



(10) **DE 11 2011 103 794 B4** 2019.01.24

(12)

Patentschrift

(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2011 103 794.5**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/JP2011/065961**
(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2012/066819**
(86) PCT-Anmeldetag: **13.07.2011**
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **24.05.2012**
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung
in deutscher Übersetzung: **17.10.2013**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **24.01.2019**

(51) Int Cl.: **B25J 13/08 (2006.01)**
B25J 19/04 (2006.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(30) Unionspriorität:
2010-257082 **17.11.2010** **JP**

(73) Patentinhaber:
Mitsubishi Electric Corporation, Tokyo, JP

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

(72) Erfinder:
**Domae, Yukiyasu, Tokyo, JP; Kitaaki, Yasuo,
Tokyo, JP; Okuda, Haruhisa, Tokyo, JP; Sumi,
Kazuhiko, Tokyo, JP**

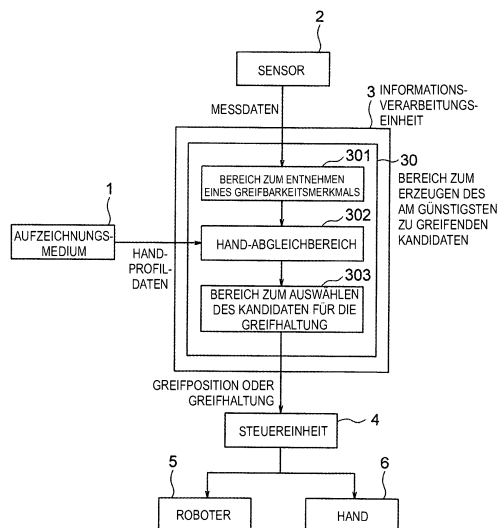
(56) Ermittelter Stand der Technik:
siehe Folgeseiten

(54) Bezeichnung: **Aufnehmervorrichtung für Werkstücke**

(57) Hauptanspruch: Aufnehmervorrichtung für Werkstücke, die Folgendes aufweist:

- eine Hand (6) zum Greifen eines einzelnen Werkstücks aus einem Objekt (7), das eine Vielzahl lose gehäufte Werkstücke enthält;
- einen Roboter (5), um die Hand (6) in eine gewünschte Greifposition oder Greifhaltung zu bringen;
- einen Sensor (2) zum Durchführen einer dreidimensionalen Messung des Werkstückes, um Werkstück-Messdaten zu erhalten;
- ein Speichermedium (1) zum Speichern zumindest von Hand-Profilaten;
- eine Informations-Verarbeitungseinheit (3) zum Berechnen der Greifposition oder Greifhaltung auf der Basis von Daten von dem Sensor (2) und Daten von dem Speichermedium (1); und
- eine Steuereinheit (4) zum Steuern des Roboters (5) auf der Basis von der von der Informations-Verarbeitungseinheit berechneten Greifposition oder Greifhaltung,
- wobei die Informations-Verarbeitungseinheit (3) einen Bereich (30) zum Ermitteln des am günstigsten zu greifenden Kandidaten aufweist, um direkt die Greifposition oder Greifhaltung auf der Basis von den Werkstück-Messdaten und den Hand-Profilaten abzuleiten, und
- wobei eine Blickachsenrichtung des Sensors (2) an der Eintrittsrichtung zu dem Zeitpunkt ausgerichtet ist, wenn die Hand (6) sich an das Werkstück annähert, um das Werk-

stück aus der Menge der lose gehäufte Werkstücke aufzunehmen,
wobei der Bereich zum Ermitteln des am günstigsten zu greifenden Kandidaten ein zweidimensionales Handmodell als Hand-Profilaten verwendet, und wobei ...



(19)



Deutsches
Patent- und Markenamt

(10) **DE 11 2011 103 794 B4** 2019.01.24

(56) Ermittelter Stand der Technik:

US	2007 / 0 274 812	A1
US	2008 / 0 082 213	A1
US	2008 / 0 240 511	A1
EP	1 385 122	A1
WO	2004/ 052 596	A1
JP	2009- 248 214	A
JP	2007- 319 997	A
JP	2010- 89 238	A

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Aufnehmervorrichtung für Werkstücke zum Aufnehmen eines Werkstückes aus einer Menge lose gehäufte Werkstücke.

