{if } j = 3 \\ - \left(TOTET_{sxObstacle,i} / 2 + \varepsilon_x / 2 \right) & \text{if } j = 4 \\ 0 & \text{if } j = 1, 2 \end{cases}$$

$$\Delta y = \begin{cases} TOTET_{syObstacle,i} / 2 + \varepsilon_y / 2 & \text{if } j = 1 \\ - \left(TOTET_{syObstacle,i} / 2 + \varepsilon_y / 2 \right) & \text{if } j = 2 \\ 0 & \text{if } j = 3, 4 \end{cases} \quad (\text{Ausdruck 8})$$

$$TOTES_{KeepoutXY,i,1} = \begin{bmatrix} \varepsilon_x & TOTET_{syObstacle,i} + 2\varepsilon_y & TOTET_{szObstacle,i} + 2\varepsilon_z \end{bmatrix}^T$$

$$TOTES_{KeepoutXY,i,2} = \begin{bmatrix} \varepsilon_x & TOTET_{syObstacle,i} + 2\varepsilon_y & TOTET_{szObstacle,i} + 2\varepsilon_z \end{bmatrix}^T$$

$$TOTES_{KeepoutXY,i,3} = \begin{bmatrix} TOTET_{sxObstacle,i} + 2\varepsilon_x & \varepsilon_y & TOTET_{szObstacle,i} + 2\varepsilon_z \end{bmatrix}^T$$

$$TOTES_{KeepoutXY,i,4} = \begin{bmatrix} TOTET_{sxObstacle,i} + 2\varepsilon_x & \varepsilon_y & TOTET_{szObstacle,i} + 2\varepsilon_z \end{bmatrix}^T \quad (\text{Ausdruck 9})$$

wobei $TOTET_{Obstacle,i}$ die Position und Lage des zuvor platzierten Objekts **OBJS** darstellt ($i = 1, \dots, n$: n ist die Anzahl der Objekte **OBJS**), $TOTES_{Obstacle,i}$ die Größe davon darstellt und $j = 1, 2, 3$ und 4 , wobei der Wert von j die $\pm X$ -Richtung und die $\pm Y$ -Richtung angibt.

[0068] Wie vorstehend beschrieben, kann das Objekt **OBJ**, das sich horizontal nähert, als weniger wahrscheinlich angesehen werden, mit dem Hindernis zu interferieren, als das Objekt **OBJ**, das sich vertikal nähert. Daher können die jeweiligen Randwerte so eingestellt werden, dass $\delta_x > \varepsilon_x$, $\delta_y > \varepsilon_y$ und $\delta_z > \varepsilon_z$.

[0069] Anschließend wird die zweite Region **100** unter Berücksichtigung der Position und der Größe des gegriffenen Objekts **OBJ** berechnet.

[0070] Zunächst werden, wie in **Fig. 16** dargestellt, die Entfernungen (die die Position und die Größe widerspiegeln) von der Fingerspitze **TCP** der Hand **22**, die das Objekt **OBJ** greift, zu den Endflächen des Objekts **OBJ** in X- und Y-Richtung als Δx_{Item-} , Δx_{Item+} , Δy_{Item-} und Δy_{Item+} definiert. Wie in **Fig. 17** dargestellt, wird ein Abstand in Z-Richtung (der die Position und die Größe widerspiegelt) von der Fingerspitze **TCP** der Hand **22** bis zur Unterseite des Objekts **OBJ** als $TOTESZ_{Item}$ definiert.

[0071] In diesem Fall kommt es hinsichtlich der vertikalen Interferenz auf die Unterseite des gegriffenen Objekts **OBJ** an, das mit dem Hindernis interferiert. Was die horizontale Interferenz betrifft, so können die Seitenflächen als nicht interferierend betrachtet werden, wenn der Boden des Objekts **OBJ** nicht mit dem Hindernis interferiert. Das heißt, die zweite Region **100** kann allein unter Berücksichtigung der Position und der Größe des Bodens des Objekts **OBJ** eingestellt werden. Was also die zweite Region **100** unter Berücksichtigung der Position und der Größe des gegriffenen Objekts **OBJ** betrifft, so kann eine zweite Region **100d₁** in X- und Y-Richtung berechnet werden, indem der Rand der zweiten Region **100d₀**, der nicht die Größen des gegriffenen

Objekts **OBJ** und der Hand **22** widerspiegelt, in der X-Richtung um Δx_{Item-} und Δx_{Item+} und in der Draufsicht von **Fig. 18** um Δy_{Item-} und Δy_{Item+} in Y-Richtung erweitert wird. In ähnlicher Weise kann in der Seitenansicht von **Fig. 19** die zweite Region **100d1**, die die Position und die Größe des Objekts **OBJ** widerspiegelt, in Z-Richtung berechnet werden, indem der Rand der zweiten Region **100d0** durch $TOTE_{SZ_{Item}}$ nach oben verbreitert wird.

[0072] Die Position und Pose $TOTE_{T_{KeepoutItem,i}}$ und die Größe $TOTE_{S_{KeepoutItem,i}}$ der zweiten Region **100**, die das gegriffene Objekt **OBJ** widerspiegelt, durch das die Fingerspitze **TCP** nicht durchlaufen darf, werden durch den folgenden Ausdruck 10 und Ausdruck 11 berechnet:

$$TOTE_{T_{KeepoutItem,i}} = \begin{bmatrix} TOTE_{X_{Keepout,i}} - (\Delta x_{Item+} + \Delta x_{Item-}) / 2 \\ TOTE_{Y_{Keepout,i}} - (\Delta y_{Item+} + \Delta y_{Item-}) / 2 \\ TOTE_{Z_{Keepout,i}} + TOTE_{SZ_{Item}} \\ 0 \quad 1 \end{bmatrix} \quad (\text{Ausdruck 10})$$

$$TOTE_{S_{KeepoutItem,i}} = \begin{bmatrix} TOTE_{SX_{Keepout,i}} + (\Delta x_{Item+} - \Delta x_{Item-}) \\ TOTE_{SY_{Keepout,i}} + (\Delta y_{Item+} - \Delta y_{Item-}) \\ TOTE_{SZ_{Keepout,i}} \end{bmatrix} \quad (\text{Ausdruck 11})$$

wobei $TOTE_{T_{Keepout,i}}$ die Position und Pose der zweiten Region **100** darstellt, die durch Ausdruck 6 bis Ausdruck 9 berechnet werden ($i = 1, \dots, n$: n ist die Anzahl der Objekte **OBJS**) und $TOTE_{S_{Keepout,i}}$ deren Größe darstellt. Die Verschiebungsbeträge der Seitenfläche des Objekts **OBJ** von der Fingerspitze **TCP** Δx_{Item-} und Δx_{Item+} in X-Richtung und Δy_{Item-} und Δy_{Item+} in Y-Richtung werden durch den folgenden Ausdruck 12 berechnet:

$$\begin{aligned} \Delta x_{Item+} &= TOTE_{x_{Item}} + TOTE_{SX_{Item}} - TOTE_{x_{RP}} \\ \Delta x_{Item-} &= TOTE_{x_{Item}} - TOTE_{SX_{Item}} - TOTE_{x_{RP}} \\ \Delta y_{Item+} &= TOTE_{y_{Item}} + TOTE_{SY_{Item}} - TOTE_{y_{RP}} \\ \Delta y_{Item-} &= TOTE_{y_{Item}} - TOTE_{SY_{Item}} - TOTE_{y_{RP}} \end{aligned} \quad (\text{Ausdruck 12})$$

wobei $TOTE_{T_{RP}}$ die Position und Pose des Fingerspitzen-TCP bei der Platzierung darstellt, $TOTE_{T_{Item}}$ die Position und Pose der Objekt-OBJS und $TOTE_{S_{Item}}$ die Größe der Objekt-OBJS darstellt.

[0073] Anschließend wird die zweite Region **100** unter Berücksichtigung der Position und der Größe der Hand **22** berechnet, die das Objekt **OBJ** ergreift.

[0074] Zunächst werden, wie in **Fig. 20** und **Fig. 21** dargestellt, X- und Richtungsabstände von der Fingerspitze **TCP** zu den Endflächen der Hand **22** als Δx_{hand-} , Δx_{hand+} , Δy_{hand-} und Δy_{hand+} definiert.

[0075] Wie bei der vertikalen Interferenz des Objekts **OBJ** kommt es auch hier auf die vertikale Interferenz der Unterseite der Hand **22** an. Was die horizontale Interferenz anbelangt, so kann die Seitenfläche der Hand **22** als mit keinem Hindernis interferierend angesehen werden, wenn die Unterseite der Hand **22** ohne Hindernis interferiert. Das heißt, die zweite Region **100** kann allein unter Berücksichtigung der Position und der Größe der Unterseite der Hand **22** festgelegt werden. So kann im Falle der Einstellung der zweiten Region **100** unter Berücksichtigung der Position und der Größe der Hand **22** die zweite Region **100** (zweite Region **100d2**) in X- und Y-Richtung berechnet werden, indem die zweite Region **100d0**, die die Position und die Größe des Objekts **OBJ** widerspiegelt, um die Ränder Δx_{hand-} und Δx_{hand+} in X-Richtung und Δy_{hand-} und Δy_{hand+} in Y-Richtung erweitert wird, wie in **Fig. 22** und **Fig. 23** dargestellt.

[0076] In diesem Fall werden die Position und Pose $TOTE_{T_{KeepoutHand,i}}$ und die Größe $TOTE_{S_{KeepoutHand,i}}$ der zweiten Region **100**, die unter Berücksichtigung der Hand **22**, durch die die Fingerspitze **TCP** nicht passieren darf, durch den folgenden Ausdruck 13 und Ausdruck 14 berechnet.

$${}^{TOTE}T_{KeepoutHand,i} = \begin{bmatrix} {}^{TOTE}R_{Keepout,i} & {}^{TOTE}x_{Keepout,i} + (\Delta x_{Hand+} + \Delta x_{Hand-}) / 2 & {}^{TOTE}y_{Keepout,i} + (\Delta y_{Hand+} + \Delta y_{Hand-}) / 2 & {}^{TOTE}z_{Keepout,i} \\ 0 & & & 1 \end{bmatrix}$$

(Ausdruck 13)

$${}^{TOTE}S_{KeepoutHand,i} = \begin{bmatrix} {}^{TOTE}s_{x_{Keepout,i}} + (\Delta x_{Hand+} - \Delta x_{Hand-}) \\ {}^{TOTE}s_{y_{Keepout,i}} + (\Delta y_{Hand+} - \Delta y_{Hand-}) \\ {}^{TOTE}s_{z_{Keepout,i}} \end{bmatrix} \quad (\text{Ausdruck 14})$$

wobei ${}^{TOTE}T_{Keepout,i}$ die Position und Pose der zweiten Region **100** darstellt, durch die der Fingerspitzen-TCP nicht passieren darf, festgelegt durch Ausdruck 6 bis Ausdruck 9 ($i = 1, \dots, n$: n ist die Anzahl der Objekte **OBJs**), und ${}^{TOTE}S_{Keepout,i}$ deren Größe darstellt.

[0077] Die Positionen der Seitenflächen eines umschreibenden rechteckigen Parallelepipeds der Hand **22** ab der Fingerspitze **TCP** werden durch Δx_{Hand-} und Δx_{Hand+} in X-Richtung und Δy_{Hand-} und Δy_{Hand+} in Y-Richtung dargestellt und durch den folgenden Ausdruck 15 berechnet:

$$\begin{aligned} \Delta x_{Hand+} &= {}^{TOTE}x_{Hand} + {}^{TOTE}s_{x_{Hand}} - {}^{TOTE}x_{RP} \\ \Delta x_{Hand-} &= {}^{TOTE}x_{Hand} - {}^{TOTE}s_{x_{Hand}} - {}^{TOTE}x_{RP} \\ \Delta y_{Hand+} &= {}^{TOTE}y_{Hand} + {}^{TOTE}s_{y_{Hand}} - {}^{TOTE}y_{RP} \\ \Delta y_{Hand-} &= {}^{TOTE}y_{Hand} + {}^{TOTE}s_{y_{Hand}} - {}^{TOTE}y_{RP} \end{aligned} \quad (\text{Ausdruck 15})$$

wobei der umschreibende rechteckige Parallelepiped senkrecht und parallel zum Koordinatensystem des Behälters **14b** ist, der ein Bewegungsziel ist, ${}^{TOTE}T_{RP}$ die Position und Pose der Fingerspitze **TCP** an der Platzierungsposition darstellt, ${}^{TOTE}T_{Hand}$ die Position und Pose des umschreibenden rechteckigen Parallelepipeds der Hand **22** darstellt und ${}^{TOTE}S_{Hand}$ dessen Größe darstellt.

[0078] Die zweite Region **100** (zweite Region **100d1**), die das von der Hand **22** gegriffene Objekt **OBJ** widerspiegelt, und die zweite Region **100** (zweite Region **100d2**), die die Hand **22** widerspiegelt, können miteinander kombiniert werden, um eine eindeutige zweite Region **100** zu erstellen oder zu berechnen.

[0079] Im Folgenden wird die Einstellung der zweiten Steuerregion **102b** der dritten Region **102** beschrieben. Wie vorstehend beschrieben, nähern sich das Objekt **OBJ** und die Hand **22** aufgrund der zweiten Region **100** oberhalb und angrenzend an die erste Steuerregion **102a** nicht aus vertikaler Richtung oder von oben an die erste Steuerregion **102a** der dritten Region **102** an, sondern nähern sich dort aus horizontaler Richtung oder seitlich an. Wenn in der zweiten Steuerregion **102b** der dritten Region **102** das Objekt **OBJ** oder die Hand **22** das Hindernis interferiert oder kontaktiert, kann verhindert werden, dass das Objekt **OBJ** und die Hand **22** unter der Abweisungssteuerung der Kraftsteuerung beschädigt werden. Bei der Abweisungssteuerung wird die Kraft, die auf das Objekt **OBJ** und die Hand **22** wirkt, genau gesteuert und der Messwert des Kraftsensors **31** wird dorthin zurückgeführt, um keine abrupte äußere Kraft auszuüben, wodurch sich das Objekt **OBJ** und die Hand **22** dem Hindernis mit einer geringeren Geschwindigkeit nähern.

[0080] In der Zwischenzeit umfasst die Andrücksteuerung der Kraftsteuerung in der ersten Steuerregion **102a** die erste Andrücksteuerung und die zweite Andrücksteuerung. Die erste Andrücksteuerung ist an der Wand **14W** oder der Seitenfläche des zuvor platzierten Objekts **OBJs** durchzuführen, während sich das Objekt **OBJ** bewegt. Die zweite Andrücksteuerung ist für das Objekt **OBJ** zur Platzierung am Bewegungsziel **RP** durchzuführen. Die erste Andrücksteuerung ermöglicht es dem Objekt **OBJ**, in der ersten Steuerregion **102a** einzutreten, indem der Rand der ersten Steuerregion **102a** auf im wesentlichen Null eingestellt wird, indem die Bewegungsbahn in einem kleinen Raum wie oben beschrieben erzeugt wird. Bei der ersten Andrücksteuerung wird das Objekt **OBJ** also gegen die Oberfläche der Wand **14W** in einer im wesentlichen orthogonalen Richtung gedrückt, beispielsweise durch eine Andrückkraft von einem bestimmten Schwellenwert oder weniger bei einer

Bewegungsgeschwindigkeit von einem bestimmten Schwellenwert darunter, die als erste Andrückbedingung definiert sind. Die Druckkraft mit einem bestimmten Schwellenwert oder weniger und die Bewegungsgeschwindigkeit mit einem bestimmten Schwellenwert oder weniger können durch Tests in Übereinstimmung mit einem Typ, einer Form, einem Material oder einem Widerstand des Objekts **OBJ** vorbestimmt werden.

[0081] Die zweite Andrücksteuerung besteht darin, die Hand **22** zu veranlassen, sich langsam von schräg oben an die erste Steuerregion **102a** anzunähern, um das Objekt **OBJ** am Bewegungsziel **RP** zu platzieren, indem der Rand der ersten Steuerregion **102a** wie oben beschrieben im Wesentlichen auf Null eingestellt wird. So wird bei der zweiten Andrücksteuerung das Objekt **OBJ** gegen die Seitenfläche des Objekts **OBJs** oder die Oberfläche der Wand **14W** gedrückt, beispielsweise mit einer Bewegungsgeschwindigkeit von einem bestimmten Schwellenwert oder weniger bei einem bestimmten Annäherungswinkel, die als zweite Andrückbedingung definiert sind. Der gegebene Annäherungswinkel und die Bewegungsgeschwindigkeit des gegebenen Schwellenwertes können durch Tests in Übereinstimmung mit einem Typ, einer Form, einem Material oder einem Widerstand des Objekts **OBJ** vorbestimmt werden.

[0082] Wie vorstehend beschrieben, wird die zweite Steuerregion **102b** seitlich neben die erste Steuerregion **102a** gegenüber dem Hindernis eingestellt. Die zweite Steuerregion **102b** ist Teil der dritten Region **102**, in der die Kraftsteuerung durchgeführt wird, und die Abweisungssteuerung der Kraftsteuerung wird in der zweiten Steuerregion **102b** durchgeführt. In der zweiten Steuerregion **102b** dürfen sich das Objekt **OBJ** und die Hand **22** unter der Abweisungssteuerung auch dann noch bewegen, wenn eine Interferenz mit dem Hindernis festgestellt wird. In der zweiten Steuerregion **102b** kann zumindest das Verhalten der Hand **22** eingeschränkt werden, um sich auf die Andrücksteuerung in der ersten Steuerregion **102a** vorzubereiten. In diesem Fall bezieht sich die Verhaltensbegrenzung auf die Hand **22** beispielsweise auf die Begrenzung der Bewegungsgeschwindigkeit auf diejenige, die niedriger ist (z.B. 1/2 oder 1/3) als die in der ersten Steuerregion **104**.

[0083] Bei der Abweisungssteuerung der Kraftsteuerung bewegt sich die Hand **22**, die das Objekt **OBJ** greift, während der Messwert des Kraftsensors **31** auf das Objekt **OBJ** und die Hand **22** zurückgeführt wird. Bei der Abweisungssteuerung wird die Hand **22** so gesteuert, dass sie sich der Wand **14W** oder der Seitenfläche des Objekts **OBJs** mit der Bewegungsgeschwindigkeit des gegebenen Schwellenwerts oder weniger nähert und sich von der Kontaktfläche wegbewegt, bevor eine wesentliche Reaktionskraft auftritt, also beim Erkennen eines Kontakts. Beispielsweise kann die Hand **22** entlang einer berechneten Bewegungsbahn, die nicht mit dem Hindernis interferiert, aufgrund eines Messfehlers des Sensors **30** mit der Wand **14W** oder der Seitenfläche des Objekts **OBJs** in Kontakt kommen. In einem solchen Fall kann der Messfehler durch die Abweisungssteuerung eliminiert werden, wodurch vermieden werden kann, dass die Hand **22** oder das Objekt **OBJ** durch eine Kollision mit der Wand **14W** oder der Seitenfläche des Objekts **OBJs** beschädigt wird.

[0084] Unter Bezugnahme auf **Fig. 24** und **Fig. 25** wird im Folgenden ein Beispiel für die Einstellung der zweiten Region **100**, der zweiten Steuerregion **102b** der dritten Region **102** und der ersten Region **104** und die Einstellung der Bewegungsbahn **R** der Hand **22** (oder der Fingerspitze **TCP**) in Bezug auf den Behälter **14b** als Bewegungsziel **RP** beschrieben.

[0085] In **Fig. 24** werden die zweite Region **100** und die erste Steuerregion **102a** der dritten Region **102** in den Behälter **14b** eingestellt, in dem das Objekt **OBJs** platziert wurde, und die zweite Steuerregion **102b** wird unterhalb der zweiten Region **100** und seitlich neben der ersten Steuerregion **102a** gegenüber dem Hindernis eingestellt, wie mit Bezug auf **Fig. 12** bis **Fig. 23** dargestellt. Die andere Region als die zweite Region **100** und die dritte Region **102** einschließlich der ersten Steuerregion **102a** und der zweiten Steuerregion **102b** ist auf die erste Region **104** eingestellt, in der die Hand **22**, die das Objekt **OBJ** greift, nicht in ihrer Bewegung eingeschränkt ist, sondern sich mit einer relativ hohen Geschwindigkeit bewegen kann.

[0086] Im Beispiel von **Fig. 24** liegt die erste Region **104** zwischen der zweiten Region **100** in Bezug auf das Objekt **OBJs** und der zweiten Region **100** in Bezug auf die Wand **14W** des Behälters **14b**, und die Hand **22**, die das Objekt **OBJ** greift, ist darin relativ frei beweglich. In **Fig. 24** bewegt sich die Hand **22** (Fingerspitze **TCP**) in der ersten Region **104** mit hoher Geschwindigkeit vertikal nach unten von den Durchgangspunkten **RAP[1]** bis **RAP[0]**, und die Fingerspitze **TCP** tritt in die zweite Steuerregion **102b** der dritten Region **102** ein. In der zweiten Steuerregion **102b** wird die Hand **22**, die das Objekt **OBJ** greift, mit der Bewegungsgeschwindigkeit des gegebenen Schwellenwerts durch die Abweisungssteuerung bewegt, während der gemessene Wert des Kraftsensors **31** zurückgeführt wird. Unter der Abweisungssteuerung wird die Hand **22** beispielsweise so gesteuert, dass sie sich der Wand **14W** oder der Seitenfläche des Objekts **OBJ** nähert und einen Kontakt erkennt, bevor eine wesentliche Reaktionskraft auftritt, um das Objekt **OBJ** von der Kontaktfläche wegzubewegen. Die Hand **22** kann mit einer geringeren Geschwindigkeit als in der ersten Region **104** auf **RAP[1]** bewegt werden,

um sich auf das sanfte Umschalten auf die Andrücksteuerung in der zweiten Steuerregion **102b** ohne Verzögerung vorzubereiten, damit sie sich sanft auf das Bewegungsziel **RP** in der ersten Steuerregion **102a** neben der Seitenfläche des Objekts **OBJs** zu bewegt. In der ersten Steuerregion **102a** zwischen **RAP[1]** und dem Bewegungsziel **RP** wird die Hand **22** unter der zweiten Andrücksteuerung bewegt, wodurch die zweite Andrückbedingung erfüllt wird. Auf diese Weise kann das Objekthandhabungssystem **1** oder die Objekthandhabungsvorrichtung die Bewegungsbahn **R**, die Bewegungsgeschwindigkeit und andere Bewegungseigenschaften in Bezug auf die erste Region **104**, die zweite Region **100** und die dritte Region **102** einschließlich der ersten Steuerregion **102a** und der zweiten Steuerregion **102b** bestimmen, wodurch das Objekt **OBJ** schnell und genau zum oder am Bewegungsziel **RP** bewegt oder platziert wird, ohne Schaden anzurichten.

[0087] Fig. 25 zeigt ein Beispiel dafür, dass die zweite Region **100** in Bezug auf das Objekt **OBJs** nahe an der ersten Steuerregion **102a** in Bezug auf die Wand **14W** des Behälters **14b** liegt, ohne dass sich dazwischen eine erste Region **104** befindet. In Fig. 25 bewegt sich die Hand **22** oder die Fingerspitze **TCP** vertikal nach unten mit hoher Geschwindigkeit von **RAP[1]** zu **RAP[0]** in der ersten Region **104**. Die Fingerspitze **TCP** tritt dann in die zweite Steuerregion **102b** ein und bewegt sich durch **RAP[1]**, **RAP[2]** und **RAP[3]** mit einer Vorbereitungsgeschwindigkeit, die niedriger ist als in der ersten Region **104**. Die Hand **22** wird unter der zweiten Andrücksteuerung zwischen **RAP[3]** und dem Bewegungsziel **RP** bewegt, wodurch die zweite Andrückbedingung erfüllt wird. Auch in diesem Fall kann das Objekthandhabungssystem **1** oder die Objekthandhabungsvorrichtung die Bewegungsbahn **R**, die Bewegungsgeschwindigkeit und andere Bewegungseigenschaften in Bezug auf die erste Region **104**, die zweite Region **100** und die zweite Steuerregion **102b** bestimmen. Infolgedessen kann das Objekthandhabungssystem **1** oder die Objekthandhabungsvorrichtung das Objekt **OBJ** so schnell und genau wie möglich zum oder am Bewegungsziel **RP** bewegen oder platzieren, ohne Schaden anzurichten, obwohl das Durchlaufen der zweiten Steuerregion **102b** eine längere Zeit in Anspruch nimmt als in Fig. 24.

[0088] Um die Bewegungsbahn **R**, wie in Fig. 24 und Fig. 25 vorstehend beschrieben, festzulegen, ist es vorzuziehen, die Stellen, an denen die Bewegungsbahn mit der zweiten Region **100** interferiert oder diese kontaktiert, genau zu kennen. Wenn also die zweite Region **100** im Behälter **14b** eingestellt ist, erzeugt der Bahnrechner **56** eine Höhenliste (Z-Richtung) für die Interferenzprüfung. Die Höhe, auf der die Interferenz geprüft wird, kann als Höhe der Ober- und Unterseite der zweiten Region **100** definiert werden, wie in Fig. 26 dargestellt. Fig. 26 zeigt beispielhafte Höhen für die Interferenzprüfung, wenn der Behälter **14b** das zuvor platzierte Objekt **OBJs** enthält und die zweite Region **100** und die erste Steuerregion **102a** der dritten Region **102** unter Bezugnahme auf Fig. 12 bis Fig. 23 eingestellt werden.

[0089] Konkret kann die Höhenliste für die Interferenzprüfung $TOTE_{Z_{Check,j}}$ ($j = 1 \dots, 2n$) durch den folgenden Ausdruck 16 berechnet werden:

$$\begin{aligned} TOTE_{Z_{Check,2i-1}} &= TOTE_{Z_{Keepout,i}} - TOTE_{SZ_{Keepout,i}} / 2 \\ TOTE_{Z_{Check,2i}} &= TOTE_{Z_{Keepout,i}} + TOTE_{SZ_{Keepout,i}} / 2 \end{aligned} \quad (\text{Ausdruck 16})$$

wobei $TOTE_{Z_{Keepout,i}}$ die Position und Pose der zweiten Region **100** darstellt, durch die der Fingerspitzen-TCP nicht passieren darf ($i = 1 \dots, n$), und $TOTE_{SZ_{Keepout,i}}$ die Größe davon darstellt.

[0090] Die Höhenliste für die Interferenzprüfung $TOTE_{Z_{Check,j}}$ enthält die Höhen in aufsteigender Reihenfolge von einer niedrigsten Höhe, wie beispielsweise H1 bis H4.

[0091] Im Folgenden wird die Berechnung der Fingerspitzenposition **TCP** zur Vermeidung der zweiten Region **100**, in der die Hand **22** am Durchlaufen gehindert wird, beschrieben. Die Hand **22**, die das Objekt **OBJ** ergreift, folgt der Bewegungsbahn **R**, um von oben in den Behälter **14b** einzudringen, jedoch werden beispielsweise zum Zeitpunkt der Planung der Bewegungsbahn **R** die Durchgangspunkte auf der Bewegungsbahn **R** durch Rückrechnung vom Bewegungsziel **RP** auf eine Eingangsposition eingestellt. Fig. 27 zeigt ein Beispiel dafür, wie das mit der Hand **22** gegriffene Objekt **OBJ** in engen Kontakt mit der rechten Seitenfläche des zuvor platzierten Objekts **OBJs** in engen Kontakt mit der Wand **14W** des Behälters **14b** gebracht wird. Nach der vorliegenden Ausführungsform wird in der anfänglichen Durchgangspunkt-Berechnungsroutine die schräg nach oben versetzte Position vom Bewegungsziel **RP** auf **RAP[0]** eingestellt. Um das Objekt **OBJ** in engen Kontakt mit dem zuvor platzierten Objekt **OBJs** oder der Wand **14W** zu bringen, wird die zweite Andrücksteuerung durchgeführt. In diesem Fall nähert sich beispielsweise das Objekt **OBJ** dort von schräg oben, um nahtlos in engen Kontakt damit treten zu können. Vor diesem Hintergrund wird der Versatzbetrag durch Tests voreingestellt. Zum Beispiel kann der Versatzbetrag, also **RAP[0]**, so eingestellt werden, dass sich das Objekt **OBJ** aus der Höhe von 20 mm um 45 Grad annähert.

[0092] Als nächstes wird ein nächster Durchgangspunkt von **RAP[0]** als Anfangsdurchgangsposition oder -pose festgelegt. In diesem Fall extrahiert der Bahnrechner **56** die zweite Region **100** auf jeder der Höhen für die Interferenzprüfung, die unter Bezugnahme auf **Fig. 26** beschrieben wird. Nachdem festgestellt wurde, dass die zweite Region **100** einen Teil der Bahn von **RAP[0]** in Richtung direkt darüber einschließt, berechnet der Bahnrechner **56** Durchgangspunkte, um die zweite Region **100** zu vermeiden, was als Vermeidung von Durchgangspunkten bezeichnet wird. Ein Umgehungs-Durchgangspunkt wird auf einen Punkt eingestellt, der dem **RAP[0]** in einer Region am nächsten liegt, die nicht in der zweiten Region **100** enthalten ist. **Fig. 28** veranschaulicht ein Beispiel für die Berechnung der Vermeidung-Durchgangspunkte.

[0093] Zunächst werden unter den Scheitelpunkten der zweiten Region **100** die Scheitelpunkte, die nicht in einer anderen zweiten Region **100** enthalten sind, als Kandidaten für die Vermeidungsposition Ps definiert (in **Fig. 28** vier Eckpunkte der zweiten Region **100**). Dabei können die zu den Kandidaten für Vermeidungspositionen hinzuzufügenden Apexes $TOTE_{t_{AvoidCorner,i,j}}$ ($j = 1, 2, 3, 4$) der zweiten Region **100** durch den folgenden Ausdruck 17 berechnet werden:

$$\begin{aligned}
 TOTE_{t_{AvoidCorner,i,1}} &= \begin{bmatrix} TOTE_{x_{Keepout,1}} - TOTE_{sx_{Keepout,i}} / 2 \\ TOTE_{y_{Keepout,1}} - TOTE_{sy_{Keepout,i}} / 2 \\ TOTE_{z_{Keepout,i}} \end{bmatrix} \\
 TOTE_{t_{AvoidCorner,i,2}} &= \begin{bmatrix} TOTE_{x_{Keepout,1}} + TOTE_{sx_{Keepout,i}} / 2 \\ TOTE_{y_{Keepout,1}} - TOTE_{sy_{Keepout,i}} / 2 \\ TOTE_{z_{Keepout,i}} \end{bmatrix} \\
 TOTE_{t_{AvoidCorner,i,3}} &= \begin{bmatrix} TOTE_{x_{Keepout,1}} + TOTE_{sx_{Keepout,i}} / 2 \\ TOTE_{y_{Keepout,1}} - TOTE_{sy_{Keepout,i}} / 2 \\ TOTE_{z_{Keepout,i}} \end{bmatrix} \\
 TOTE_{t_{AvoidCorner,i,4}} &= \begin{bmatrix} TOTE_{x_{Keepout,1}} + TOTE_{sx_{Keepout,i}} / 2 \\ TOTE_{y_{Keepout,1}} + TOTE_{sy_{Keepout,i}} / 2 \\ TOTE_{z_{Keepout,i}} \end{bmatrix} \quad (\text{Ausdruck 17})
 \end{aligned}$$

wobei $TOTE_{T_{Keepout,i}}$ die Position und Pose der zweiten Region **100** darstellt, durch die der Fingerspitzen-TCP nicht passieren darf ($i = 1, \dots, n$), und $TOTE_{S_{Keepout,i}}$ die Größe davon darstellt.

[0094] Anschließend werden zwischen Schnittpunkten zwischen den jeweiligen Seiten der zweiten Region **100** und Geraden, die sich in X- und Y-Richtung von einer Vorvermeidungsposition, also $TOTE_{t_{RAP[0]}}$ in **Fig. 28**, aus erstrecken, Schnittpunkte, die nicht in einer weiteren zweiten Region **100** enthalten sind, zusätzlich als Kandidaten für die Vermeidungsposition Ps eingestellt. Die hinzuzufügenden Kandidaten für die Vermeidungsposition $TOTE_{t_{AvoidParallel,i,j}}$ ($j = 1, 2, 3, 4$) können durch den folgenden Ausdruck 18 berechnet werden:

$$\begin{aligned}
{}^{TOTE}t_{AvoidParallel,i,1} &= \begin{bmatrix} {}^{TOTE}x_{Keepout,1} - {}^{TOTE}s_{x_{Keepout,i}} / 2 \\ {}^{TOTE}y_{RAP[0]} \\ {}^{TOTE}z_{Keepout,i} \end{bmatrix} \\
{}^{TOTE}t_{AvoidParallel,i,2} &= \begin{bmatrix} {}^{TOTE}x_{Keepout,1} + {}^{TOTE}s_{x_{Keepout,i}} / 2 \\ {}^{TOTE}y_{RAP[0]} \\ {}^{TOTE}z_{Keepout,i} \end{bmatrix} \\
{}^{TOTE}t_{AvoidParallel,i,3} &= \begin{bmatrix} {}^{TOTE}x_{RAP[0]} \\ {}^{TOTE}y_{Keepout,1} - {}^{TOTE}s_{y_{Keepout,i}} / 2 \\ {}^{TOTE}z_{Keepout,i} \end{bmatrix} \\
{}^{TOTE}t_{AvoidParallel,i,4} &= \begin{bmatrix} {}^{TOTE}x_{RAP[0]} \\ {}^{TOTE}y_{Keepout,1} + {}^{TOTE}s_{y_{Keepout,i}} / 2 \\ {}^{TOTE}z_{Keepout,i} \end{bmatrix}
\end{aligned} \quad (\text{Ausdruck 18})$$

[0095] ${}^{TOTE}t_{AvoidCorner,i,j}$, berechnet durch Ausdruck 17, und ${}^{TOTE}t_{AvoidParallel,i,j}$, berechnet durch Ausdruck 18, werden kombiniert, um eine Vermeidungspositionskandidatenliste ${}^{TOTE}t_{AvoidAll,i}$ festzulegen. In dieser Kandidatenliste wird der Punkt, der der Position ${}^{TOTE}t_{RAP[0]}$ (Vor-Vermeidungsposition) von **RAP[0]** am nächsten liegt, als Vermeidungsposition ${}^{TOTE}t_{Avoid}$ definiert. Die Vermeidungsposition ${}^{TOTE}t_{Avoid}$ kann durch den folgenden Ausdruck 19 berechnet werden:

$$\begin{aligned}
{}^{TOTE}t_{Avoid} &= {}^{TOTE}t_{AvoidAll,j} \\
j &= \arg \min_j \| {}^{TOTE}t_{AvoidAll,i} - {}^{TOTE}t_{RAP[0]} \| \quad (\text{Ausdruck 19})
\end{aligned}$$

[0096] Anschließend prüft der Bahnrechner **56**, ob die in **Fig. 28** berechnete lineare Bewegungsbahn, die ${}^{TOTE}t_{Avoid}$ und die in **Fig. 27** eingestellte **RAP[0]** verbindet, die zweite Region **100** durchläuft. Nachdem festgestellt wurde, dass die Bewegungsbahn die zweite Region **100** durchläuft, berechnet der Bahnrechner **56** die Ausweichposition für die zweite Region **100** erneut durch das in **Fig. 28** beschriebene Verfahren. **Fig. 29** bis **Fig. 31** veranschaulichen Beispiele für spezifische Verfahren.

[0097] In **Fig. 29** wird zum Beispiel eine Gerade von einem vorherigen **RAP[0]**, der Punkt **P1** ist, verlängert und ein Schnittpunkt zwischen der Geraden und der zweiten Region **100** wird als neuer **RAP[0]**, der Punkt **P2** ist, definiert. Die Gerade, die sich vom Punkt **P2** nach oben erstreckt, um die zweite Region **100** zu vermeiden, schneidet sich mit der zweiten Region **100** in einem Punkt **Pb** am unteren Ende der oberen zweiten Region **100**. In der Vor-Vermeidungsposition, die der Punkt **Pb** ist, kann ein Endpunkt **Pc** der zweiten Region **100** die Vermeidungsposition sein, um eine Überschneidung mit der zweiten Region **100** zu vermeiden. In diesem Fall jedoch verläuft die Gerade, die den Punkt **P2** und den Punkt **Pc** verbindet, durch die untere zweite Region **100**. Daher wird, wie in **Fig. 30** dargestellt, der Punkt **Pb**, an dem sich die Verbindungsgerade zwischen dem Punkt **P2** und dem Punkt **Pc** mit dem oberen Ende der unteren zweiten Region **100** schneidet, auf eine neue Vorvermeidungsposition eingestellt. In diesem Fall kann ein Endpunkt **P3** der zweiten Region **100** die Vermeidungsposition sein, um eine Überschneidung mit der zweiten Region **100** zu vermeiden. Das heißt, eine Ausweichbahn verläuft vom Punkt **P2** zum Punkt **P3**. Wie in **Fig. 31** dargestellt, wird die vorherige Vermeidungsposition, also der Punkt **Pc** am unteren Ende der oberen zweiten Region **100**, auf einen Punkt **P4** korrigiert, und der Punkt **P3** wird mit dem Punkt **P4** verbunden. In **Fig. 31** schneidet sich die vom Punkt **P4** nach oben verlaufende Gerade nicht mit der zweiten Region **100**. Damit ist die Ausweichbahn abgeschlossen. Mit anderen Worten, die Bewegungsbahn, die die Punkte **P1**, **P2**, **P3** und **P4** verbindet, ist abgeschlossen.

[0098] Im Folgenden wird die vorstehende Bearbeitung näher beschrieben. Es kann festgestellt werden, ob es einen Schnittpunkt zwischen einem Liniensegment $L_{RAP[0],Avoid}$, das die Position ${}^{TOTE}t_{RAP[0]}$ von **RAP[0]** und die Ausweichposition ${}^{TOTE}t_{Avoid}$ verbindet, und der Ober- und Unterseite jeder zweiten Region **100** gibt. Die Z-

Koordinaten ${}^{TOTE}Z_{KeepoutTop,i}$ und ${}^{TOTE}Z_{KeepoutBottom,i}$ der Ober- und Unterseite jeder zweiten Region **100** können durch den Ausdruck 20 berechnet werden:

$$\begin{aligned} {}^{TOTE}z_{KeepoutTop,i} &= {}^{TOTE}z_{Keepout,i} + {}^{TOTE}sz_{Keepout,i} / 2 \\ {}^{TOTE}z_{KeepoutBottom,i} &= {}^{TOTE}z_{Keepout,i} - {}^{TOTE}sz_{Keepout,i} / 2 \end{aligned} \quad (\text{Ausdruck 20})$$

wobei ${}^{TOTE}T_{Keepout,i}$ die Position und Pose der zweiten Region **100** darstellt, durch die der Fingerspitzen-TCP nicht passieren darf ($i = 1, \dots, n$), und ${}^{TOTE}S_{Keepout,i}$ die Größe davon darstellt.

[0099] Damit sich das Liniensegment $L_{RAP[0],Avoid}$ mit ${}^{TOTE}Z_{KeepoutTop,i}$ und ${}^{TOTE}Z_{KeepoutBottom,i}$ schneidet, muss mindestens der folgende Ausdruck 21 erfüllt sein:

$$\begin{aligned} {}^{TOTE}z_{RAP[0]} &< {}^{TOTE}z_{KeepoutTop,i} \\ {}^{TOTE}z_{zKeepoutBottom,i} &< {}^{TOTE}z_{Avoid} \end{aligned} \quad (\text{Ausdruck 21})$$

[0100] Die Koordinaten ${}^{TOTE}t_{CrossTop,i}$ und ${}^{TOTE}t_{CrossBottom,i}$ des Liniensegments $L_{RAP[0],Avoid}$ bei ${}^{TOTE}Z_{KeepoutTop,i}$ und ${}^{TOTE}Z_{KeepoutBottom,i}$ können durch den folgenden Ausdruck 22 berechnet werden:

$$\begin{aligned} {}^{TOTE}t_{CrossTop,i} &= \begin{bmatrix} {}^{TOTE}x_{RAP[0]} + \frac{{}^{TOTE}x_{Avoid} - {}^{TOTE}x_{RAP[0]}}{{}^{TOTE}z_{Avoid} - {}^{TOTE}z_{RAP[0]}} ({}^{TOTE}z_{KeepoutTop,i} - {}^{TOTE}z_{RAP[0]}) \\ {}^{TOTE}y_{RAP[0]} + \frac{{}^{TOTE}y_{Avoid} - {}^{TOTE}y_{RAP[0]}}{{}^{TOTE}z_{Avoid} - {}^{TOTE}z_{RAP[0]}} ({}^{TOTE}z_{KeepoutTop,i} - {}^{TOTE}z_{RAP[0]}) \\ {}^{TOTE}z_{KeepoutTop,i} \end{bmatrix} \\ {}^{TOTE}t_{CrossBottom,i} &= \begin{bmatrix} {}^{TOTE}x_{RAP[0]} + \frac{{}^{TOTE}x_{Avoid} - {}^{TOTE}x_{RAP[0]}}{{}^{TOTE}z_{Avoid} - {}^{TOTE}z_{RAP[0]}} ({}^{TOTE}z_{KeepoutBottom,i} - {}^{TOTE}z_{RAP[0]}) \\ {}^{TOTE}y_{RAP[0]} + \frac{{}^{TOTE}y_{Avoid} - {}^{TOTE}y_{RAP[0]}}{{}^{TOTE}z_{Avoid} - {}^{TOTE}z_{RAP[0]}} ({}^{TOTE}z_{KeepoutBottom,i} - {}^{TOTE}z_{RAP[0]}) \\ {}^{TOTE}z_{KeepoutBottom,i} \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (\text{Ausdruck 22})$$

[0101] Diese Schnittpunkte ${}^{TOTE}t_{CrossTop,i}$ und ${}^{TOTE}Z_{CrossBottom,i}$, die die durch den folgenden Ausdruck 23 dargestellte Bedingung erfüllen, sind in der zweiten Region **100** enthalten:

$$\begin{aligned} {}^{TOTE}x_{Keepout,i} - {}^{TOTE}sx_{Keepout,i} / 2 &< {}^{TOTE}x_{CrossTop,i} < {}^{TOTE}x_{Keepout,i} + {}^{TOTE}sx_{Keepout,i} / 2 \\ {}^{TOTE}y_{Keepout,i} - {}^{TOTE}sy_{Keepout,i} / 2 &< {}^{TOTE}y_{CrossTop,i} < {}^{TOTE}y_{Keepout,i} + {}^{TOTE}sy_{Keepout,i} / 2 \\ &\text{or} \\ {}^{TOTE}x_{Keepout,i} - {}^{TOTE}sx_{Keepout,i} / 2 &< {}^{TOTE}x_{CrossBottom,i} < {}^{TOTE}x_{Keepout,i} + {}^{TOTE}sx_{Keepout,i} / 2 \\ {}^{TOTE}y_{Keepout,i} - {}^{TOTE}sy_{Keepout,i} / 2 &< {}^{TOTE}y_{CrossBottom,i} < {}^{TOTE}y_{Keepout,i} + {}^{TOTE}sy_{Keepout,i} / 2 \end{aligned} \quad (\text{Ausdruck 23})$$

[0102] Wenn festgestellt wird, dass sich das Liniensegment $L_{RAP[0],Avoid}$ mit der zweiten Region **100** schneidet, werden die Koordinaten des Liniensegments $L_{RAP[0],Avoid}$ auf einer Mindesthöhe der Höhen ${}^{TOTE}Z_{KeepoutTop,i}$

und $\text{TOTEZ}_{\text{KeepoutBottom},i}$ der Ober- oder Unterseite der sich schneidenden zweiten Region **100** auf eine neue Vorvermeidungsposition eingestellt. Die Vermeidungsposition wird durch das unter Bezugnahme auf **Fig. 28** beschriebene Verfahren berechnet.