[0002] Eine Aufnehmervorrichtung für Werkstücke ist eine Vorrichtung, um einzeln und nacheinander Werkstücke unter Verwendung einer Roboterhand aufzunehmen, und zwar aus einem Objekt, das eine Vielzahl von lose gehäuften Werkstücken enthält. Als Beispiel für eine herkömmliche Aufnehmervorrichtung für Werkstücke wird eine solche Vorrichtung in der JP 2010-089238 A beschrieben. Diese Vorrichtung ist dazu ausgelegt, von einem repräsentativen Profil eines Werkstücks auszugehen, Daten über Teilprofil-Einheiten, die durch Segmentierung des Werkstücks erhalten werden, und Prioritäten vorab zu speichern, die den jeweiligen Teilprofilen entsprechen, Bildverarbeitung auf einer Mehrzahl von lose gehäuften Werkstücken durchzuführen, um eine Vielzahl von Teilprofilen als Kandidaten für eine Greifposition zu berechnen, und aus den berechneten Kandidaten ein Werkstück als das aufzunehmende Objekt und einen zugehörigen Greifbereich zu bestimmen, wobei die oben beschriebenen Prioritäten berücksichtigt werden.

[0003] Bei dem oben beschriebenen Verfahren zum Aufnehmen eines Werkstückes, wie es in der JP 2010-089238 A beschrieben ist, können jedoch die folgenden Probleme auftreten.

[0004] Erstes Problem: Unter der Bedingung, dass die Anzahl von berechneten Kandidaten für eine Greifposition klein ist, besteht dann, wenn die Hand das Werkstück greifen soll, das aus den Kandidaten bestimmt worden ist, ein hohes Risiko, dass die Hand die Greifposition nicht erreichen kann, und zwar infolge von Beeinflussungen zwischen der Hand und denjenigen Werkstücken, die nicht das zu greifende Objekt darstellen, oder infolge von Störungen durch die übrigen Werkstücke. Um dieses Problem zu vermeiden, ist es notwendig, eine große Anzahl von Kandidaten für eine Greifposition im Voraus zu berechnen, aber in diesem Fall ergibt sich wiederum das Problem, dass der Arbeitsaufwand, die Berechnungszeit und die Datenmenge beträchtlich erhöht werden.

[0005] Zweites Problem: Die Abläufe, um die Teilprofile durch Segmentierung und Zuweisung der Prioritäten zu den jeweiligen Teilprofilen zu erhalten, müssen aufs Neue für diejenigen Profile der Hände festgelegt werden, die verschieden voneinander sind. Auch aus diesem Grund ergibt sich ein Problem dahingehend, dass sich der Arbeitsaufwand und die Berechnungszeit erhöhen.

[0006] Die EP 1 385 122 A1 offenbart eine Vorrichtung zum aufeinanderfolgenden Herausnehmen von Objekten aus einer Vielzahl von in zufälliger Weise gestapelten Objekten mittels eines Industrieroboters.

[0007] Die US 2008/0240511 A1 offenbart eine Vorrichtung zum Aufnehmen von Gegenständen, insbesondere von Werkstücken mit gekrümmten Formen, mit einem Roboter.

[0008] Die US 2007/0274812 A1 offenbart eine Entnahmevorrichtung für Werkstücke unter Verwendung eines Roboter-Manipulators, insbesondere eine Entnahme-vorrichtung und ein Entnahmeverfahren zur Reduzierung der Zeit, die zur Identifizierung eines Objekts mittels eines Beobachtungssensors erforderlich ist.

[0009] Die US 2008/0082213 A1 offenbart eine Werkstückentnahmevorrichtung zum sequentiellen Entnehmen von Werkstücken aus einer Gruppe von Werkstücken mit einem Roboter.

[0010] Die JP 2007-319 997 A offenbart eine Lehrvorrichtung mit einer Berechnungseinrichtung zum Berechnen der Haltefreigabeposition einer Roboterhand, und einer Bestimmungseinrichtung zum Bestimmen der Haltefreigabeposition.