[0103] Zur Berechnung der Bewegungsbahn durch das vorstehend beschriebene Verfahren in einem kleinen Raum zum Bewegungsziel **RP** kann der Durchgangspunkt unter Berücksichtigung des Erfassungsfehlers des Sensors **30** (der Kamera **32b** und der Laserentfernungsscanner **33a** und **33b**) unter Umständen nicht mit dem eingestellten Rand erzeugt werden. In diesem Fall wird in der Ausführungsform, wie in **Fig. 32** und **Fig. 33** dargestellt, das Objekt **OBJ** durch die Kraftsteuerung gegen die Wand **14W** des Behälters **14b**, der ein Bewegungsziel ist, oder gegen die Seitenfläche des zuvor platzierten Objekts **OBJs** gedrückt, um den Erfassungsfehler zu eliminieren, um zumindest einen Teil der Bewegungsbahn zum Bewegungsziel **RP** ohne eingestellten Rand zu berechnen. In **Fig. 32** und **Fig. 33** überschneidet sich die zweite Region **100**, die für das zuvor platzierte Objekt **OBJs** eingestellt wurde, teilweise mit der dritten Region **102** (erste Kontrollregion **102a**), die für die Wand **14W** eingestellt wurde. Infolgedessen kann sich, wie in **Fig. 32** dargestellt, die Hand **22**, die das Objekt **OBJ** greift, nicht dem Bewegungsziel **RP** nähern. In einem solchen Fall gibt der Bahnrechner **56** der ersten Steuerregion **102a** den Vorrang und behandelt die überlappende Region als die erste Steuerregion **102a**. Das heißt, wie in **Fig. 33** dargestellt, wird das Objekt **OBJ** gegen die Wand **14W** des Behälters **14b** in Richtung des Pfeils **D** gedrückt, also im wesentlichen orthogonal zur Wand **14W** unter der ersten Andrücksteuerung der Kraftsteuerung, und das Objekt **OBJ** durchläuft die zweite Region **100** (erste Steuerregion **102a**) entlang der Bewegungsbahn **R**. Um sich in diesem Fall unter der Kraftsteuerung in der zweiten Region **100** (erste Steuerregion **102a**) zu bewegen, verhält sich die Hand **22** zumindest in der ersten Andrücksteuerung und erfüllt die erste Andrückbedingung, beispielsweise mit der Bewegungsgeschwindigkeit eines gegebenen Schwellenwertes oder weniger durch die Andrückkraft eines gegebenen Schwellenwertes oder weniger, zum Zeitpunkt des Durchlaufs durch die erste Steuerregion **102a** der dritten Region **102**. Dadurch wird verhindert, dass das Objekt **OBJ** eine durch die Andrücksteuerung verursachte externe Kraft mehr als nötig aufnimmt. Konkret wird wie in der zweiten Region die Hand **22** grundsätzlich daran gehindert oder verboten, die erste Steuerregion **102a** zu durchlaufen, in der die Andrücksteuerung durchgeführt wird, und in die erste Steuerregion **102a** dürfen das Objekt **OBJ** und die Hand **22** ausnahmsweise nur unter der Andrücksteuerung durchlaufen. In einem solchen Fall kann, wenn es eine überlappende Region zwischen der zweiten Region **100** und der ersten Steuerregion **102a** gibt, der ersten Steuerregion **102a** Priorität eingeräumt und auf die erste Steuerregion **102a** eingestellt werden, um die Bahn der mit der Andrücksteuerung betriebenen Hand **22** zu erzeugen.

[0104] **Fig. 34** zeigt ein beispielhaftes Verfahren zur Entscheidung über die Andrückrichtung in der Andrücksteuerung in der ersten Steuerregion **102a** der dritten Region **102**. Zunächst erzeugt der Bahnrechner **56** eine Region mit Durchlaufbeschränkung, wobei der Rand in X-Richtung (**S200**) ignoriert wird. Nach erfolgreicher Berechnung der Ausweichposition durch Ignorieren des Randes in X-Richtung (Ja bei **S202**) setzt der Bahnrechner **56** die X-Richtung auf die Andrückrichtung (**S204**) und beendet das Verfahren vorübergehend. Bei **S202** erzeugt der Bahnrechner **56**, nachdem die Berechnung der Ausweichposition fehlgeschlagen ist (Nein bei **S202**), eine Region mit Durchlaufbeschränkung, wobei der Rand in Y-Richtung ignoriert wird (**S206**). Nach erfolgreicher Berechnung der Ausweichposition durch Ignorieren des Randes in Y-Richtung (Ja bei **S208**), setzt der Bahnrechner **56** die Y-Richtung auf die Andrückrichtung (**S210**) und beendet das Verfahren vorübergehend.

[0105] Nachdem die Berechnung der Ausweichposition bei **S208** fehlgeschlagen ist (Nein bei **S208**), erzeugt der Bahnrechner **56** eine Region mit Durchlaufbeschränkung, wobei die Ränder in X- und Y-Richtung ignoriert werden (**S212**). Nachdem die Berechnung der Ausweichposition durch Ignorieren der Ränder in X- und Y-Richtung (Ja bei **S214**) erfolgreich war, setzt der Bahnrechner **56** die X- und Y-Richtung auf Andrückrichtungen (**S216**) und beendet das Verfahren vorübergehend. Nachdem die Berechnung der Ausweichposition bei **S214** fehlgeschlagen ist (Nein bei **S214**), schließt der Bahnrechner **56** das Bewegungsziel **RP**, an dem das Objekt **OBJ** platziert werden soll, von den Standortkandidaten für die Freigabe des Objekts **OBJ** in **S218** aus. In diesem Fall setzt der Bahnrechner **56** das Bewegungsziel **RP** an einer anderen Position und berechnet die Bewegungsbahn des Objekts **OBJ** dazu neu.

[0106] Um die Region mit Durchlaufbeschränkung (zweite Region **100**) unter Ignorierung des Randes in X- oder Y-Richtung zu erzeugen, kann die Gleichung $\delta_x = \sigma_x = 0$ oder $\delta_y = \sigma_y = 0$ zum Zeitpunkt der Einstellung der zweiten Region **100** aufgestellt werden, die unter Bezugnahme auf **Fig. 12** bis **Fig. 23** beschrieben wird. Im Falle des Andrückens des Objekts nur in X-Richtung als Beispiel wird die Position und Pose der erzeugten durchlaufbebeschränkten Region (zweite Region **100**), für die $\delta_x = \sigma_x = 0$ gilt, als $\text{TOTE}_{\text{KeepoutPressX},i}$ ($i = 1, \dots, n$) und ihre Größe als $\text{TOTES}_{\text{KeepoutPressX},i}$ definiert. Unter Bezugnahme auf **Fig. 35** wird im Folgenden ein spezieller Arbeitsablauf zur Erzeugung der Durchgangspunkte in der Andrücksteuerung beschrieben.

[0107] Wie in der Zeichnung auf der linken Seite von **Fig. 35** dargestellt, sucht der Bahnrechner **56** zunächst nach einer möglichen Andrückposition **PP** auf der Höhe der Fingerspitze **TCP** in der Vorvermeidungsposition, die der Punkt **Pb** ist. Um nach einer Andrückfläche zu suchen, setzt der Bahnrechner **56** beide Richtungsänderer auf Null, also $\delta_x = \sigma_x = \delta_y = \sigma_y = \delta_z = \sigma_z = 0$, wenn die zweite Region **100**, die mit Bezug auf **Fig. 12** bis **Fig. 23** beschrieben wird, eingestellt wird. Durch Ignorieren der Ränder kann der Bahnrechner **56** eine Region erzeugen, in der die Hand **22** oder das gegriffene Objekt **OBJ** tatsächlich das zuvor platzierte Objekt **OBJS** oder die Wand **14W** des Behälters **14b** als Bewegungsziel berührt. Die auf diese Weise erzeugte Region wird als Kontaktregion bezeichnet. Die Position und Pose dieser Region ist definiert als $T_{Contact,i}^{TOTE}$ ($i = 1, \dots, n$), und ihre Größe ist definiert als $S_{Contact,i}^{TOTE}$. Wenn das Objekt nur in X-Richtung gedrückt wird, kann die X-Koordinate $T_{ContactX,j}^{TOTE}$ ($j = 1, \dots, 2n$) einer zur X-Achse senkrechten Seite zwischen den Seiten der Kontaktregion durch den folgenden Ausdruck 24 berechnet werden:

$$\begin{aligned} T_{ContactX,2i-1}^{TOTE} &= T_{Contact,i}^{TOTE} - S_{Contact,i}^{TOTE} / 2 \\ T_{ContactX,2i}^{TOTE} &= T_{Contact,i}^{TOTE} + S_{Contact,i}^{TOTE} / 2 \end{aligned} \quad (\text{Ausdruck 24})$$

[0108] Aus den berechneten X-Koordinaten wird die X-Koordinate einer Ebene, die in einer Region mit den gleichen Y- und Z-Koordinaten wie die Vorvermeidungsposition **Pb** ($= T_{RAP[0]}^{TOTE}$) enthalten ist, extrahiert und mit den Y- und Z-Koordinaten von $T_{RAP[0]}^{TOTE}$ kombiniert, um sie auf eine mögliche Andrückposition **PP** ($= T_{PressX,i}^{TOTE}$) einzustellen.

[0109] Anschließend sucht der Bahnrechner **56**, wie in der mittleren Zeichnung von **Fig. 35** dargestellt, die mögliche Andrückposition **PP** in einer Höhe ph zur Interferenzprüfung neben der Höhe der Fingerspitze **TCP** in der Vorvermeidungsposition **Pb**. Wie in **Fig. 26** dargestellt, sind die Höhen ph in der Höhenliste für die Interferenzprüfung in aufsteigender Reihenfolge aufgeführt. Das heißt, wenn die Interferenzprüfhöhe ph , bei der die Vorvermeidungsposition **Pb** berechnet wird, als $T_{Check,i}^{TOTE}$ definiert ist, ist die nächsthöhere Höhe ph als $T_{Check,i+1}^{TOTE}$ definiert. Diese Position wird als Referenz zu der möglichen Pressposition ($= T_{PressX,i}^{TOTE}$) nach dem gleichen Verfahren wie in der Zeichnung auf der linken Seite von **Fig. 35** hinzugefügt.

[0110] Aus den gefundenen möglichen Andrückpositionen **PP** $= T_{PressX,i}^{TOTE}$ in der linken und mittleren Zeichnung von **Fig. 35** extrahiert der Bahnrechner **56** einen Satz von zwei Positionen mit gleichen X- und Y-Koordinaten und unterschiedlichen Z-Koordinaten, der als Andrückfläche **PT** definiert ist. Wenn zwei oder mehr Andrückflächen **PT** extrahiert werden, wird eine Fläche, die der Vorvermeidungsposition **Pb** ($= T_{RAP[0]}^{TOTE}$) am nächsten liegt, als Andrückfläche **PT** gewählt. Das obere Ende der ausgewählten Andrückfläche **PT** wird als $T_{PressX+}^{TOTE}$ und das untere Ende als $T_{PressX-}^{TOTE}$ definiert.

[0111] Wie in der Zeichnung auf der rechten Seite von **Fig. 35** dargestellt, setzt der Bahnrechner **56** als nächstes, wie in der Zeichnung auf der rechten Seite von **Fig. 35** dargestellt, eine Andrück-Bereitschaftsposition **Pr**, eine Andrück-Startposition P_{start} und eine Andrück-Endposition P_{end} entlang der ausgewählten Andrückfläche **PT** und fügt sie zu den Durchgangspunkten der sich bewegenden Bahn **R** hinzu.

[0112] In der Andrück-Startposition P_{start} drückt die Hand **22** bis zum Erreichen eines Kraft-Sollwertes weiter, und die Andrück-Startposition kann auf das obere Ende $T_{PressX+}^{TOTE}$ der in der mittleren Zeichnung von **Fig. 35** berechneten Andrückfläche eingestellt werden. Die Andrück-Endposition P_{end} stellt eine Zielposition dar, zu der sich die Hand **22** von der Andrück-Startposition P_{start} aus bewegt, während sie weiter drückt, und kann auf das untere Ende $T_{PressX-}^{TOTE}$ der in der Mittelzeichnung von **Fig. 35** berechneten Andrückfläche eingestellt werden.

[0113] Die Andrück-Bereitschaftsposition **Pr** befindet sich mit einem Rand von der Andrückfläche entfernt, damit die Hand **22** sich zur Andrück-Startposition P_{start} bewegen kann. Die X-Richtung der Andrück-Bereitschaftsposition **Pr** kann von der Andrück-Startposition P_{start} in Richtung der Vorvermeidungsposition **Pb** ($= T_{RAP[0]}^{TOTE}$) verlaufen. Deren Z-Richtung kann um den Rand vertikal nach oben versetzt werden. In diesem Fall kann die Andrück-Bereitschaftsposition **Pr** $= T_{PressXApp}^{TOTE}$, durch Ausdruck 25 berechnet werden:

$${}^{TOTE}t_{PressXApp} = \left[\begin{array}{c} {}^{TOTE}x_{PressX} + {}^{TOTE}x_{PressMargin} \times \text{sign}\left({}^{TOTE}t_{RAP[0]} - {}^{TOTE}t_{PressX+}\right) \\ {}^{TOTE}y_{PressX+} \\ {}^{TOTE}z_{PressX} + {}^{TOTE}z_{PressMargin} \end{array} \right]$$

(Ausdruck 25)

wobei ${}^{TOTE}x_{PressMargin}$ eine positive Randwerte in X-Richtung darstellt und ${}^{TOTE}z_{pressMargin}$ eine positive Randwerte in Z-Richtung darstellt.

[0114] Wenn die Fläche der Andrückfläche **PT** gleich oder kleiner als ein gegebener Schwellenwert in Bezug auf die Andrückfläche des Objekts **OBJ** ist, also wenn die Kontaktfläche zwischen der Andrückfläche des Objekts **OBJ** und der Andrückfläche des Hindernisses kleiner als ein Kontaktschwellenwert ist, wird die Andrücksteuerung (Kraftsteuerung) nicht durchgeführt. In diesem Fall kann die Hand **22** während des Andrückens aufgrund einer unzureichenden Kontaktfläche die Greifpose des Objekts **OBJ** verändern, oder das Objekt **OBJ** kann beschädigt oder verformt werden, wenn es mit externer Kraft angedrückt wird. In einem solchen Fall ändert der Bahnrechner **56** das Bewegungsziel **RP** und berechnet die Bewegungsbahn **R** neu, um das Andrücken nicht gewaltsam zu steuern.

[0115] Im Folgenden wird ein Beispiel für die Erzeugung der Durchgangspunkte auf der Bewegungsbahn des Objekts **OJB** oder Hand **22** beschrieben, nachdem der Regioneinsteller **55** die Region in dem wie vorstehend konfigurierten Objekthandhabungssystem **1** oder der Objekthandhabungsvorrichtung unter Bezugnahme auf das Flussdiagramm in **Fig. 36** eingestellt hat. **Fig. 37** ist ein beispielhaftes und schematisches Erklärungsdiagramm, das die Positionen der erzeugten Durchgangspunkte auf der Bewegungsbahn veranschaulicht. **Fig. 37** ist eine Kombination eines Teils der vorstehenden Zeichnungen zum besseren Verständnis der Erzeugung der Durchgangspunkte. Der Einfachheit halber werden in **Fig. 37** nur die zweite Region **100** und die erste Steuerregion **102a** der dritten Region **102** dargestellt.

[0116] Zunächst berechnet der Regioneinsteller **55** die durchlaufbeschränkte Region für den Fingerspitzen-TCP, also die zweite Region **100** (**S300**). Wie in (a) von **Fig. 37** dargestellt, erfasst der Regioneinsteller **55** beispielsweise die Form des Behälters **14b**, die Position der Wand **14W**, die Position, Größe und Abmessungen des zuvor platzierten Objekts **OBJs** im Behälter **14b** basierend auf der Statusinformation, die auf Bildern basiert, die von der Kamera **32b** erzeugt und beispielsweise vom Bildprozessor **52** erfasst wurden. Der Regioneinsteller **55** berechnet dann die zweite Region **100** und die erste Steuerregion **102a** der dritten Region **102** gemäß den unter Bezugnahme auf **Fig. 12** bis **Fig. 23** beschriebenen Verfahren. Der Regioneinsteller **55** berechnet oder stellt die dritte Region **102** einschließlich der ersten Steuerregion **102a** und der zweiten Steuerregion **102b** und die erste Region **104** zusammen mit der zweiten Region **100** ein.

[0117] Anschließend stellt der Bahnrechner **56** in (b) von **Fig. 37** die schräg nach oben versetzte Position vom Bewegungsziel **RP** als Anfangsdurchlaufpunkt **RAP[0]** der erzeugten Bewegungsbahn **R** ein, wie unter Bezugnahme auf **Fig. 27** (**S302**) beschrieben. Der Bahnrechner **56** berechnet die Höhenliste für die Interferenzprüfung, wie unter Bezugnahme auf **Fig. 26** (**S304**) beschrieben.

[0118] Der Bahnrechner **56** führt wiederholt den folgenden Betrieb durch, um die Durchgangspunkte nacheinander festzusetzen. Das bedeutet, dass der Bahnrechner **56** nacheinander die Durchgangspunkte nach den unter Bezugnahme auf **Fig. 27** bis **Fig. 35** beschriebenen Verfahren bestimmt. Zunächst berechnet der Bahnrechner **56**, wie in (c) von **Fig. 37** dargestellt, eine lineare Bahn vom anfänglich eingestellten Durchgangspunkt **RAP[0]** in Richtung direkt darüber (**S306**) und bestimmt, ob ein Teil der linearen Bahn in das Gebiet mit Durchlaufbeschränkung (zweite Region **100**) einbezogen ist (**S308**). Nach der Bestimmung, dass ein Teil der linearen Bahn in der Region mit Durchlaufbeschränkung (zweite Region **100**) enthalten ist (Ja bei **S308**), wie in (d) von **Fig. 37** dargestellt, berechnet der Bahnrechner **56** die Durchgangspunkte zur Umgehung der Region mit Durchlaufbeschränkung (zweite Region **100**) gemäß dem vorstehend unter Bezugnahme auf **Fig. 28** (**S310**) beschriebenen Verfahren. (d) von **Fig. 37** illustriert den nächsten berechneten Durchgangspunkt.

[0119] Nachdem es nicht gelungen ist, neue Durchgangspunkte (Nr. bei **S312**) zu berechnen, berechnet der Bahnrechner **56** die Umgehung der Durchgangspunkte in der Drucksteuerung (**S314**), wie unter Bezugnahme auf **Fig. 32** und **Fig. 33** beschrieben. Nach erfolgreicher Berechnung der Durchgangspunkte bei **S312** (Ja bei **S312**) oder der Berechnung der Umgehung von Durchgangspunkten bei **S314** addiert der Bahnrechner **56** die berechneten Durchgangspunkte in **RAP[]** von oben nach unten, wie in (d) von **Fig. 37** beschrieben.

(S316). Beispielsweise führt der Bahnrechner **56** die Nummerierung der Durchgangspunkte so durch, dass der jüngste Durchgangspunkt auf **RAP[0]** eingestellt wird. Der Bahnrechner **56** prüft dann die Interferenz, um herauszufinden, ob die Bewegungsbahn **R** einschließlich des neuesten Durchgangspunkts die zweite Region **100** (S318) interferiert, und kehrt zu **S306** zurück, um nach dem nächsten Durchgangspunkt zu suchen, (e) von **Fig. 37** zeigt ein Beispiel dafür, dass die Bahn vom neuesten Durchgangspunkt **RAP[0]** in Richtung direkt darüber, die berechnet wird, um den nächsten Durchgangspunkt zu suchen, die zweite Region **100** interferiert, was eine Berechnung der Umgehung des Durchgangspunkts erfordert.

[0120] (f) von **Fig. 37** veranschaulicht eine jüngste berechnete Umgehung des Durchgangspunktes **RAP[0]**. Der Bahnrechner **56** wiederholt die Verarbeitung von **S306**, um den nächsten Durchgangspunkt zu berechnen. Nachdem festgestellt wurde, dass ein Teil der linearen Bahn in Richtung direkt darüber nicht in der Region mit Durchlaufbeschränkung (zweite Region **100**) bei **S308** (Nein bei **S308**) enthalten ist, beendet der Bahnrechner **56** vorübergehend das Verfahren. Das heißt, es gibt keine interferierende zweite Region **100**, die bei der Erstellung der Bewegungsbahn **R** gefunden wurde. In diesem Fall wird, wie in (f) von **Fig. 37** dargestellt, zum Beispiel die Unterkante des zuvor platzierten Objekts **OBJs** auf das Bewegungsziel **RP** eingestellt. Der anfänglich eingestellte Durchgangspunkt in (b) von **Fig. 37** ist **RAP[3]**. Der nächste berechnete Durchgangspunkt ist **RAP[2]**. Der nächste berechnete Durchgangspunkt ist **RAP[1]**, und der neueste Durchgangspunkt ist **RAP[0]**. Das heißt, die Hand **22**, die das Objekt **OBJ** greift, nähert sich dem Behälter **14b** von oben durch die Durchgangspunkte **RAP[0]**, **RAP[1]**, **RAP[2]** und **RAP[3]**, um entlang der erstellten Bewegungsbahn **R** schnell am Bewegungsziel **RP** anzukommen und das Objekt **OBJ** zu platzieren, ohne mit dem Hindernis zu interferieren.

[0121] Obwohl im Flussdiagramm in **Fig. 36** nicht dargestellt, stellt der Bahnrechner **56**, nachdem er bei der Berechnung der Umgehung über den Punkt in der Andrücksteuerung bei **S314** versagt hat, fest, dass das Objekt **OBJ** nicht zum ursprünglich festgelegten Bewegungsziel **RP** bewegt oder an diesem platziert werden kann, und generiert die Bewegungsbahn **R** zu einem anderen Bewegungsziel **RP**, wobei er dem Flussdiagramm folgt.

[0122] Im vorstehenden Beispiel wird die zweite Region **100** auf die Oberseite der Objekt **OBJs** eingestellt. Wenn die Objekte jedoch übereinander platziert werden können, kann die Oberseite des zuvor platzierten Objekts **OBJs** auf eine andere Region eingestellt werden, die sich von der zweiten Region **100** unterscheidet, um die Bewegungsbahn **R** zu erzeugen, die eine Stapelplatzierung ermöglicht. Der Bahnrechner **56** kann die einzustellende Region in Abhängigkeit von einer Platzierungsbedingung am Bewegungsziel **RP** entsprechend ändern.

[0123] Wie vorstehend beschrieben, umfasst das Objekthandhabungssystem **1** oder die Objekthandhabungsvorrichtung der Ausführungsform die Hand **22**, Informationserfasser wie den Bildprozessor **52** und den Signalprozessor **53**, den Regioneinsteller **55**, den Bahnrechner **56** und die Robotersteuerung **57** (Bewegungssteuerung). Die Hand **22** kann das Objekt **OBJ** greifen. Die Informationserfasser wie der Bildprozessor **52** und der Signalprozessor **53** erfassen mindestens die Objektinformation, die das von der Hand **22** gegriffene Objekt **OBJ** darstellt, und die Statusinformation, die die Anfangsposition **HP** und das Bewegungsziel **RP** des Objekts **OBJ** darstellt. Der Regioneinsteller **55** stellt die erste Region **104**, die zweite Region **100** und die dritte Region **102** in Übereinstimmung mit der Objektinformation und der Statusinformation ein. In der ersten Region **104** darf sich die Hand **22**, die das Objekt **OBJ** greift, bewegen, ohne durch das Hindernis (den Behälter **14b** oder das zuvor platzierte Objekt **OBJs**) eingeschränkt zu werden, das sich in dem Raum zwischen der Anfangsposition **HP** und dem Bewegungsziel **RP** befindet. In der zweiten Region **100** wird die Hand **22** durch das Vorhandensein des Hindernisses in ihrer Bewegung eingeschränkt. Die dritte Region **102** ist zumindest teilweise unterhalb der zweiten Region **100** eingestellt, und in der dritten Region **102** wird die Hand **22** unter der Kraftsteuerung betrieben. Der Bahnrechner **56** berechnet die Bewegungsbahn **R**, entlang der das Objekt **OBJ** von der Anfangsposition **HP** zum Bewegungsziel **RP** bewegt wird, unter Bezugnahme auf die erste Region **104**, die zweite Region **100** und die dritte Region **102**. Die Robotersteuerung **57** steuert den Manipulator **20**, um die Hand **22**, die das Objekt **OBJ** greift, entlang der Bewegungsbahn **R** zu bewegen.