[0011] Die vorliegende Erfindung wurde in Anbetracht der oben beschriebenen Umstände gemacht, und es ist daher die Aufgabe der Erfindung, eine Aufnehmervorrichtung für Werkstücke anzugeben, die dazu in der Lage ist, ein entsprechendes Werkstück aufzunehmen, während zugleich nur eine geringe im Voraus vorzuhaltende Datenmenge erforderlich ist und eine kurze Berechnungszeit erreicht werden kann.

[0012] Um die oben beschriebene Aufgabe zu lösen, wird gemäß der vorliegenden Erfindung eine Aufnehmervorrichtung für Werkstücke angegeben, die Folgendes aufweist: eine Hand zum Greifen eines Werkstücks; einen Roboter, um die Hand in eine gewünschte Greifposition oder Greifhaltung zu bringen; einen Sensor zum Durchführen einer dreidimensionalen Messung des Werkstückes, um Werkstück-Messdaten zu erhalten; ein Speichermedium zum Speichern zumindest von Hand-Profildaten; eine Informations-Verarbeitungseinheit zum Berechnen der Greifposition oder Greifhaltung auf der Basis von Daten von dem Sensor und Daten von dem Speichermedium; und eine Steuereinheit zum Steuern des Roboters auf der Basis von der mittels der Informations-Verarbeitungseinheit berechneten Greifposition oder Greifhaltung, wobei die Informations-Verarbeitungseinheit einen Bereich zum Erzeugen des am günstigsten zu greifenden Kandidaten aufweist, um direkt die Greifposition oder Greifhaltung auf der Basis von den Werkstück-Messdaten und den Hand-Profildata-

ten abzuleiten, und wobei eine Blickachsenrichtung des Sensors an der Eintrittsrichtung zu dem Zeitpunkt ausgerichtet ist, wenn die Hand sich an das Werkstück annähert, um das Werkstück aus der Menge der lose gehäuften Werkstücken aufzunehmen, wobei der Bereich zum Ermitteln des am günstigsten zu greifenden Kandidaten ein zweidimensionales Handmodell als Hand-Profilaten verwendet, und wobei er ein Abstandsbild als Werkstück-Messdaten verwendet, um dadurch eine Greifposition oder Greifhaltung zu berechnen, bei welcher sich ein Segment des in dem Abstandsbild entnommenen Werkstücks innerhalb einer Öffnungsweite der Hand befindet und die Hand eine Beeinflussung mit einem Segment im Außenbereich des Werkstückes vermeidet.

[0013] Mit der Aufnehmervorrichtung für Werkstücke gemäß der vorliegenden Erfindung kann aufgrund des Umstandes, dass der gleiche Algorithmus sogar dann verwendet wird, wenn sich ein Werkstückprofil geändert hat, das Werkstück aufgenommen werden, während zugleich eine kleine Menge von vorab vorzuhaltenden Daten und eine kurze Berechnungszeit erreicht werden.

[0014] Weitere Einzelheiten und Vorteile der Erfindung werden nachstehend anhand einiger in den Zeichnungen dargestellter und bevorzugter Ausführungsbeispiele näher erläutert.

Fig. 1 zeigt eine schematische Darstellung der Vorrichtung, die eine Aufnehmervorrichtung für Werkstücke gemäß einer ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung darstellt.

Fig. 2 zeigt ein Diagramm, das beispielhaft Hand-Profilaten und Hand-Profilmodelle auf der Basis von den Hand-Profilaten verdeutlicht.

Fig. 3 zeigt eine schematische Darstellung der Vorrichtung, die eine Aufnehmervorrichtung für Werkstücke gemäß einer zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung darstellt.

Fig. 4 zeigt eine schematische Darstellung der Vorrichtung, die eine Aufnehmervorrichtung für Werkstücke gemäß einer dritten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung darstellt.

Fig. 5 zeigt eine schematische Darstellung der Vorrichtung, die eine Aufnehmervorrichtung für Werkstücke gemäß einer vierten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung darstellt.

Fig. 6 zeigt ein Diagramm, das einen Teil der Aufnehmervorrichtung für Werkstücke gemäß einer fünften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung darstellt.