[0124] Wie vorstehend konfiguriert, kann das Objekthandhabungssystem **1** oder die Objekthandhabungsvorrichtung eine Kollision mit dem Hindernis vermeiden, die andernfalls zu einer Beschädigung der Hand **22** oder des von der Hand **22** gegriffenen Objekts **OBJ** führen würde, und die Bewegungsbahn **R** für einen kleinen Raum erzeugen, um das Objekt **OBJ** effizient und sicher zu bewegen. Das heißt, das Objekthandhabungssystem **1** oder die Objekthandhabungsvorrichtung kann die Packdichte der Objekte **OBJ** im Behälter **14b** leicht maximieren und so die Transportkosten reduzieren. Darüber hinaus kann das Objekthandhabungssystem **1** oder die Objekthandhabungsvorrichtung das Objekt **OBJ** unter Verwendung der ersten Region **104** mit einer höheren Geschwindigkeit bewegen und das Objekt **OBJ** sicher bewegen, ohne mit der zweiten Region **100**

zu interferieren, unter Verwendung der dritten Region **102**, wodurch die Transfer- oder Platzierungseffizienz (Transferzyklus) des Objekts **OBJ** verbessert wird.

[0125] Als zweite Region **100** kann der Regioneinsteller **55** des Objekthandhabungssystems **1** oder der Objekthandhabungsvorrichtung die zweite Region **100** einstellen, in der die Hand **22** daran gehindert wird, sich von oben nach unten dem Hindernis zu nähern, und die erste Steuerregion **102a** mit dem kleineren Rand als die zweite Region **100** in Bezug auf das Hindernis. Die erste Steuerregion **102a** wird entlang des Hindernisses unterhalb der zweiten Region **100** eingestellt, und darin wird die Hand **22** daran gehindert, sich dem Hindernis von der seitlichen Richtung her zu nähern. Dank dieser Konfiguration kann die zweite Region **100** leicht in Übereinstimmung mit dem Objekt **OBJ** oder der Bedienung der Hand **22** eingestellt werden.

[0126] Der Regioneinsteller **55** des Objekthandhabungssystems **1** oder der Objekthandhabungsvorrichtung kann die zweite Steuerregion **102b** neben der ersten Steuerregion **102a** auf der gegenüberliegenden Seite des Hindernisses einstellen. Dank dieser Konfiguration kann die zweite Steuerregion **102b** leicht eingestellt werden, so dass die Hand **22** angemessen unter der Andrücksteuerung in der ersten Steuerregion **102a** der dritten Region **102** arbeiten kann.

[0127] Als Kraftsteuerung kann das Objekthandhabungssystem **1** oder die Objekthandhabungsvorrichtung die erste Andrücksteuerung unter der ersten Andrückbedingung durchführen, um das Objekt **OBJ** im wesentlichen orthogonal gegen die Oberfläche des Hindernisses zu drücken, wenn die Hand **22** die erste Steuerregion **102a** entlang der vom Bahnrechner **56** berechneten Bewegungsbahn **R** durchlaufen soll. In diesem Fall kann das Objekthandhabungssystem **1** oder die Objekthandhabungsvorrichtung eine weitere Bewegungsbahn **R** erzeugen, entlang der das Objekt **OBJ** bewegt werden kann, ohne beschädigt zu werden, nachdem die Erzeugung der Bewegungsbahn aufgrund der zweiten Region **100** fehlgeschlagen ist.

[0128] Als Kraftsteuerung kann das Objekthandhabungssystem **1** oder die Objekthandhabungsvorrichtung unter der zweiten Andrückbedingung die zweite Andrücksteuerung in der ersten Steuerregion **102a** durchführen, um das Objekt **OBJ** gegen den Rand einer Platzierungsregion einschließlich des Bewegungsziels **RP** zu drücken, um das Objekt **OBJ** darin entlang der vom Bahnrechner **56** berechneten Bewegungsbahn **R** zu positionieren. Dank dieser Konfiguration kann das Objekthandhabungssystem **1** oder die Objekthandhabungsvorrichtung das Objekt **OBJ** in engen Kontakt mit der Wand **14W** des Behälters **14b** oder dem zuvor platzierten Objekt **OBJs** bringen. Ferner kann verhindert werden, dass das Objekt **OBJ** oder die Hand **22** beschädigt wird.

[0129] Als Kraftsteuerung kann das Objekthandhabungssystem **1** oder die Objekthandhabungsvorrichtung die Abweisungssteuerung über die Hand **22** ausführen, die das Objekt **OBJ** in Kontakt mit dem Hindernis in der zweiten Steuerregion **102b** entlang der Bewegungsbahn **R** greift, um die Hand **22** so zu steuern, dass sie das Objekt **OBJ** abweisend von der Oberfläche des Hindernisses entfernt und durch dieses hindurch bewegt. In diesem Fall kann das Objekthandhabungssystem **1** oder die Objekthandhabungsvorrichtung den Messfehler im Sensor **30**, falls er auftritt, eliminieren und verhindern, dass das Objekt **OBJ** und die Hand **22** mit der Wand **14W** oder der Seitenfläche des Objekts **OBJs** kollidieren und beschädigt werden.

[0130] Die Ausführungsformen haben ein Beispiel für die Unterteilung der dritten Region **102** in die erste Steuerregion **102a** und die zweite Steuerregion **102b** beschrieben, jedoch darf die dritte Region **102** nicht in die erste Steuerregion **102a** und die zweite Steuerregion **102b** unterteilt werden, sondern muss als eine Region festgelegt werden. In diesem Fall wird in der dritten Region **102**, in der die Kraftsteuerung durchgeführt wird, entweder die Andrücksteuerung oder die Abweisungssteuerung der Kraftsteuerung durchgeführt. Alternativ kann in der gesamten dritten Region **102** eine Kombination der Andrücksteuerung und der Abweisungssteuerung durchgeführt werden, so dass die Andrücksteuerung und die Abweisungssteuerung in Übereinstimmung mit einem erfassten Wert beispielsweise des Kraftsensors **31** geschaltet werden.

[0131] Bei der ersten Andrücksteuerung kann der Bahnrechner **56** des Objekthandhabungssystems **1** oder der Objekthandhabungsvorrichtung nicht die Kraftsteuerung durchführen, sondern das Bewegungsziel **RP** ändern und die Bewegungsbahn **R** neu berechnen, wenn die Kontaktfläche zwischen der Andrückfläche des Objekts **OBJ** und der Andrückfläche des Hindernisses kleiner als ein Kontaktschwellenwert ist. Aufgrund einer unzureichenden Kontaktfläche kann die Hand **22**, die das Objekt **OBJ** greift, ihre Greifpose ändern, oder das Objekt **OBJ** kann eine externe Kraft erhalten und beschädigt oder verformt werden. In Anbetracht dessen ändert der Bahnrechner **56** das Bewegungsziel **RP** und berechnet die Bewegungsbahn **R** neu, um die Andrücksteuerung nicht gewaltsam durchzuführen.

[0132] Das Objekthandhabungsverfahren der Ausführungsform umfasst die Erfassung mindestens der Objektinformation, die das mit der Hand **22** gegriffene Objekt **OBJ** darstellt, und der Statusinformation, die die Anfangsposition **HP** und das Bewegungsziel **RP** des Objekts **OBJ** darstellt. Das Objekthandhabungsverfahren umfasst ferner, wenn sich die Hand **22**, die das Objekt **OBJ** greift, von der Anfangsposition **HP** zum Bewegungsziel **RP** bewegt, das Einstellen der ersten Region **104**, in dem die Hand **22** sich bewegen darf, ohne durch das im Raum zwischen der Anfangsposition **HP** und dem Bewegungsziel **RP** vorhandene Hindernis eingeschränkt zu sein, der zweiten Region **100**, in dem die Hand **22** aufgrund des Vorhandenseins des Hindernisses in ihrer Bewegung eingeschränkt ist, und der dritten Region **102**, in dem die Hand **22** unter der Kraftsteuerung betrieben wird, in Übereinstimmung mit der Objektinformation und der Statusinformation. Das Objekthandhabungsverfahren umfasst auch die Berechnung der Bewegungsbahn **R**, entlang der das Objekt **OBJ** von der Anfangsposition **HP** zum Bewegungsziel **RP** unter Bezugnahme auf die erste Region **104**, die zweite Region **100** und die dritte Region **102** bewegt wird. Das Objekthandhabungsverfahren umfasst ferner die Bewegung der Hand **22**, die das Objekt **OBJ** entlang der Bewegungsbahn **R** greift.

[0133] Nach einem solchen Verfahren kann die Bewegungsbahn **R** in einem kleinen Raum erzeugt werden, während eine Kollision mit dem Hindernis vermieden wird, die andernfalls die Hand **22** oder das von der Hand **22** gegriffene Objekt **OBJ** beschädigen würde, wodurch es möglich wird, das Objekt **OBJ** effizient und sicher zu bewegen. Dies kann leicht zu einer Maximierung der Packdichte der Objekte **OBJ** im Behälter **14b** führen, wodurch die Transportkosten gesenkt werden können. Darüber hinaus kann die Hand **22** unter Verwendung der ersten Region **104** mit einer höheren Geschwindigkeit bewegt und unter Verwendung der dritten Region **102** sicher bewegt werden, ohne die zweite Region **100** zu interferieren, was eine Verbesserung der Bewegungs- und Platzierungseffizienz (Transferzyklus) der Objekte **OBJ** ermöglicht.

[0134] Ein Handhabungsprogramm, das von der Objekthandhabungsvorrichtung der Ausführungsform ausgeführt wird, wird aufgezeichnet und in einem installierbaren oder ausführbaren Dateiformat in einer Halbleiterspeichervorrichtung, wie beispielsweise einer CD-ROM, einem USB-Speicher und einer SSD, oder auf einem computerlesbaren Aufzeichnungsmedium, wie beispielsweise einer Digital Versatile Disc (DVD), bereitgestellt.

[0135] Das Handhabungsprogramm, das von der Objektbehandlungsvorrichtung der Ausführungsform ausgeführt wird, kann in einem Computer gespeichert und bereitgestellt werden, der mit einem Netzwerk wie dem Internet verbunden ist, indem es über das Netzwerk heruntergeladen wird. Das von der Objektbehandlungsvorrichtung der Ausführungsform ausgeführte Handhabungsprogramm kann über ein Netzwerk wie das Internet zur Verfügung gestellt oder verteilt werden. Darüber hinaus kann das Handhabungsprogramm, das von der Objektbehandlungsvorrichtung entsprechend der Ausführungsform ausgeführt wird, in ein ROM aufgenommen werden.

[0136] Es wurden zwar bestimmte Ausführungsformen beschrieben, diese Ausführungsformen wurden jedoch nur beispielhaft dargestellt und sind nicht dazu bestimmt, den Umfang der Erfindungen einzuschränken. In der Tat können die hier beschriebenen neuen Ausführungsformen in einer Vielzahl von anderen Formen ausgeführt werden; darüber hinaus können verschiedene Auslassungen, Ersetzungen und Änderungen in der Form der hier beschriebenen Ausführungsformen vorgenommen werden, ohne vom Gedanken der Erfindungen abzuweichen. Die begleitenden Ansprüche und ihre Äquivalente sollen solche Formen oder Änderungen abdecken, die in den Anwendungsbereich und Gedanke der Erfindungen fallen würden.

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 2019112218 [0001]

Patentansprüche

1. Objekthandhabungssteuervorrichtung, umfassend
einen oder mehrere Prozessoren, konfiguriert zum: Erfassen zumindest einer Objektinformation und einer Zustandsinformation, wobei die Objektinformation ein Objekt darstellt, das von einem Greifer gegriffen wird, wobei die Zustandsinformation eine Anfangsposition und ein Ziel des Objekts darstellt;
Einstellen, wenn der das Objekt greifende Greifer sich von der Anfangsposition zu dem Ziel bewegt, einer ersten Region, einer zweiten Region und einer dritten Region in Übereinstimmung mit der Objektinformation und der Statusinformation, wobei die erste Region eine Region ist, in der es dem Greifer erlaubt ist, sich zu bewegen, ohne durch ein Hindernis eingeschränkt zu sein, das in einem Raum zwischen der Anfangsposition und dem Ziel vorhanden ist, wobei die zweite Region eine Region ist, in der der Greifer aufgrund des Hindernisses in seiner Bewegung eingeschränkt ist, wobei die dritte Region zumindest teilweise unterhalb der zweiten Region angeordnet ist, wobei die dritte Region eine Region ist, in der der Greifer unter Kraftsteuerung betrieben wird; und
Berechnen einer Bewegungsbahn, entlang der das Objekt von der Anfangsposition zum Ziel bewegt wird, unter Bezugnahme auf die erste Region, die zweite Region und die dritte Region.
2. Objekthandhabungssteuervorrichtung nach Anspruch 1, wobei in der zweiten Region zumindest der Greifer daran gehindert wird, sich dem Hindernis von oben nach unten zu nähern.
3. Objekthandhabungssteuervorrichtung nach Anspruch 1, wobei die dritte Region umfasst:
eine ersten Steuerregion, in der eine Andrücksteuerung als Kraftsteuerung durchgeführt wird, und
eine zweite Steuerregion, in der eine Abweisungssteuerung als Kraftsteuerung durchgeführt wird.
4. Objekthandhabungssteuervorrichtung nach Anspruch 3, wobei
bei der Andrücksteuerung das Objekt unter einer ersten Andrückbedingung im Wesentlichen orthogonal gegen eine Oberfläche des Hindernisses gedrückt wird, und
in der Andrücksteuerung der eine oder mehrere Prozessoren das Ziel ändern und die Bewegungsbahn neu berechnen, wenn eine Kontaktfläche zwischen einer Andrückfläche des Objekts und einer Andrückfläche des Hindernisses kleiner als ein Kontaktschwellenwert ist.
5. Objekthandhabungsvorrichtung, umfassend:
die Objekthandhabungssteuervorrichtung nach Anspruch 1;
einen Greifer; und
eine Bewegungssteuerung, die den Greifer, der das Objekt greift, veranlasst, sich entlang der berechneten Bewegungsbahn zu bewegen.
6. Ein Objekthandhabungsverfahren, umfassend:
Erfassen zumindest einer Objektinformation und einer Statusinformation, wobei die Objektinformation ein von einem Greifer gegriffenes Objekt darstellt, wobei die Statusinformation eine Anfangsposition und ein Ziel des Objekts darstellt;
Einstellen, wenn sich der das Objekt greifende Greifer von der Anfangsposition zum Ziel bewegt, einer ersten Region, einer zweiten Region und einer dritten Region in Übereinstimmung mit der Objektinformation und der Statusinformation, wobei die erste Region eine Region ist, in der es dem Greifer erlaubt ist, sich zu bewegen, ohne durch ein Hindernis eingeschränkt zu sein, das in einem Raum zwischen der Anfangsposition und dem Ziel vorhanden ist, wobei die zweite Region eine Region ist, in der der Greifer aufgrund des Hindernisses in seiner Bewegung eingeschränkt ist, wobei die dritte Region zumindest teilweise unterhalb der zweiten Region liegt, wobei die dritte Region eine Region ist, in der der Greifer unter Kraftsteuerung betrieben wird;
Berechnen einer Bewegungsbahn, entlang der das Objekt von der Anfangsposition zum Ziel bewegt wird, unter Bezugnahme auf die erste Region, die zweite Region und die dritte Region; und
Bewegen des Greifers, der das Objekt entlang der Bewegungsbahn greift.
7. Computerprogrammprodukt mit programmierten Objekthandhabungsbefehlen, die in einem nicht vorübergehenden computerlesbaren Medium ausgebildet und auf diesem gespeichert sind, wobei die Befehle, wenn sie von einem Computer ausgeführt werden, den Computer zur Ausführung veranlassen:
Erfassen zumindest einer Objektinformation und einer Statusinformation, wobei die Objektinformation ein von einem Greifer gegriffenes Objekt darstellt, wobei die Statusinformation eine Anfangsposition und ein Ziel des Objekts darstellt;
Einstellen, wenn sich der das Objekt greifende Greifer von der Anfangsposition zum Ziel bewegt, einer ersten Region, einer zweiten Region und einer dritten Region in Übereinstimmung mit der Objektinformation und der

Statusinformation, wobei die erste Region eine Region ist, in der es dem Greifer erlaubt ist, sich zu bewegen, ohne durch ein Hindernis eingeschränkt zu sein, das in einem Raum zwischen der Anfangsposition und dem Ziel vorhanden ist, wobei die zweite Region eine Region ist, in der der Greifer aufgrund des Hindernisses in seiner Bewegung eingeschränkt ist, wobei die dritte Region zumindest teilweise unterhalb der zweiten Region liegt, wobei die dritte Region eine Region ist, in der der Greifer unter Kraftsteuerung betrieben wird; Berechnen einer Bewegungsbahn, entlang der das Objekt von der Anfangsposition zum Ziel bewegt wird, unter Bezugnahme auf die erste Region, die zweite Region und die dritte Region; und Bewegen des Greifers, der das Objekt entlang der Bewegungsbahn greift.

Es folgen 25 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG.1

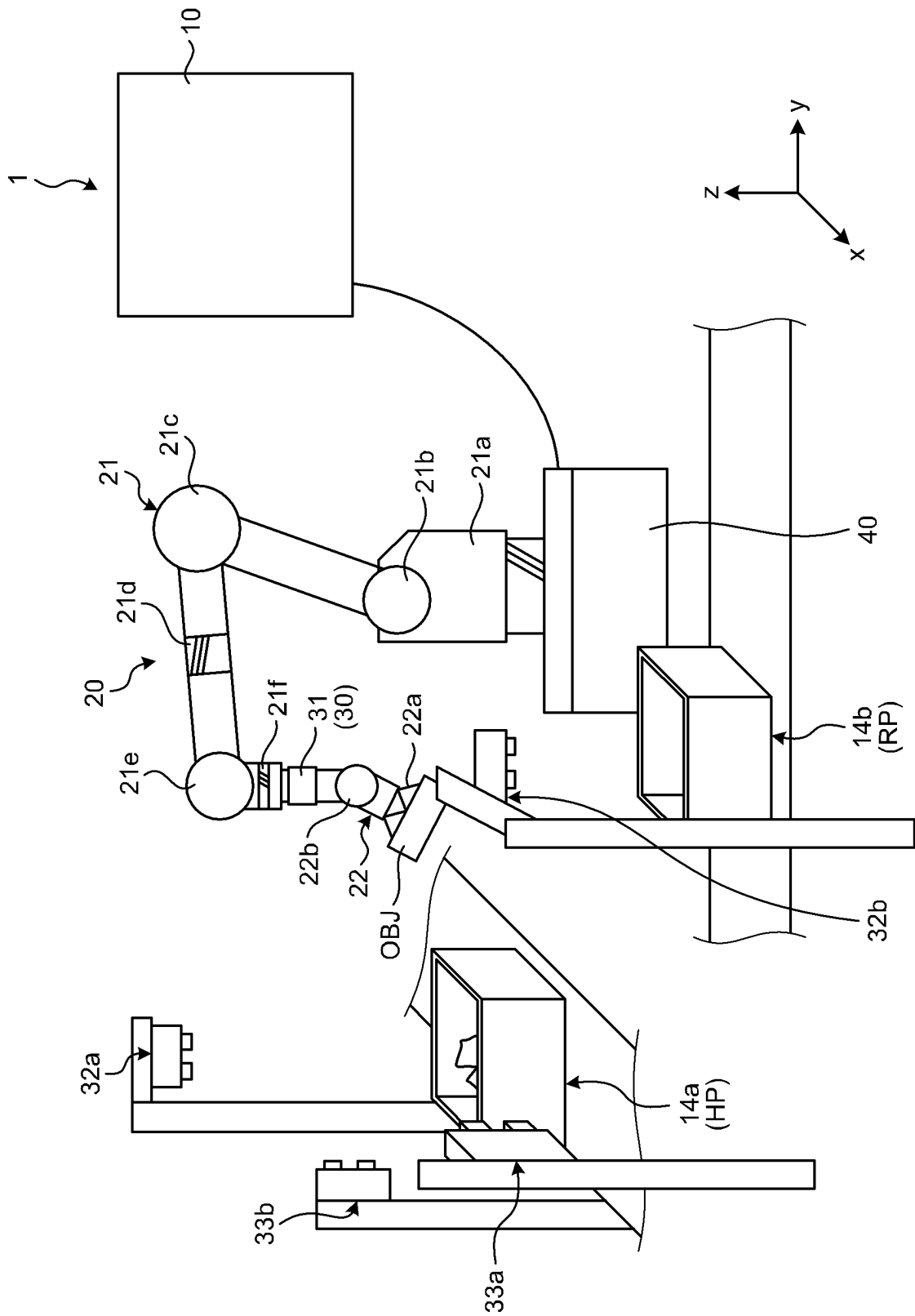


FIG.2

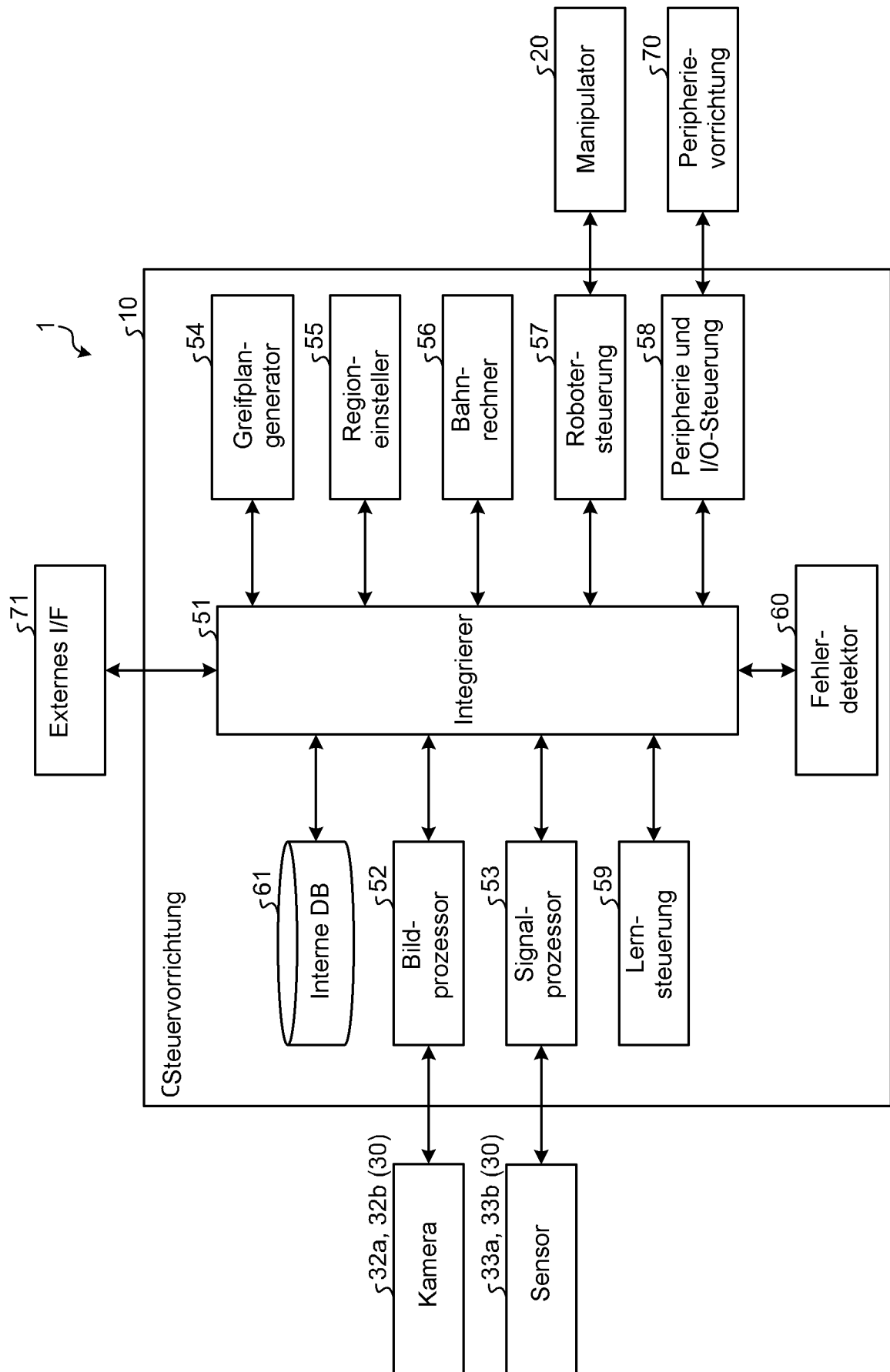


FIG.3

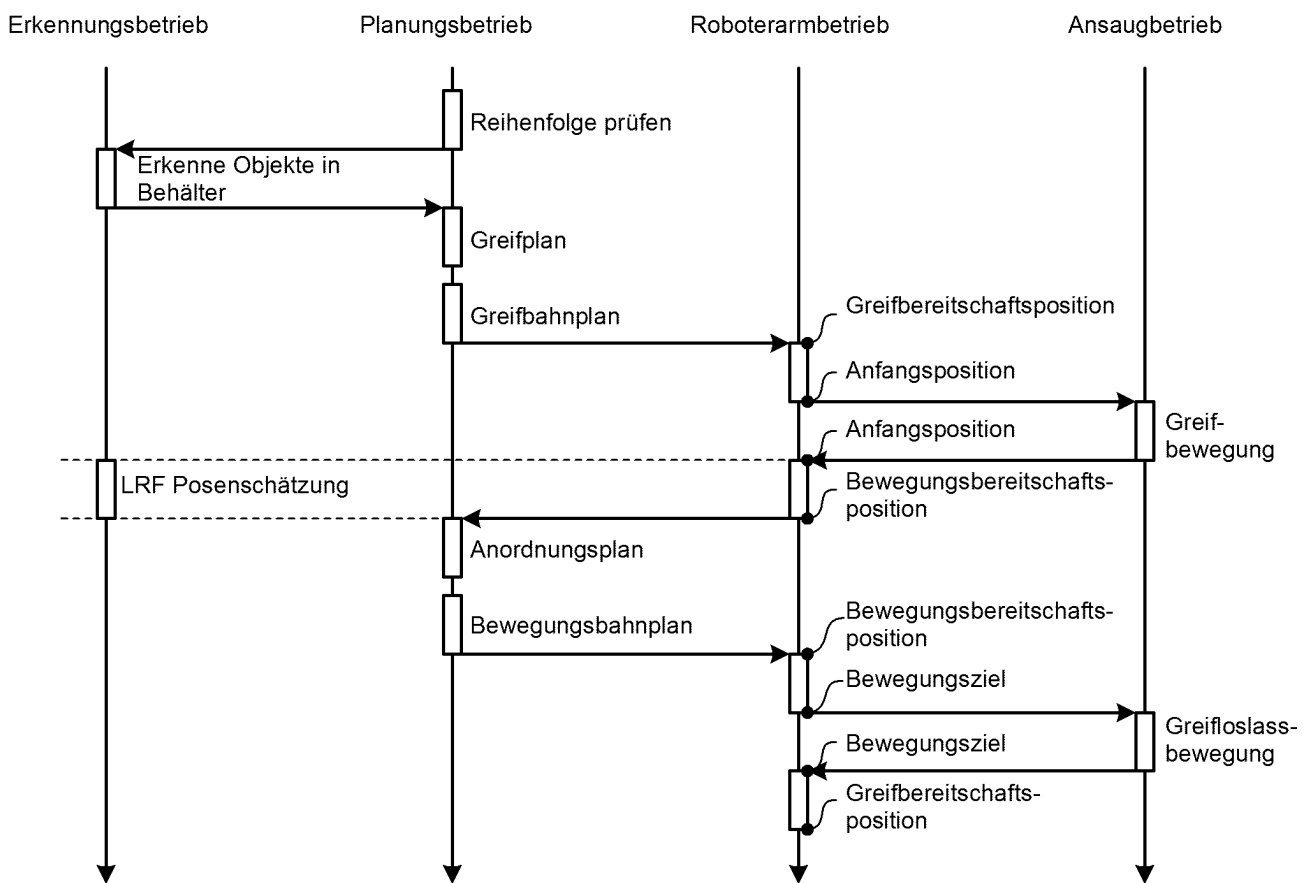


FIG.4

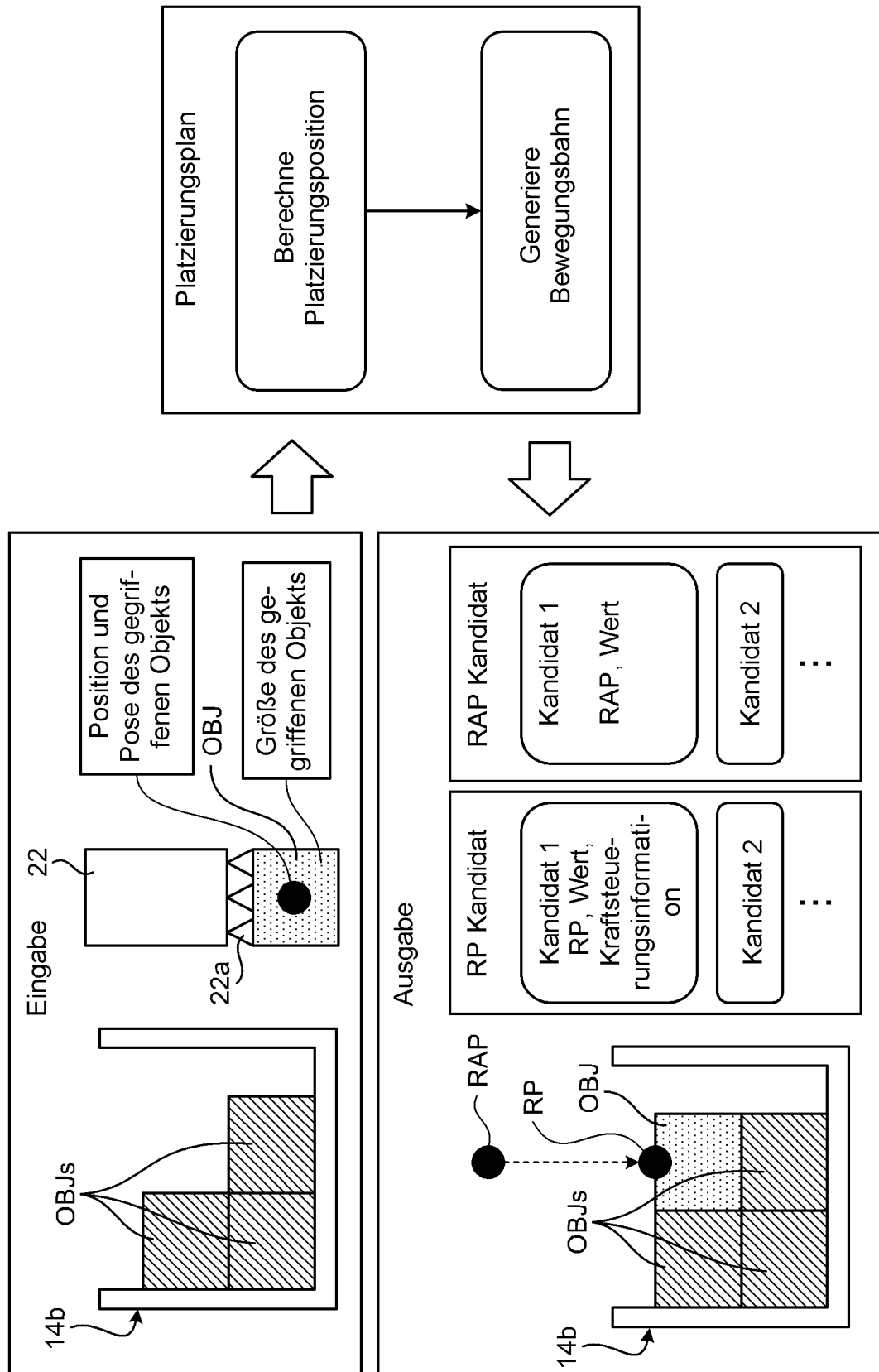


FIG.5

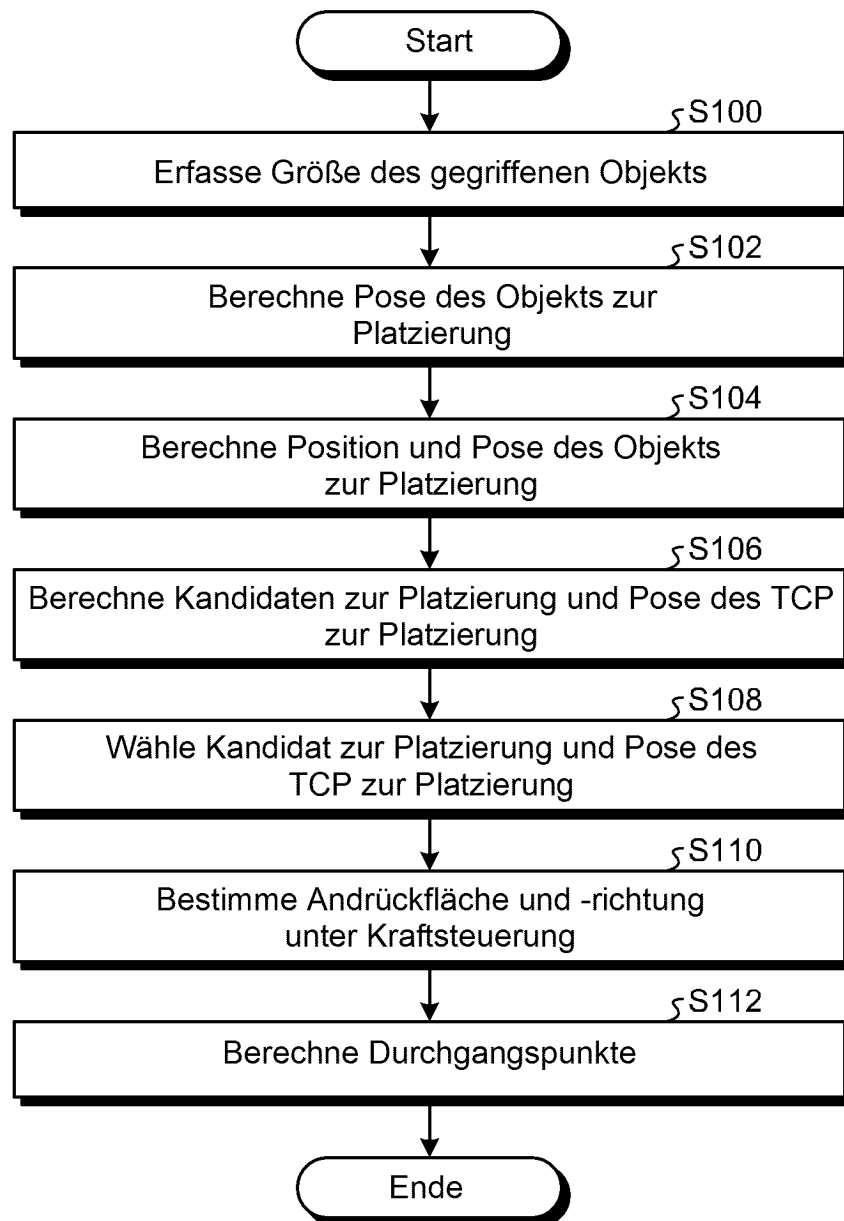


FIG.6

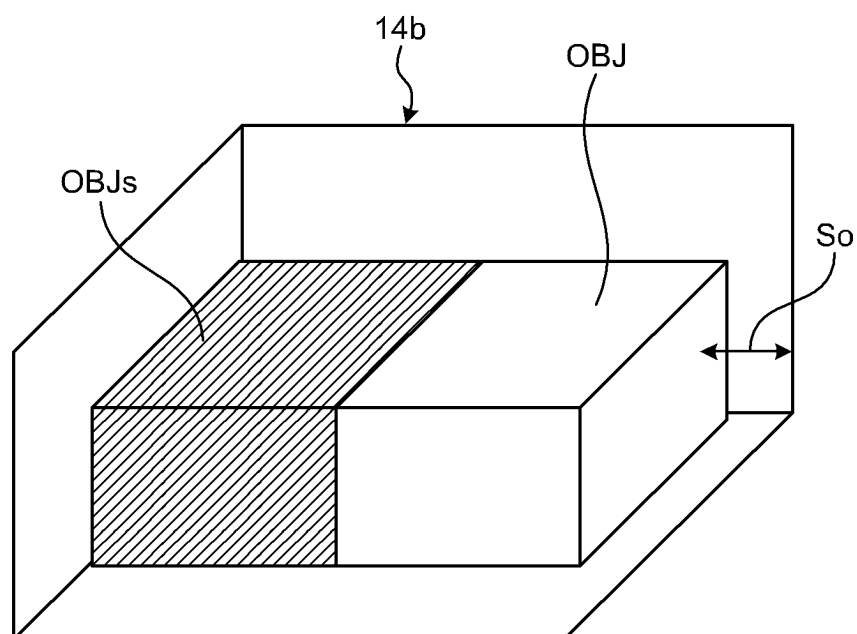


FIG.7

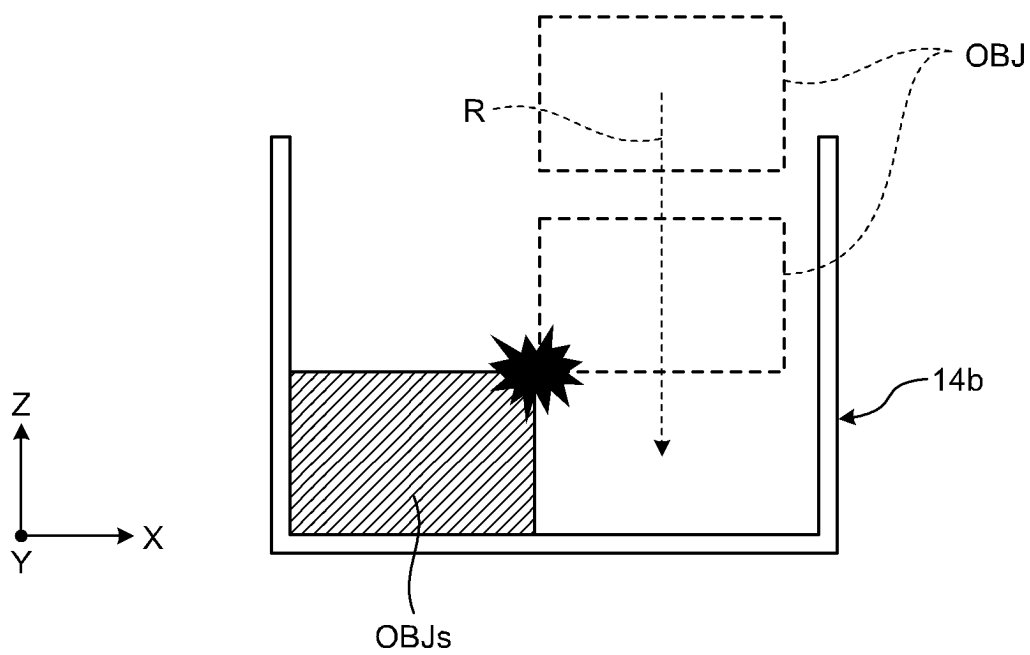


FIG.8

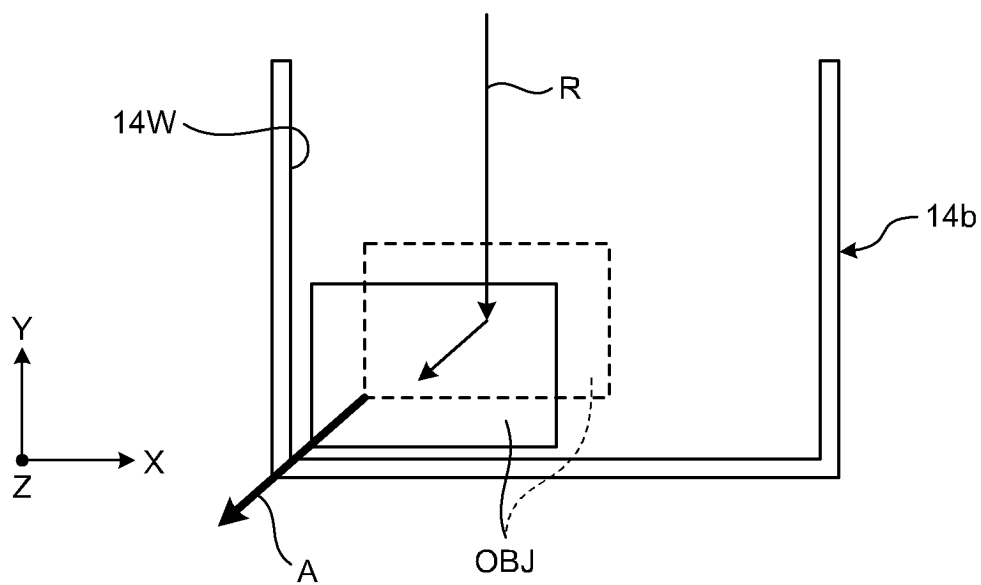


FIG.9