Fig. 7 zeigen Diagramme, die eine Beschränkung von Vorgängen eines Roboters und einer Hand beim Aufnehmen eines Werkstücks aus lose gehäuften Werkstücken darstellen.

Fig. 8 zeigt ein Diagramm, das eine Relation zwischen einer Blickachsenrichtung eines Sensors und einer Richtung eines Einführvorganges darstellt.

Fig. 9 zeigt ein Diagramm, das ein Beispiel eines Abstandsbildes darstellt.

Fig. 10 zeigt ein Diagramm, das ein Kamerabild zeigt sowie ein Abstandsbild, das durch Messung eines Zustandes lose gehäufter Werkstücke mittels eines dreidimensionalen Sensors erhalten worden ist.

Fig. 11 zeigt ein Diagramm, das beispielhaft ein zweidimensionales Hand-Modell zeigt, das in der fünften Ausführungsform verwendet werden soll.

Fig. 12 zeigt ein Konzeptdiagramm, das die Verarbeitung zum Erzeugen eines am günstigsten zu greifenden Kandidaten zeigt, indem das Abstandsbild und das zweidimensionale Hand-Modell verwendet werden.

Fig. 13 zeigt ein Flussdiagramm, das die Verarbeitung gemäß **Fig. 12** darstellt.

Fig. 14 zeigt ein Diagramm, das ein klareres sich ergebendes Bild einer Greifposition oder einer Haltung gemäß **Fig. 12** darstellt.

Fig. 15 ist ein erläuterndes Diagramm, das einen Zustand darstellt, in welchem eine Öffnungs-/Schließrichtung der Hand bei einer Greifposition senkrecht zu den Richtungen der Profilkanten eines Kandidaten-Segments ist, so dass sich ein stabilerer Greifzustand ergibt.

Fig. 16 ist eine schematische Darstellung der Vorrichtung, die die Aufnehmervorrichtung für Werkstücke gemäß der fünften Ausführungsform darstellt.

Fig. 17 ist ein Graph, der die Ergebnisse der Auswertung einer Erfolgsrate mittels eines Verfahrens gemäß der fünften Ausführungsform zeigt, wenn Werkstücke aufgenommen werden, für welche ein Greiftest nicht durchgeführt worden ist, und zwar infolge von Schwierigkeiten beim Erkennen der jeweiligen Werkstücke durch ein herkömmliches Verfahren, das auf einem Werkstückprofil beruht.

[0015] Nachfolgend wird eine Aufnehmervorrichtung für Werkstücke anhand von Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung unter Bezugnahme auf die Zeichnungen näher erläutert. Es sei angemerkt, dass in den Zeichnungen gleiche Bezugszeichen die gleichen oder einander entsprechende Teile bezeichnen.

[0016] **Fig. 1** zeigt eine schematische Darstellung der Vorrichtung, die eine Aufnehmervorrichtung für Werkstücke gemäß einer ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung darstellt. Die Aufnehmer-

vorrichtung für Werkstücke weist zumindest Folgendes auf: ein Speichermedium **1**, einen Sensor **2**, eine Informations-Verarbeitungseinheit **3**, eine Steuereinheit **4**, einen Roboter **5** und eine Hand **6**.

[0017] Das Speichermedium **1** speichert zumindest Hand-Profilaten. Der Sensor **2** ist derart ausgestaltet, dass er dreidimensionale Messdaten lose gehäufte Werkstücke erhält. Die Informations-Verarbeitungseinheit **3** gibt eine Greifposition oder Greifhaltung für ein Werkstück auf der Basis von den Daten aus dem Speichermedium **1** und dem Sensor **2** aus.

[0018] Die Steuereinheit **4** ist derart ausgestaltet, dass sie einen Betrieb des Roboters **5** und einen Betrieb der Hand **6** steuert, und zwar auf der Basis von den Greifpositions- oder Greifhaltungs-Daten, die durch die Informations-Verarbeitungseinheit **3** erhalten werden. Des Weiteren ist der Roboter **5** derart ausgestaltet, dass er die Hand **6** in eine beliebige Position oder Haltung bringt, und zwar auf der Basis von einer Anweisung von der Steuereinheit **4**, und die Hand **6** ist derart ausgestaltet, dass sie das Werkstück greift.