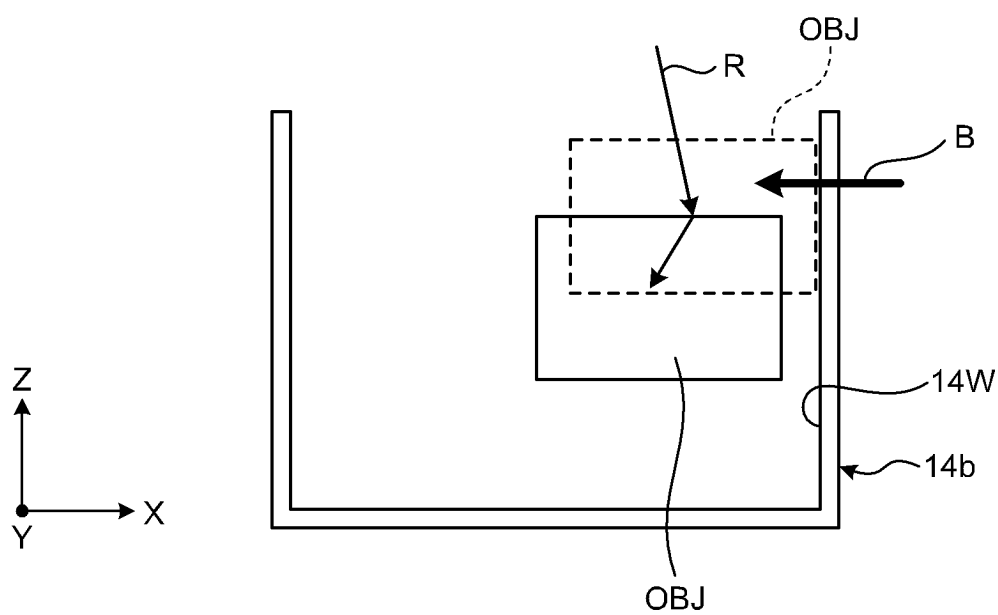


FIG.10

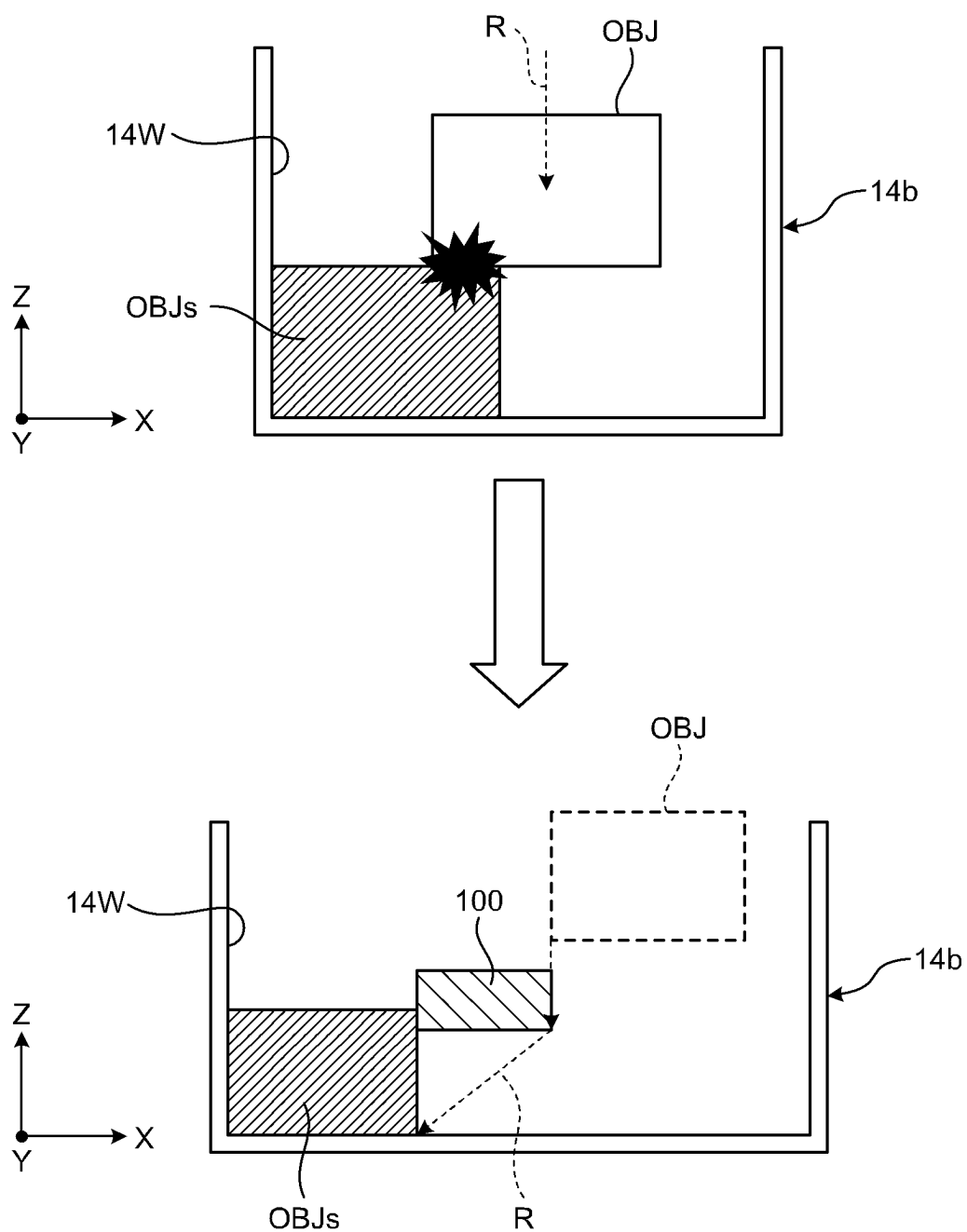


FIG.11

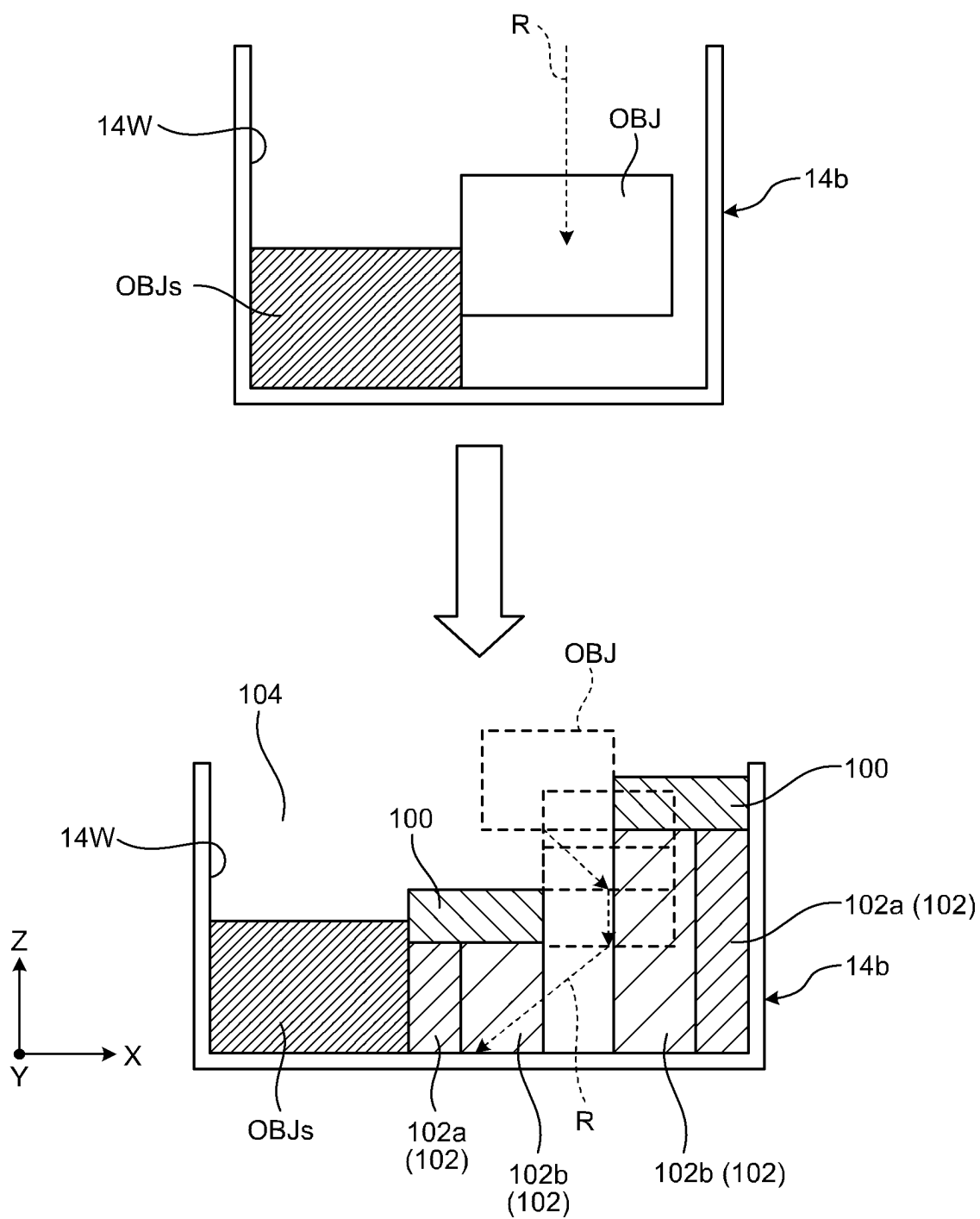


FIG.12

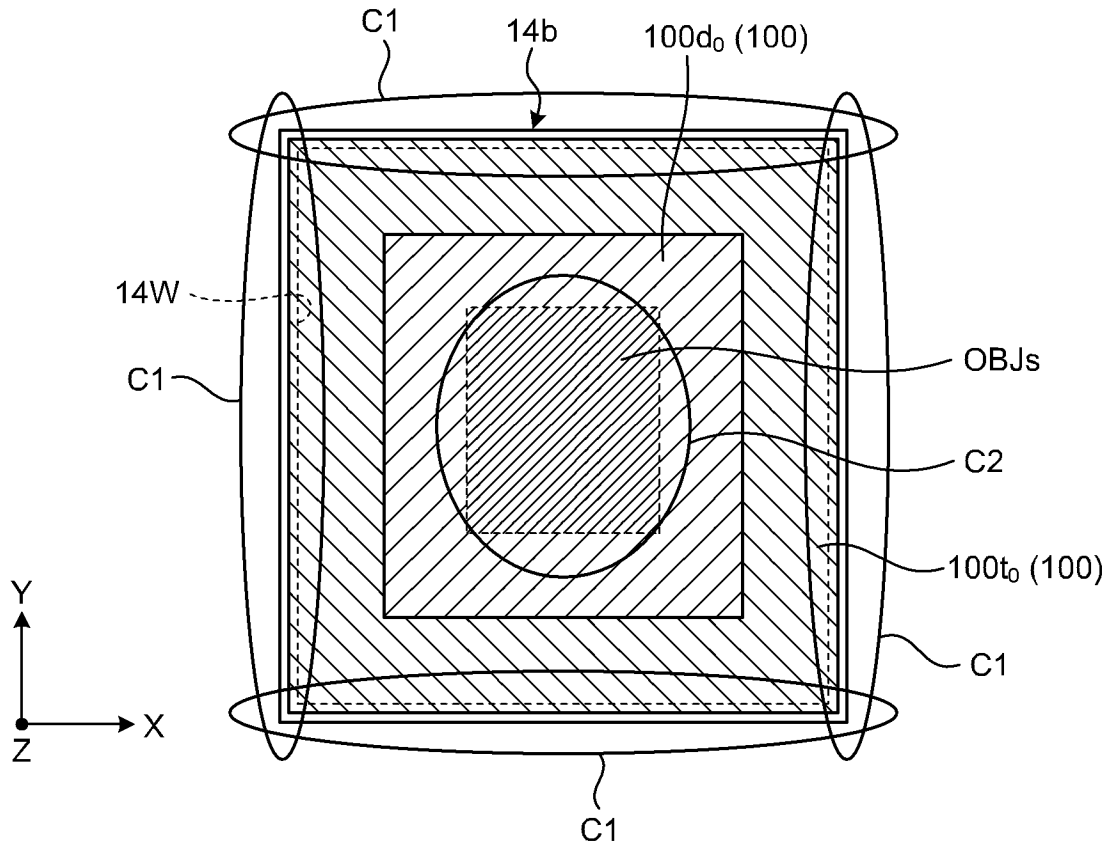


FIG.13

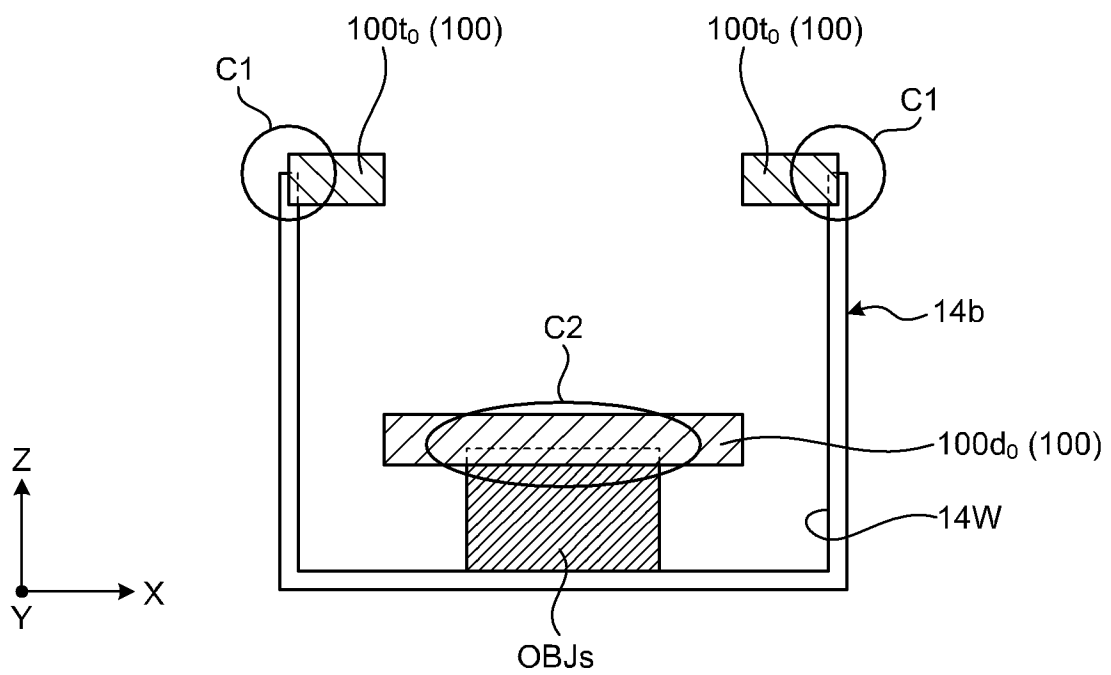


FIG.14

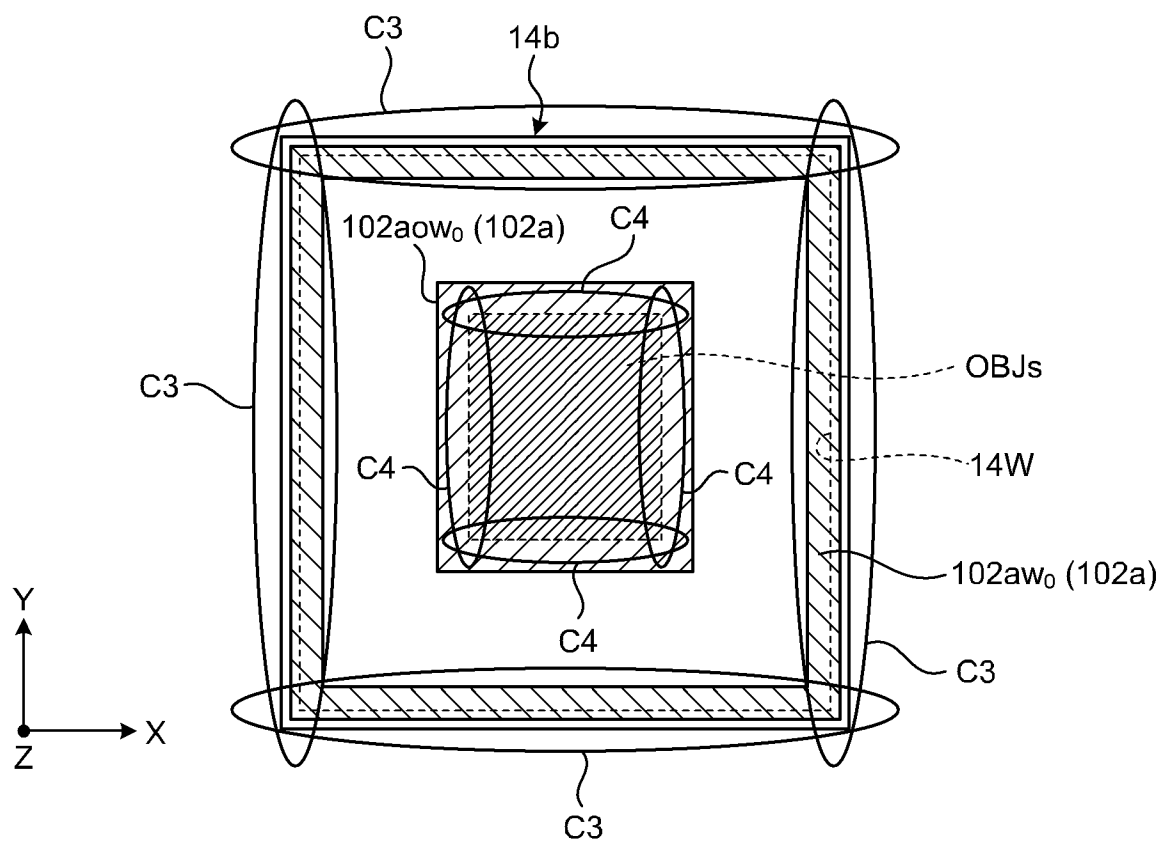


FIG.15

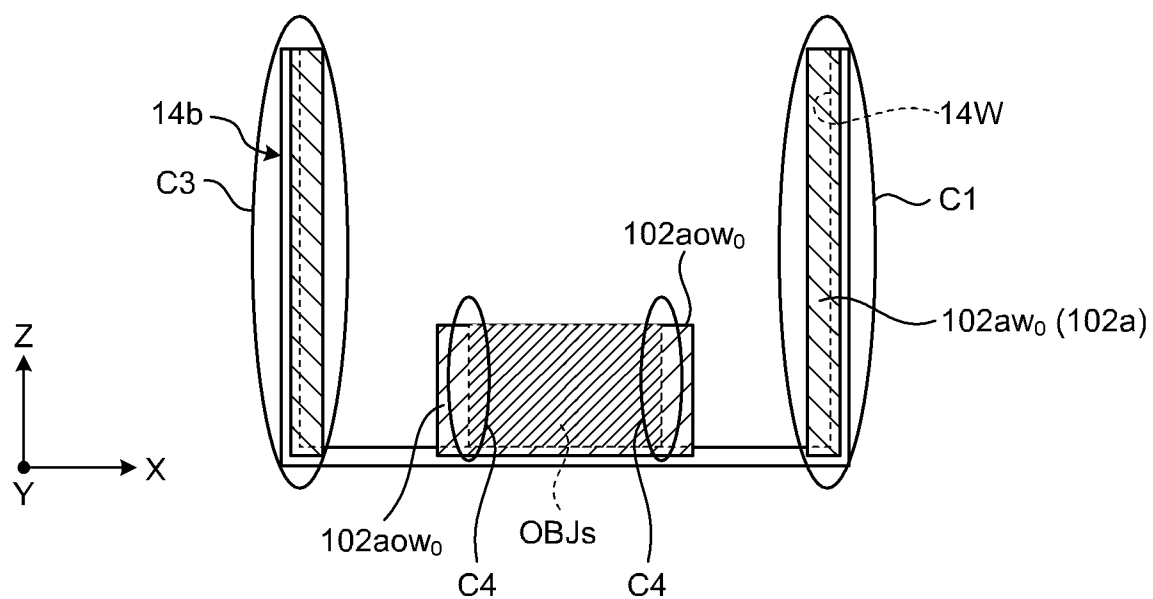


FIG.16

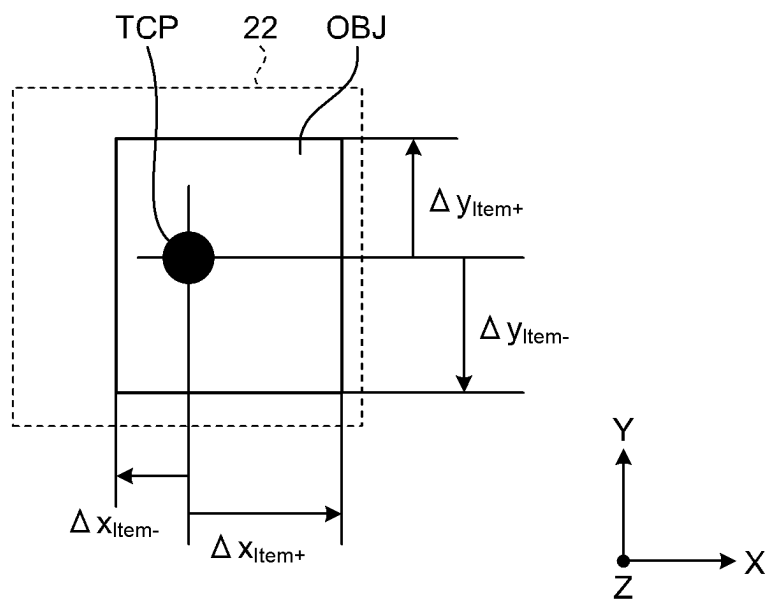


FIG.17

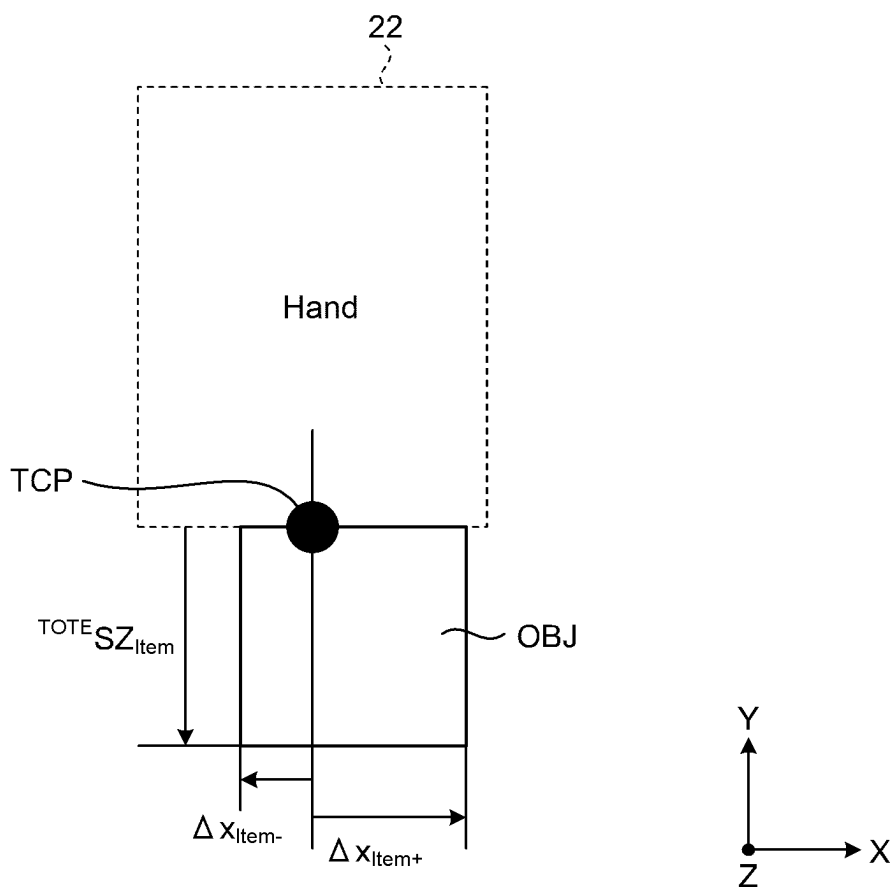


FIG.18

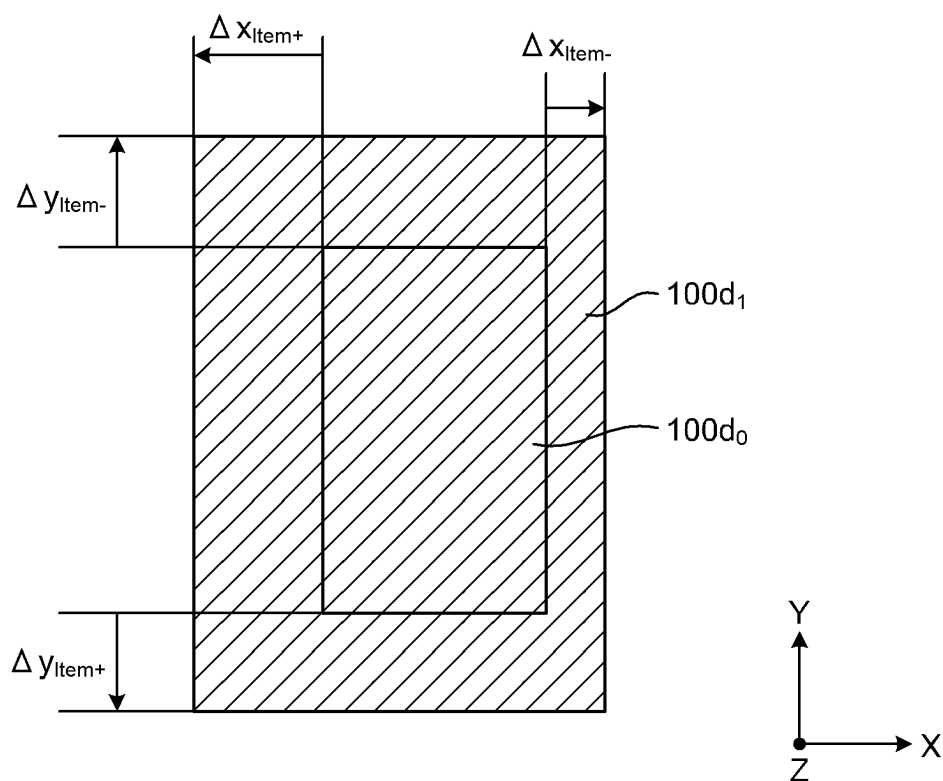


FIG.19

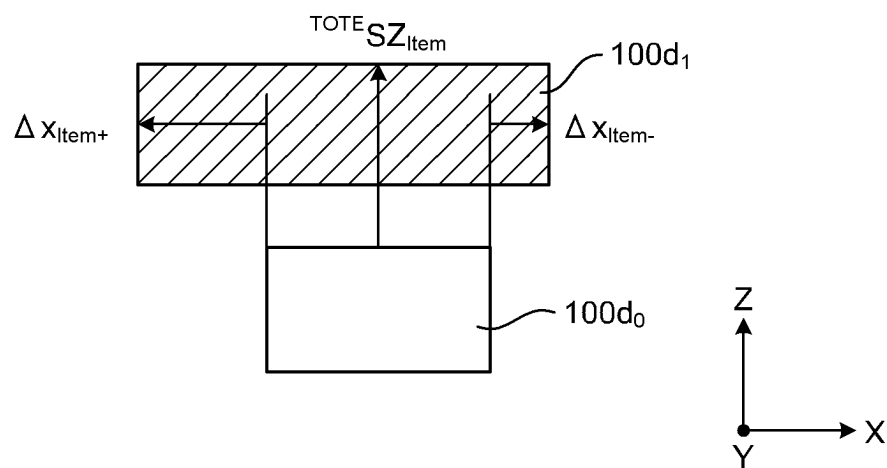


FIG.20

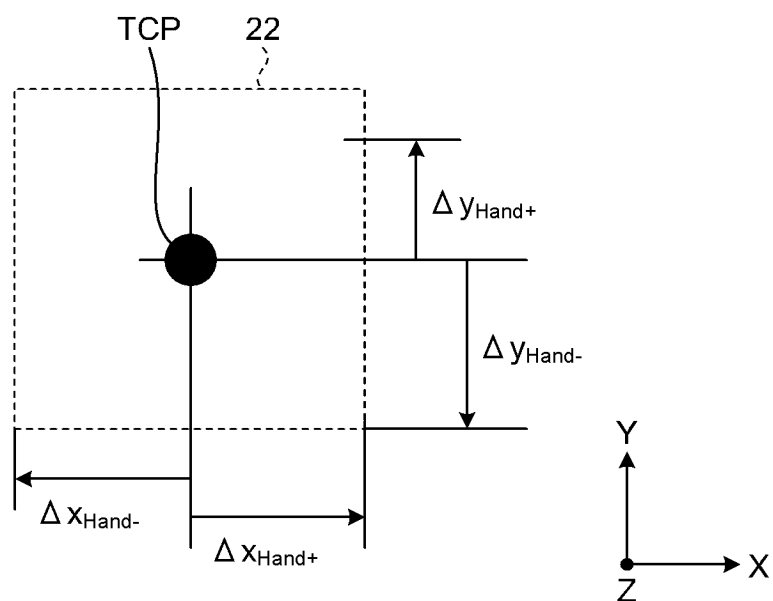


FIG.21

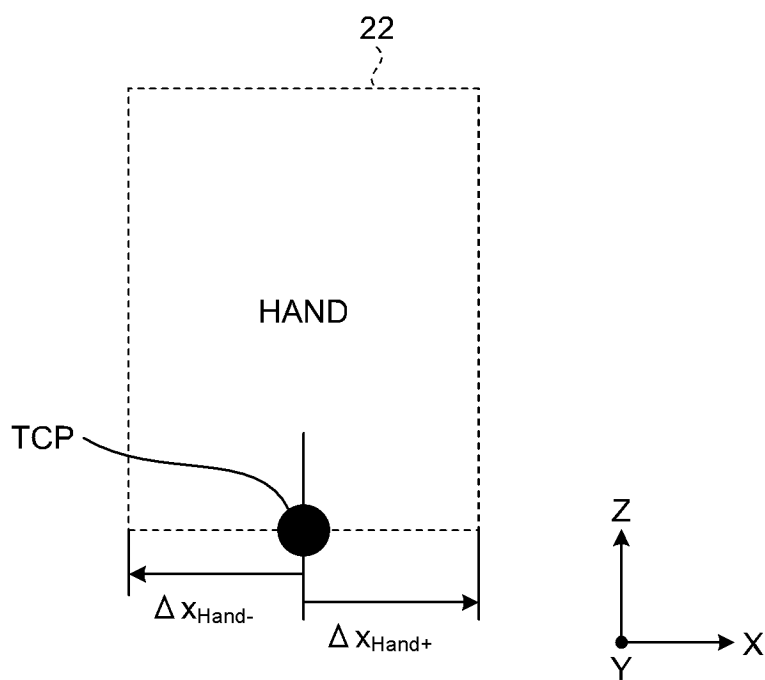


FIG.22

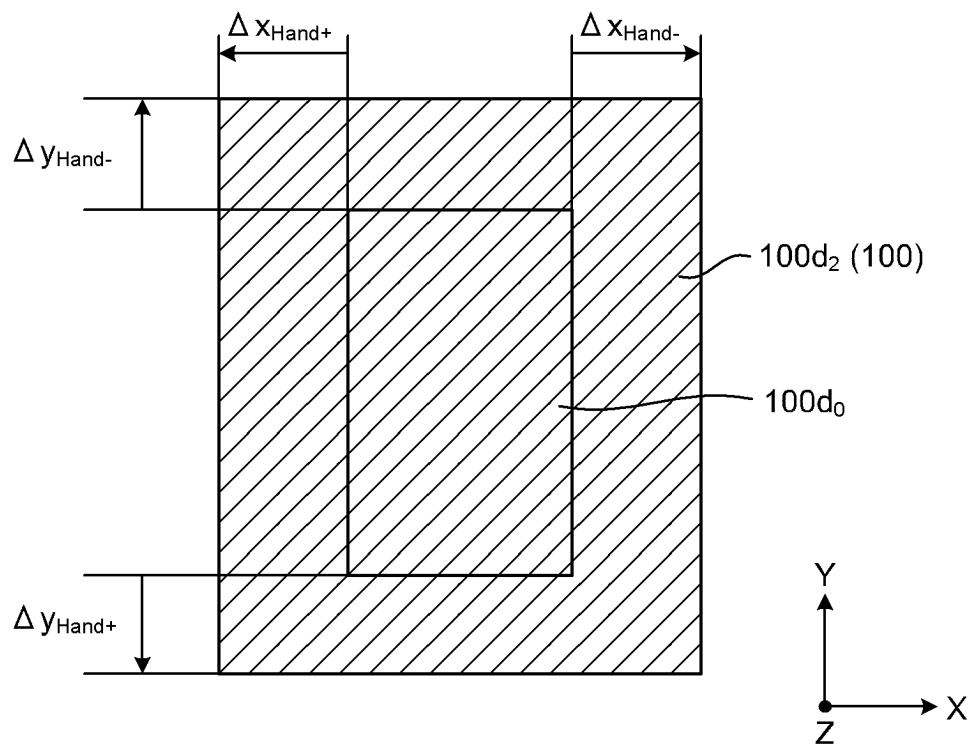


FIG.23

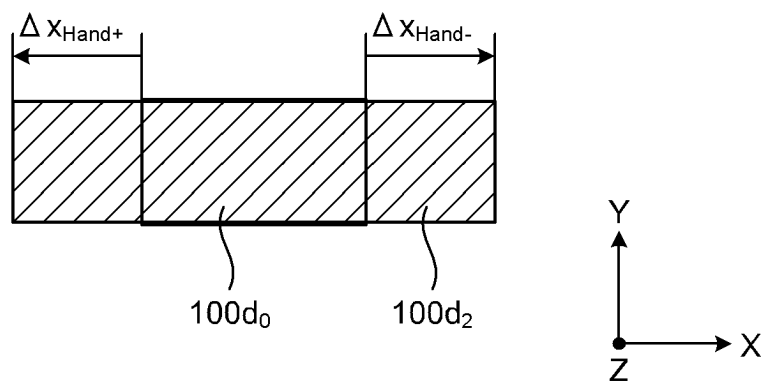


FIG.24

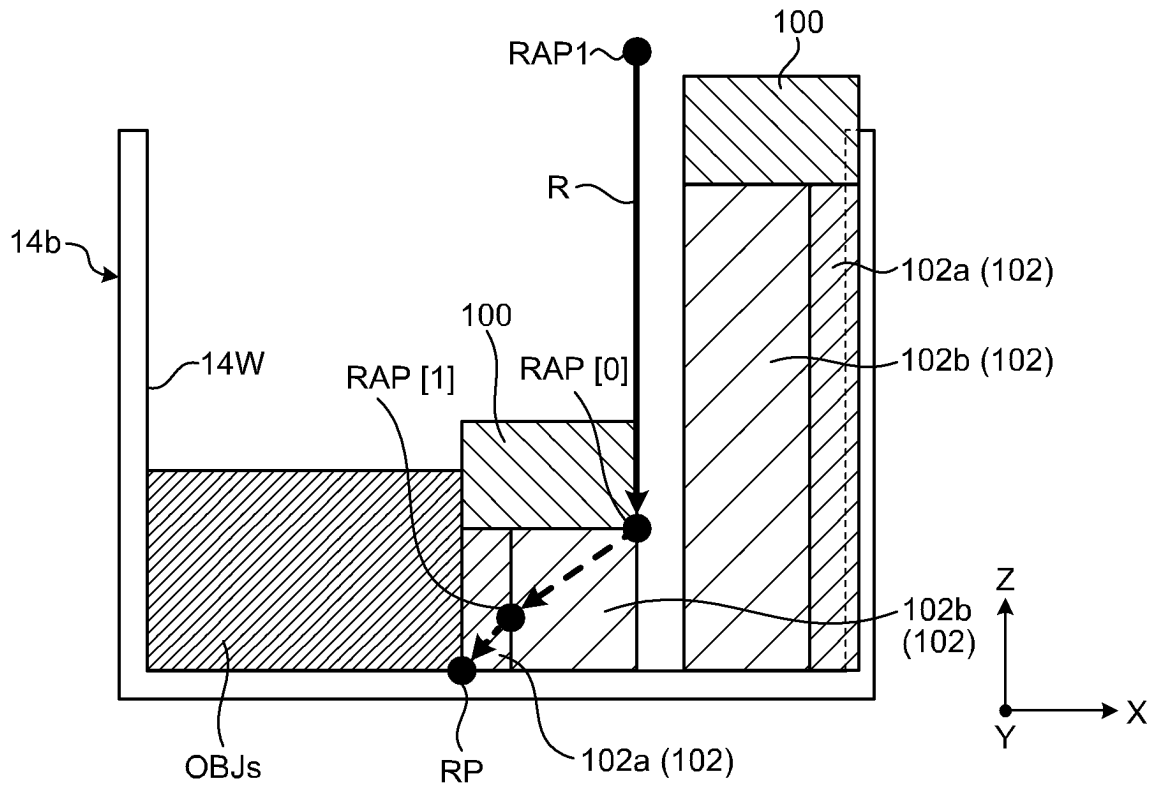


FIG.25

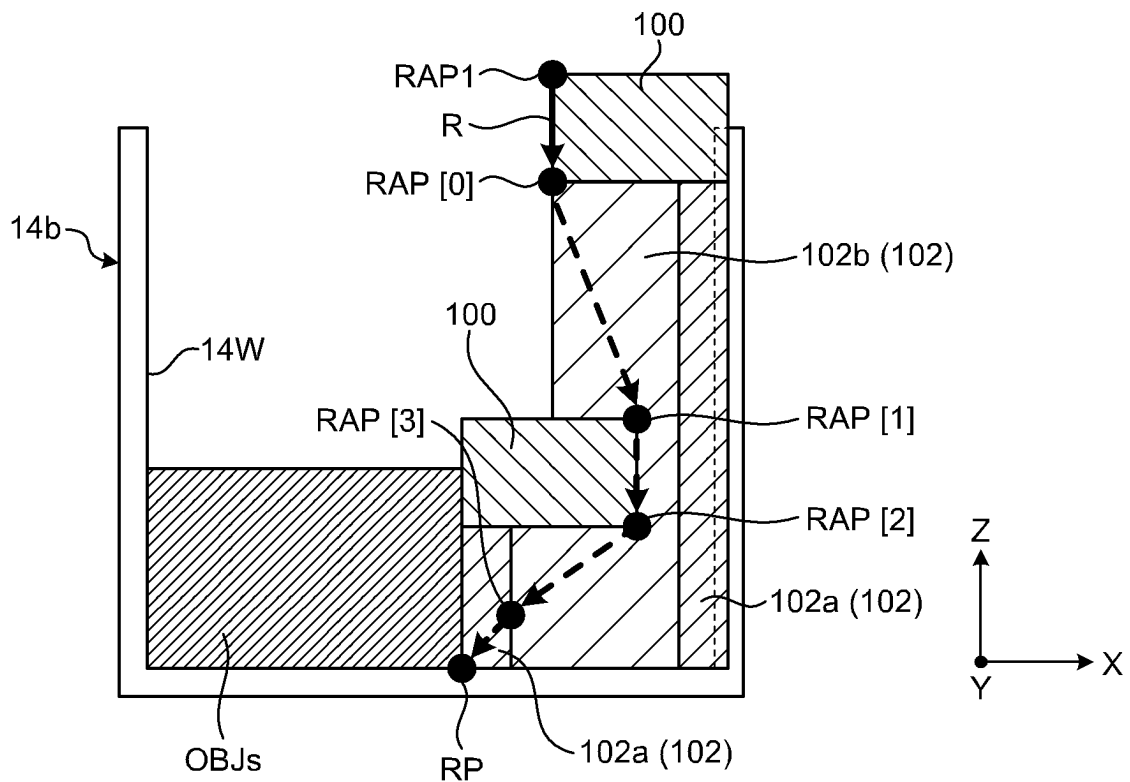


FIG.26

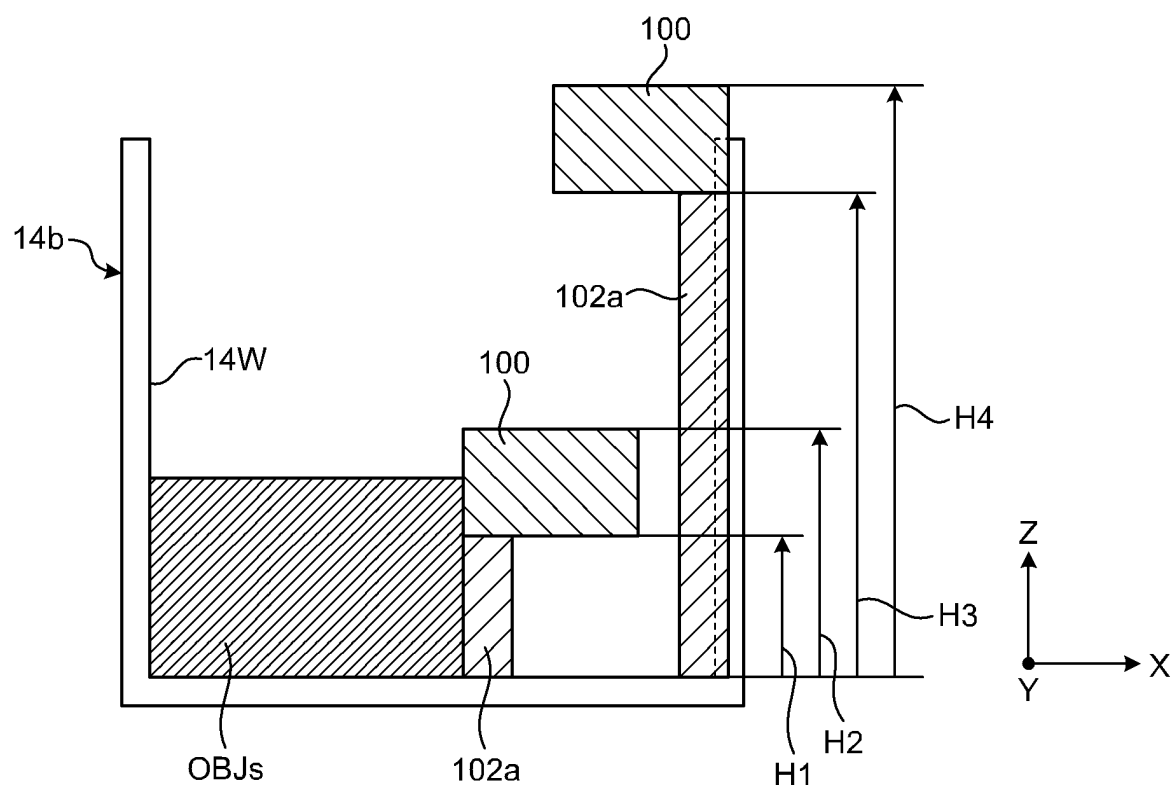


FIG.27

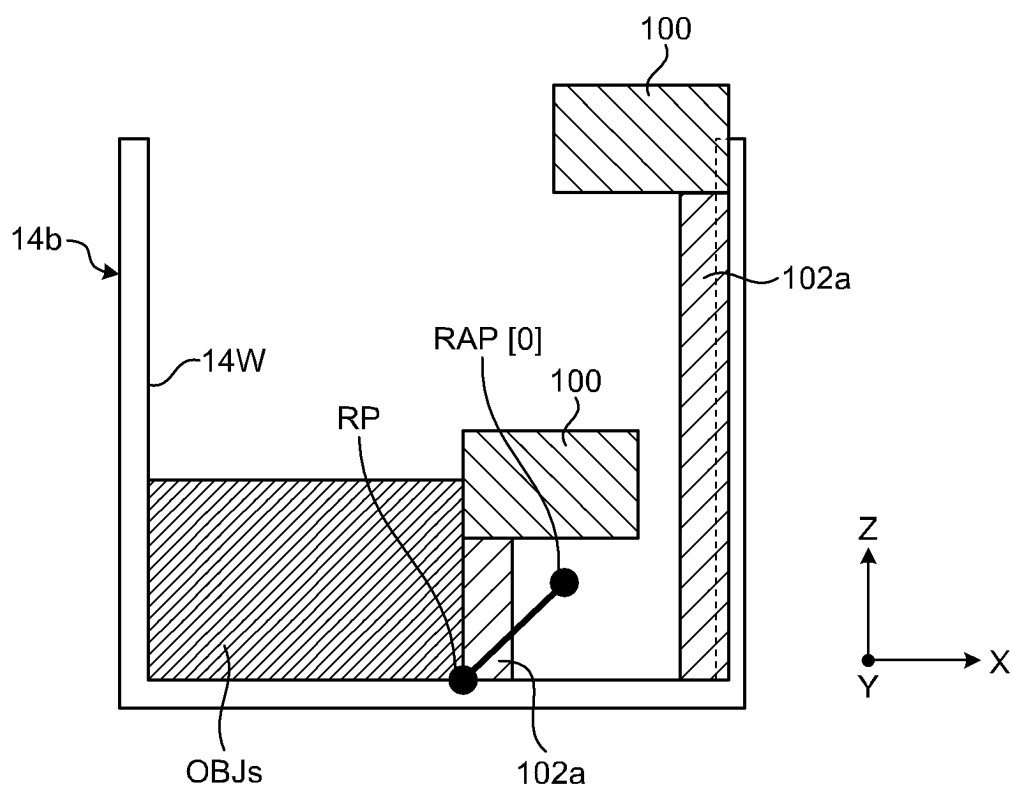