[0019] Der Sensor **2** kann an einem Ende des Roboters **5** angebracht sein, oder er kann an einer von dem Roboter **5** verschiedenen anderen geeigneten Befestigungsposition angebracht sein. Des Weiteren kann der Sensor **2** beispielsweise Folgendes sein: Eine Zweilinsen-Stereokamera oder eine Viellinsen-Stereokamera; eine aktive Stereokamera, die eine Licht-Projiziereinheit, wie beispielsweise einen Laser und einen Projektor, und eine Kameraeinheit enthält; eine Einrichtung, die das Flugzeitverfahren verwendet; eine Einlinsen-Einrichtung, die einen Roboterablauf verwendet, der auf dem Faktorzerlegungsverfahren, dem Struktur-aus-Bewegung-Verfahren und dem Struktur-und-Bewegung-Verfahren beruht; eine Bewegungs-Stereokamera; und eine Einrichtung, die das Volumenschnitt-Verfahren verwendet, solange der Sensor **2** dreidimensionale Daten in einem beliebigen Gebiet erfassen kann.

[0020] Die Hand **6** kann als eine Hand vom Typ eines Außengreifers ausgebildet sein, oder sie kann eine Hand vom Typ des Ansaugens und Anziehens sein, oder sie kann von dem Typ sein, bei welchem die Hand in eine Öffnung eingeführt und geöffnet wird (nachstehend als „vom Typ eines Innengreifers“ bezeichnet).

[0021] Eines der Merkmale der vorliegenden Erfindung besteht darin, dass die Greifposition oder Greifhaltung dynamisch ermittelt wird, und zwar auf der Basis von dem Hand-Profil und den Messdaten, anstatt die Greifposition oder Greifhaltung im Voraus auf der Basis von dem Werkstückprofil zu ermitteln. Genauer gesagt: Die Informations-Verarbeitungsein-

heit **3** weist einen Bereich **30** zum Erzeugen des am günstigsten zu greifenden Kandidaten auf, um dynamisch eine Greifposition in dem Gebiet zu ermitteln, das durch die von dem Sensor **2** kommenden Werkstück-Messdaten repräsentiert wird.

[0022] Des Weiteren weist der Bereich **30** zum Erzeugen des am günstigsten zu greifenden Kandidaten Folgendes auf: einen Bereich **301** zum Entnehmen eines Greifbarkeits-Merkmals, einen Hand-Abgleichbereich **302** und einen Bereich **303** zum Auswählen des Kandidaten für die Greifhaltung. Der Bereich **301** zum Entnehmen eines Greifbarkeits-Merkmals entnimmt Greifbarkeits-Merkmale aus den Werkstück-Messdaten des Sensors **2**.

[0023] Der Hand-Abgleichbereich **302** gleicht die Hand-Profilaten, die in dem Speichermedium **1** gespeichert sind, mit den Merkmalen ab, die durch den Bereich **301** zum Entnehmen eines Greifbarkeits-Merkmals entnommen werden, um dynamisch eine Vielzahl von Greifpositions-/Greifhaltungs-Kandidaten zu erzeugen. Der Bereich **303** zum Auswählen des Kandidaten für die Greifhaltung wählt aus den mittels des Hand-Abgleichbereichs **302** erzeugten Greifpositions-/Greifhaltungs-Kandidaten eine Greifposition oder Greifhaltung aus, die den einfachsten Greifvorgang ermöglicht. Nachfolgend werden die jeweiligen Bereiche ausführlicher beschrieben.

[0024] Der Bereich **301** zum Extrahieren oder Entnehmen eines Greifbarkeits-Merkmals entnimmt Merkmale, die von der verwendeten Hand **6** gegriffen werden können, und zwar unabhängig von dem vollständigen Werkstückprofil. Beispielsweise entsprechen in dem Fall der Hand **6** vom Typ eines Außengreifers diese Merkmale Vorsprüngen oder Kanten, die leicht einklemmbar sind. Im Falle der Hand vom Typ des Ansaugens und Anziehens entsprechen diese Merkmale einer Oberfläche, die eine vorgegebene Ausdehnung aufweist oder weiter ist. Im Falle der Hand vom Typ eines Innengreifers entsprechen die Merkmale ferner einer kreisförmigen Öffnung, die in der Oberfläche des Werkstücks ausgebildet ist.