FIG.28

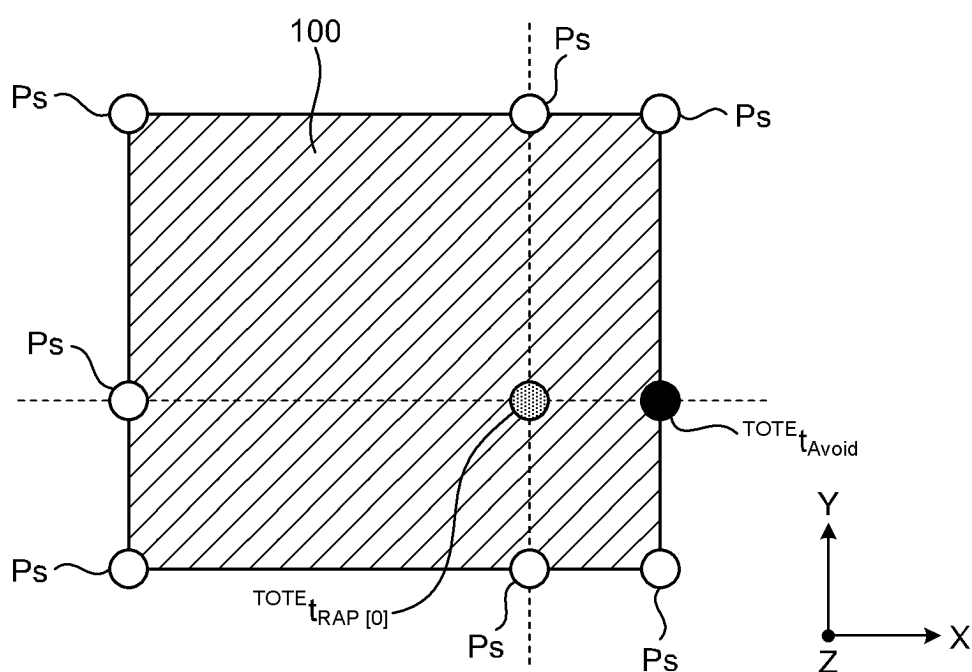


FIG.29

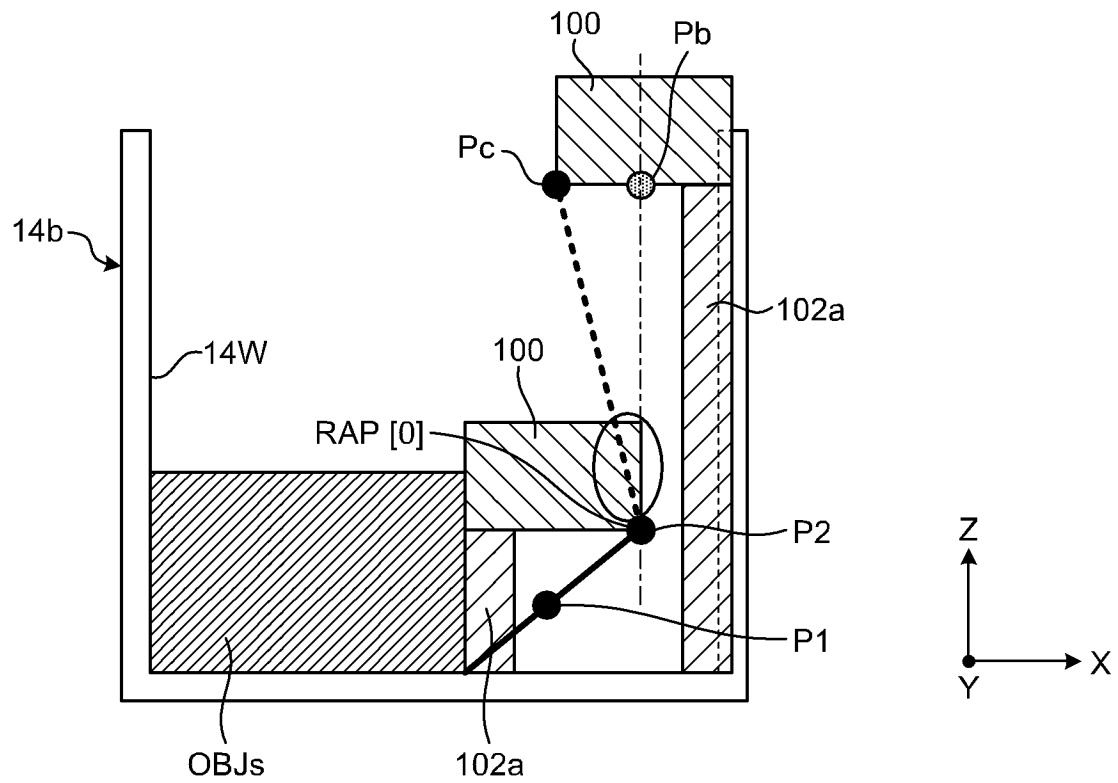


FIG.30

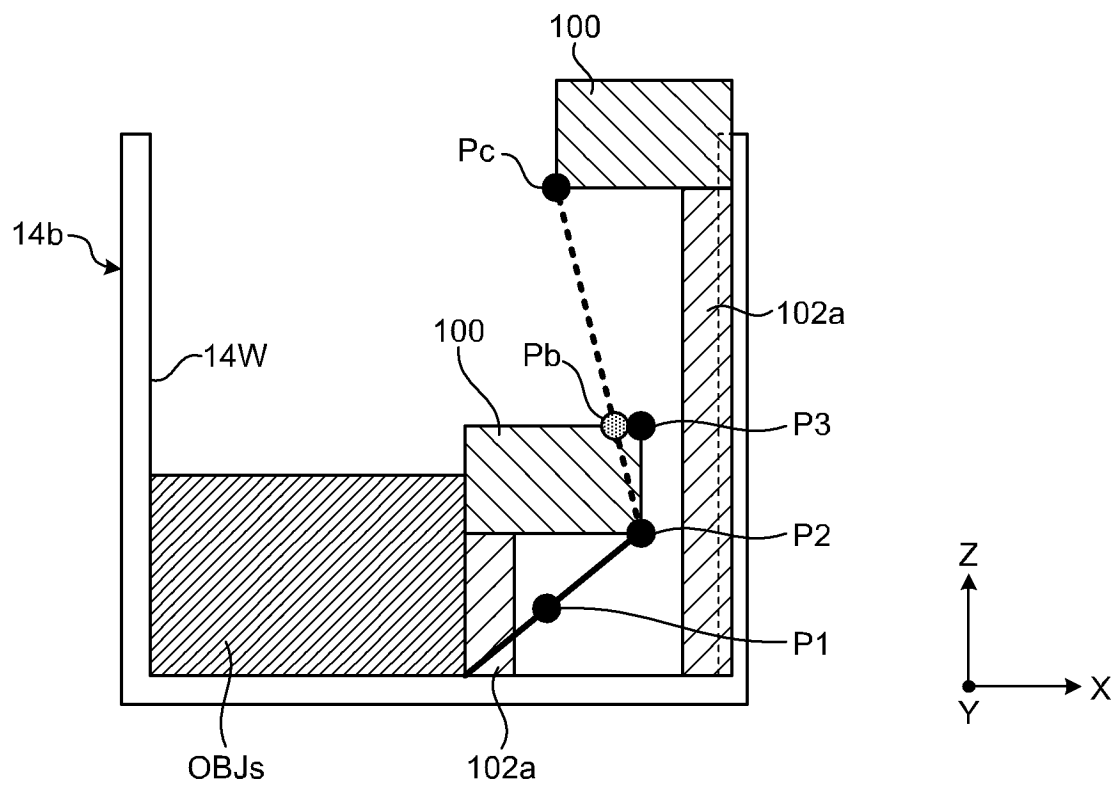


FIG.31

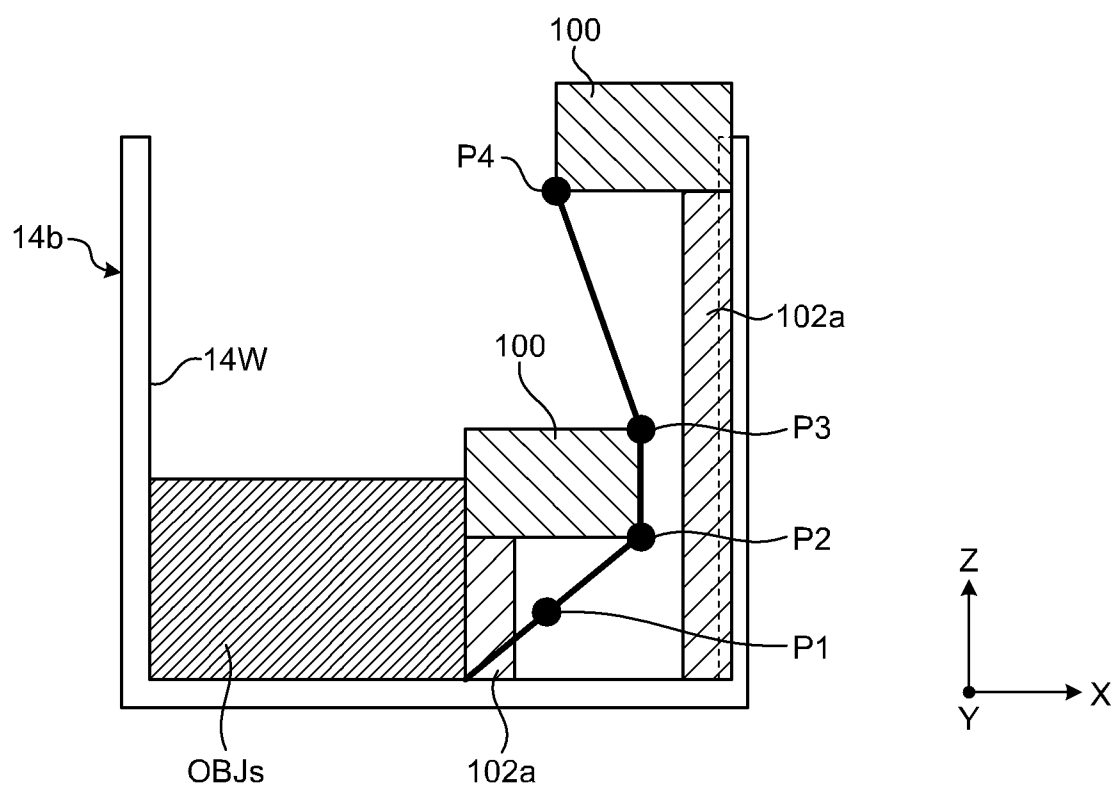


FIG.32

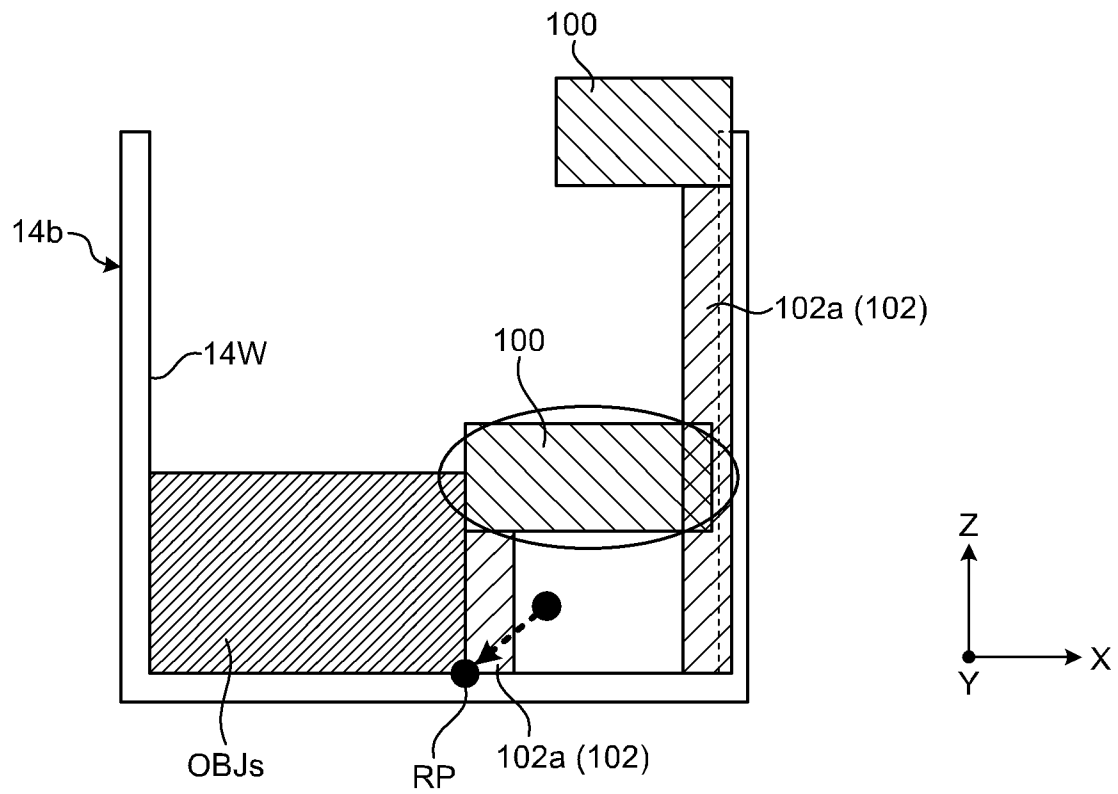


FIG.33

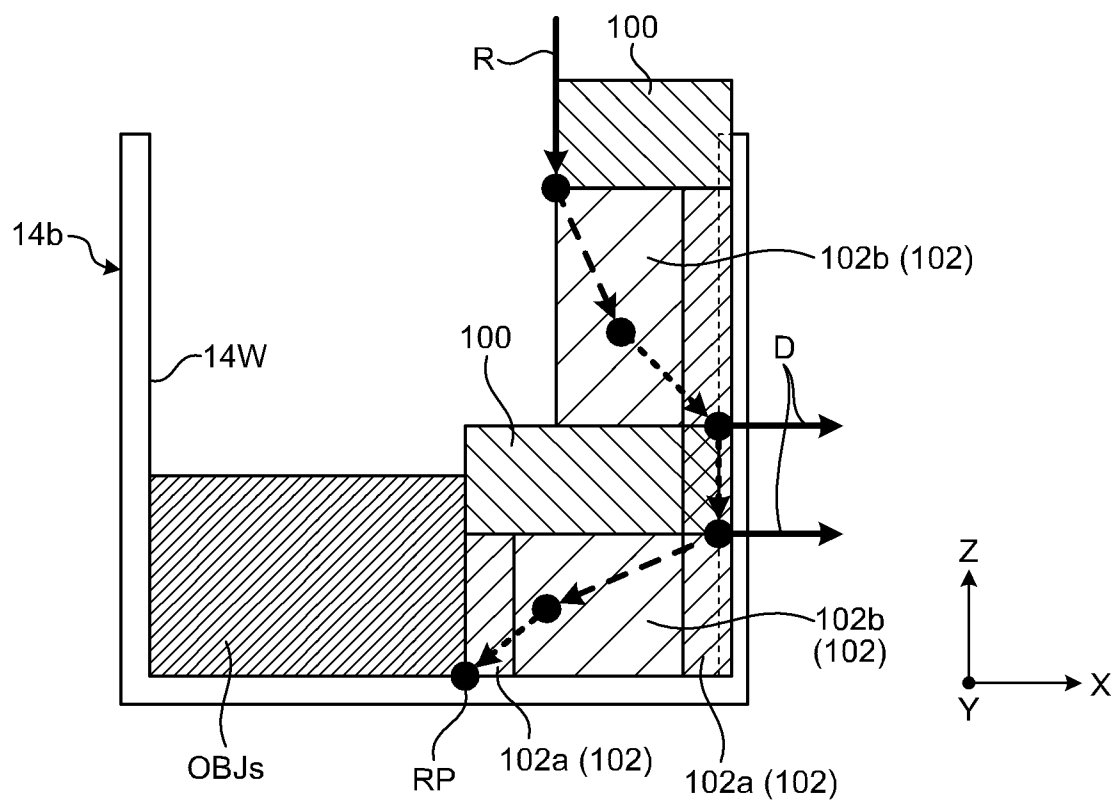


FIG.34

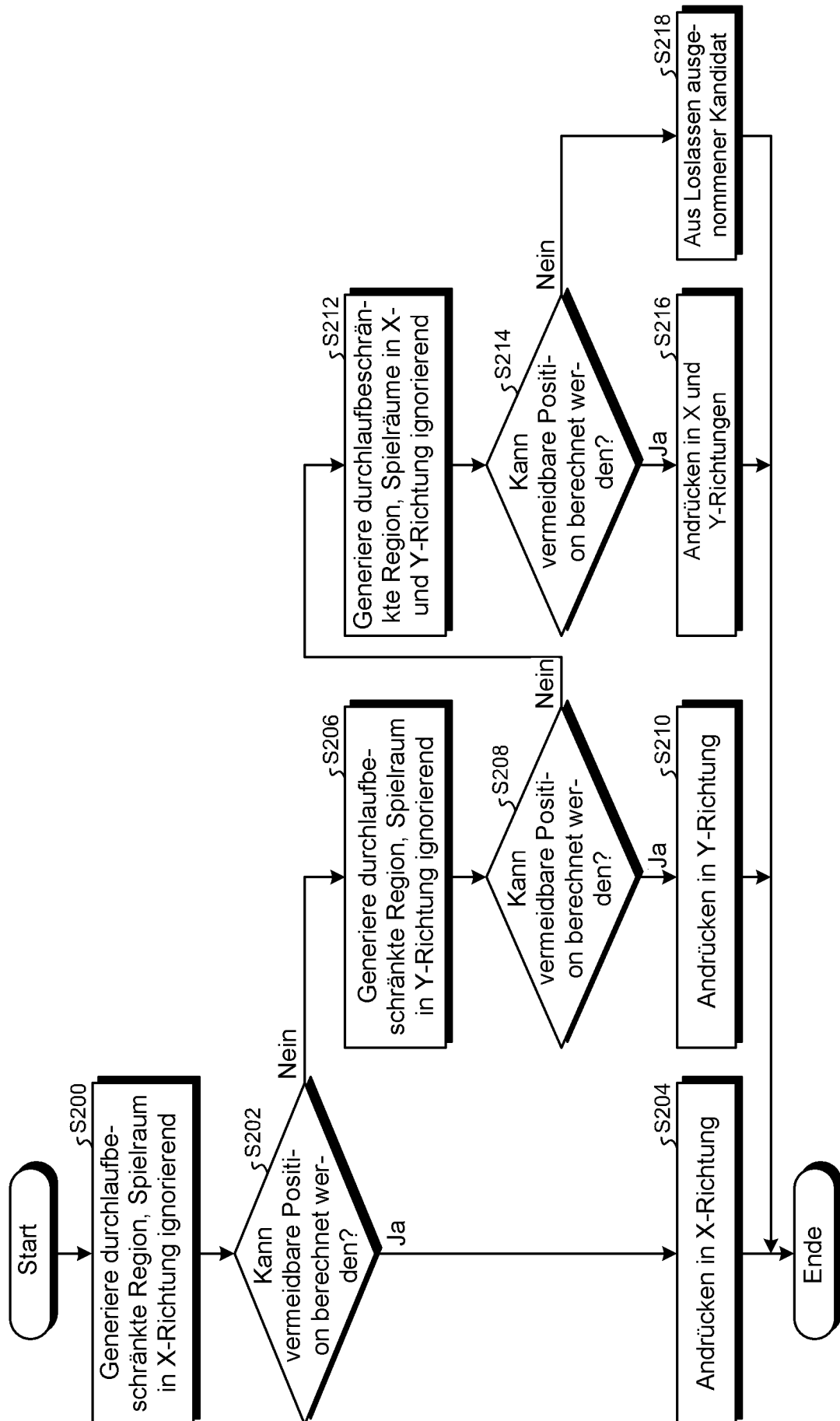


FIG.35

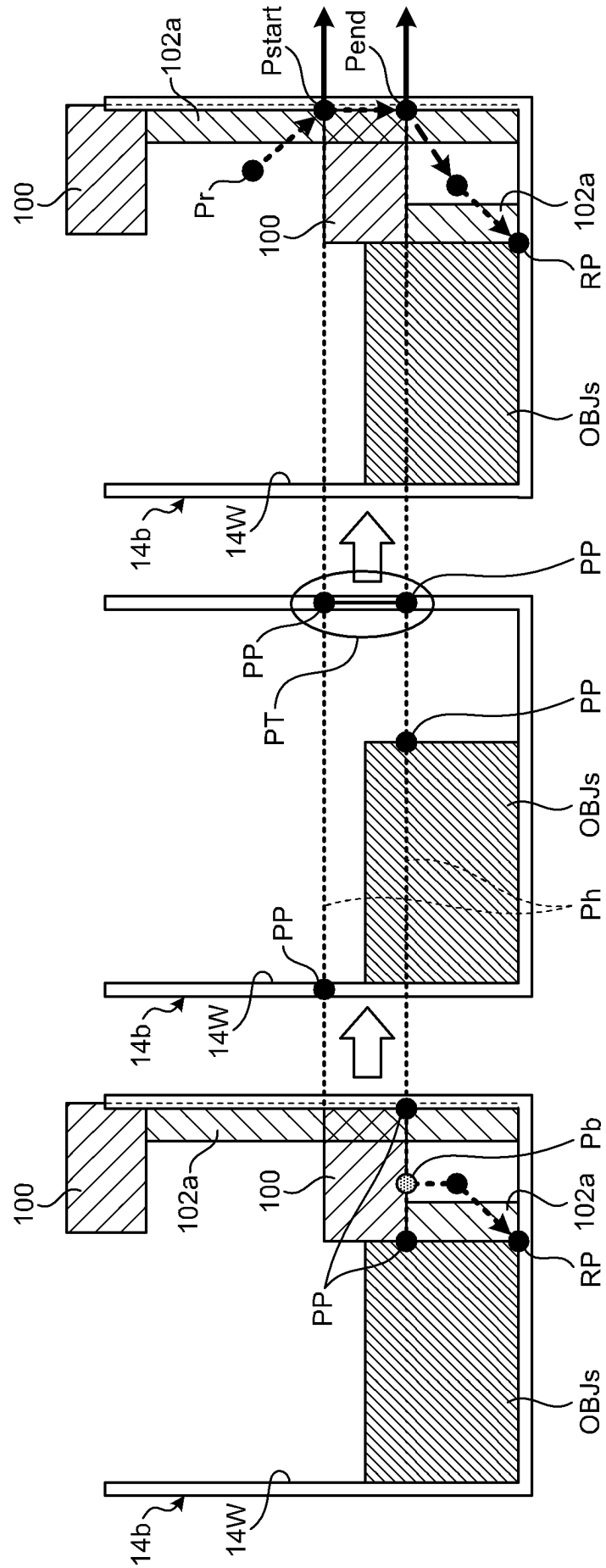


FIG.36

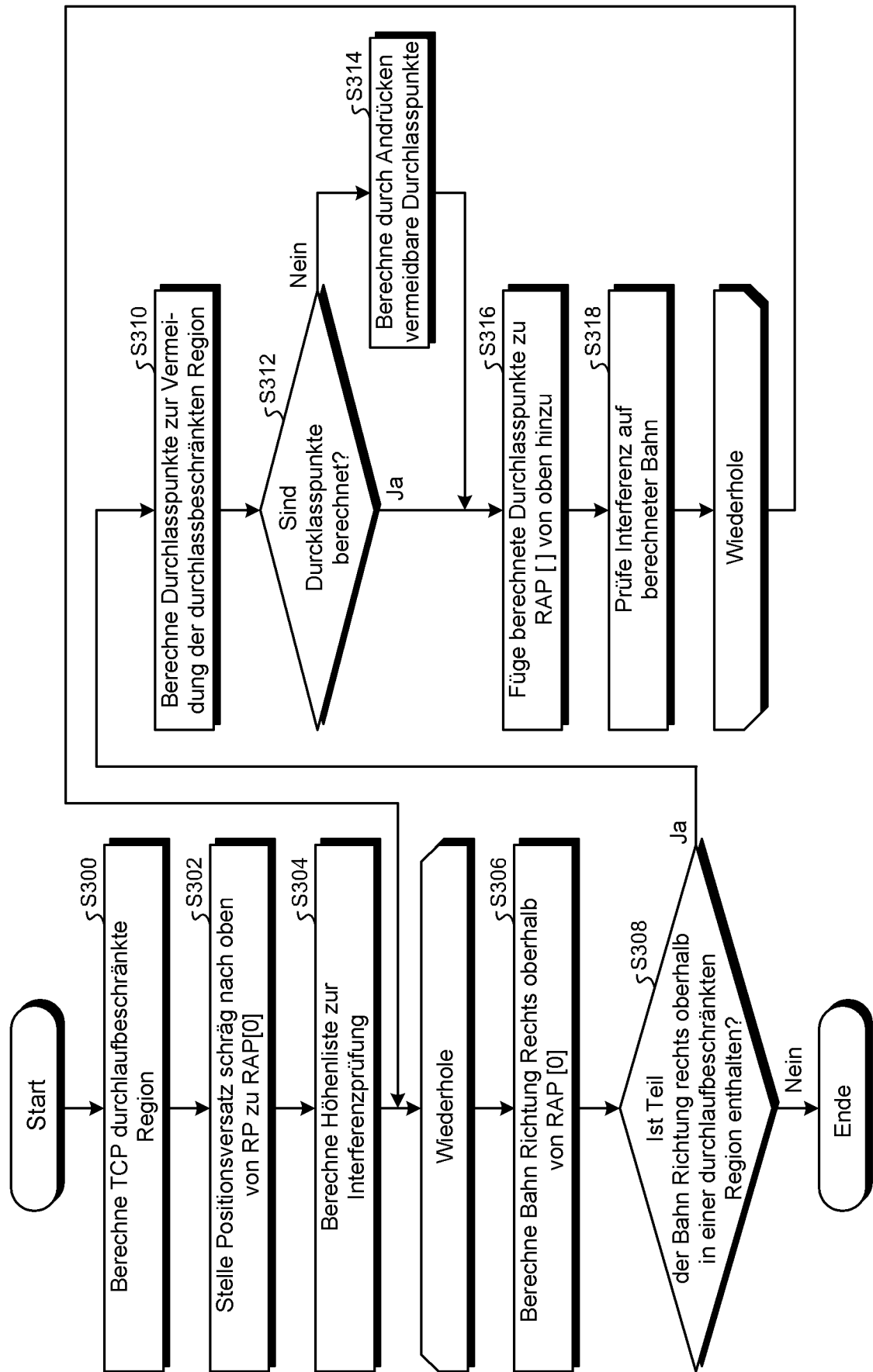


FIG.37