[0025] Diese Merkmale können extrahiert werden, indem eine Kante, eine Oberfläche, ein Kreis und dergleichen an die dreidimensionalen Messdaten angepasst werden. Beispielsweise können folgende Verfahren zum Erfassen dieser Merkmale mit hoher Geschwindigkeit verwendet werden: ein Verfahren zur Kantenerkennung in einem Abstandsbild, bei welchem ein Abstand durch eine Helligkeit dargestellt wird, und zwar unter Verwendung des Canny-Operators, des Sobel-Operators oder dergleichen; ein Verfahren zum Extrahieren eines Kreises mittels der Hough-Transformation; ein Verfahren zum Extrahieren einer Oberfläche, indem ein Gebiet gekennzeichnet wird, das von Kanten umgeben ist, und ein Verfahren zum Detektieren eines texturierten Bereichs

als Vorsprünge, und zwar indem eine Kanten-Gradientenrichtung der Helligkeit und deren Intensität verwendet wird.

[0026] Diese Merkmale werden durch grundlegende Bildverarbeitung ermittelt, und daher wird die Verarbeitung selbst dann mit beträchtlich hoher Geschwindigkeit abgeschlossen, wenn eine große Anzahl von Merkmalen entnommen wird.

[0027] Der Hand-Abgleichbereich **302** gleicht die Merkmale, die durch den Bereich **301** zum Entnehmen eines Greifbarkeits-Merkmals entnommen wurden, mit den Hand-Profildaten (Modell) ab, die im Speichermedium **1** gespeichert sind. Dieses Abgleichen wird durchgeführt, indem Modelle gemäß den Handarten bereitgestellt werden, wie es beispielsweise in **Fig. 2** gezeigt ist.

[0028] Im Falle des Greifers vom Typ des Außengreifers kann das Abgleichen beispielsweise festgelegt werden durch eine Öffnungsweite des Handarms unmittelbar vor der Greifannäherung, eine Eindringtiefe und eine longitudinale Breite und eine laterale Breite der Hand.

[0029] Im Falle des Greifers vom Typ des Ansaugens und Anziehens kann das Abgleichen des weiteren festgelegt werden durch einen Radius des Ansaugens oder Anziehens, und im Falle des Greifers vom Typ des Innengreifers kann das Abgleichen festgelegt werden durch einen Radius der Einführöffnung, einen Radius der Werkstückoberfläche an der Begrenzungsfläche der Öffnung und die Eindringtiefe.

[0030] Die Hand-Profildaten haben, wie oben beschrieben, einfache Parameter, und daher ist die notwendige Datenmenge klein. Beim Ermitteln der Parameter können diese auf der Basis von CAD-Daten der Hand **6** berechnet werden, oder die Hand **6** kann direkt vermessen werden.

[0031] Beim Abgleichen mit dem Hand-Profilmodell, wie es oben beschrieben ist, wird zum Beispiel im Fall des Greifers vom Typ des Ansaugens und Anziehens der Kandidat auf ein Teil gesetzt, der einen hohen Übereinstimmungsgrad zwischen dem Modell und der Merkmale-Punktgruppe hat, eine Übereinstimmungs-Punktzahl des Kandidaten wird jedoch verringert, wenn der Übereinstimmungsgrad mit dem Modell klein ist, z.B. wegen einer kleinen Oberfläche des Merkmals oder einer Öffnung, die in der Oberfläche des Merkmals ausgebildet ist.

[0032] Im Falle eines 3D-Modells wird diese Verarbeitung umgesetzt, indem innerhalb der Punktgruppen unter Verwendung des Iterative-Closest-Point-(ICP-) Verfahrens oder dergleichen abgeglichen wird, und im Falle eines 2D-Modells wird diese Verarbeitung umgesetzt, indem ein Template-Abgleich oder

ein Abgleich unter Verwendung von Faltungsverarbeitung mit dem Modell durchgeführt wird, das als Filter betrachtet wird.

[0033] Im Falle des Greifers vom Typ des Außengreifers und des Greifers vom Typ des Innengreifers kann ferner gleichzeitig eine Beeinflussung durch die Umgebung berücksichtigt werden. Insbesondere wird zum Beispiel im Falle des Greifers vom Typ des Außengreifers diese Verarbeitung durchgeführt, indem die Übereinstimmungs-Punktzahl herabgesetzt wird, und zwar dann, wenn die Messdaten in einem Gebiet enthalten sind, das durch die Eindringtiefe und die longitudinale Breite und die laterale Breite der Hand definiert ist.

[0034] Der Hand-Abgleichbereich **302** berechnet Greifpositionen oder Greifhaltungen, die jeweils die höchste Übereinstimmungs-Punktzahl für die Vielzahl von Merkmalen haben, die mittels des Bereichs **301** zum Entnehmen eines Greifbarkeits-Merkmals entnommen worden sind, und er legt die Vielzahl von Greifpositionen oder Greifhaltungen als Greifpositions-/Greifhaltungs-Kandidaten fest.

[0035] Ersatzweise berechnet der Hand-Abgleichbereich **302** eine Vielzahl von Greifpositionen oder Greifhaltungen, die jeweils eine Übereinstimmungs-Punktzahl haben, die höher als ein vorgegebener Schwellenwert für ein Einzelmerkmal sind, die mittels des Bereichs **301** zum Entnehmen eines Greifbarkeits-Merkmals extrahiert worden sind, und er legt die Vielzahl von Greifpositionen oder Greifhaltungen als Greifpositions-/Greifhaltungs-Kandidaten fest.

[0036] Mittels der oben beschriebenen Verarbeitung können die Greifpositionen oder Greifhaltungen dynamisch definiert werden, und zwar sogar dann, wenn das Werkstückprofil nicht definiert ist.

[0037] Des Weiteren berechnet bei dem oben beschriebenen Abgleich der Bereich **301** zum Entnehmen eines Greifbarkeits-Merkmals eine Hauptnormale auf dem Abstandsbild, und folglich kann die Punktzahl durch zweidimensionalen Bildabgleich mit drei Freiheitsgraden vorgenommen werden, insbesondere mit zwei translatorischen Freiheitsgraden und einem rotatorischen Freiheitsgrad. Folglich ist es möglich, die Greifpositionen oder Greifhaltungen, die ein einfaches Greifen ermöglichen, mit hoher Geschwindigkeit zu berechnen, ohne dass sich die Merkmale gegenseitig beeinflussen.

[0038] Der Bereich **303** zum Auswählen des Kandidaten für die Greifhaltung wählt aus den mittels des Hand-Abgleichbereichs **302** erzeugten Greifpositions-/Greifhaltungs-Kandidaten einen Greifpositions-/Greifhaltungs-Kandidaten aus, der den einfachsten Greifvorgang ermöglicht. Der Bereich **303** zum Auswählen des Kandidaten für die Greifhaltung kann

einen Greifpositions-/Greifhaltungs-Kandidaten auswählen, der die höchste von dem Hand-Abgleichbereich **302** zugewiesene Punktzahl hat, und er kann des weiteren zusätzliche Prioritäten zuweisen.

[0039] Beispielsweise kann der Bereich **303** zum Auswählen des Kandidaten für die Greifhaltung eine durchschnittliche Höhe und Schwerpunktpositionen der Merkmale verwenden, die mittels des Bereichs **301** zum Entnehmen eines Greifbarkeits-Merkmals extrahiert worden sind, um ein Werkstück auszuwählen, das in dem Stapel von lose gehäuften Werkstücken zuoberst liegt.

[0040] Wenn, wie oben beschrieben, eine einzelne optimale Greifposition oder Greifhaltung von der Informations-Verarbeitungseinheit **3** erzeugt wird, steuert die Steuereinheit **4** den Betrieb des Roboters **5** und den Betrieb der Hand **6** basierend auf den Daten über den Greifposition-Kandidaten, und die Hand **6** greift das anvisierte Werkstück aus der Vielzahl der lose gehäuften Werkstücke und nimmt es auf.

[0041] Mit der Aufnehmervorrichtung für Werkstücke gemäß dieser Ausführungsform, die wie oben beschrieben aufgebaut ist, kann dann, wenn zumindest die Hand-Profildaten und die Hand-Profilmodelle auf der Basis von den Hand-Profildaten als Vorbereitungsinformationen vorgehalten werden, diejenige Greifposition oder Greifhaltung dynamisch berechnet werden, die weniger anfällig dafür ist, Beeinflussungen zwischen den Werkstücken am Rand und der Hand zu verursachen, und die ein einfaches Greifen ermöglicht, und zwar ungeachtet des Werkstückprofils und des Zustands des Stapels der lose gehäuften Werkstücke.

[0042] Folglich kann dann, indem der gleiche Algorithmus sogar dann verwendet wird, wenn sich das Werkstückprofil geändert hat, das Werkstück aufgenommen werden, während gleichzeitig erreicht wird, dass nur eine kleine Datenmenge im voraus vorgehalten werden muss und nur eine kurze Berechnungszeit vonnöten ist.

[0043] Des Weiteren ist es nicht nötig, eine Verarbeitung dahingehend durchzuführen, dass die Prioritäten der Werkstückteile jedes Mal neu definiert werden müssen, wenn sich das Hand-Profil geändert hat, und folglich ist es möglich, das Problem zu lösen, dass sich der Arbeitsaufwand und die Berechnungszeit einhergehend mit der Veränderung der Prioritäten erhöhen.

[0044] Bei der oben beschriebenen ersten Ausführungsform werden die Hand-Profildaten direkt mit den Werkstück-Messdaten abgeglichen, d. h., dass nur die Hand-Profildaten zum Berechnen der optimalen Greifposition oder Greifhaltung verwendet werden. Im Gegensatz dazu werden in der zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung die Greifpositionen oder Greifhaltungen beschränkt, und anschließend werden die Werkstück-Profildaten weiterverwendet, um einen Verschränkungszustand zwischen den Werkstücken abzuschätzen und um abzuschätzen, ob der Aufnahmevorgang erfolgreich ist oder nicht. Solch eine Abschätzung kann nicht durchgeführt werden, wenn nur die Messdaten verwendet werden.

[0045] Bei der zweiten Ausführungsform speichert das Speichermedium **1** zusätzlich zu den Hand-Profildaten auch die Werkstück-Profildaten, und wie in **Fig. 3** dargestellt ist, enthält die Informations-Verarbeitungseinheit **3** ferner einen Bereich **31** zum Ermitteln des Werkstückzustands, um auf der Basis von den Werkstück-Profildaten die Greifpositionen oder Greifhaltungen auszuwerten, die mittels des Bereichs **30** zum Erzeugen des am günstigsten zu greifenden Kandidaten berechnet werden.

[0046] Wie es in **Fig. 3** dargestellt ist, beinhaltet der Bereich **31** zum Ermitteln des Werkstückzustands einen Werkstück-Abgleichbereich **311**, einen Bereich **312** zum Schätzen des Verschränkungszustandes der Werkstücke, einen Bereich **313** zum Schätzen des Aufnahmevorganges des Werkstückes und einen Bereich **314** zum Auswählen des Kandidaten für die Greifhaltung.

[0047] Der Bereich **312** zum Schätzen des Verschränkungszustandes der Werkstücke ist dazu ausgelegt, einen Vorgang zum Erkennen einer Beeinflussung zwischen den Werkstückmodellen auszuführen, welche mittels Abgleichs zwischen den Werkstück-Messdaten und den Werkstück-Profildaten erzeugt wird, so dass eine Verschränkung zwischen den lose gehäuften Werkstücken ermittelt wird, welche in den Werkstück-Messdaten nicht beobachtet wird. Hierbei wird dann denjenigen Greifpositionen oder Greifhaltungen der Vorzug gegeben, welche sich auf Objekte mit geringerer Verschränkung beziehen.

[0048] Der Bereich **313** zum Schätzen des Aufnahmevorganges des Werkstückes ist dazu ausgelegt, einen Vorgang zum Berechnen der Schwerpunktpositionen der jeweiligen Werkstücke zum Greifzeitpunkt auszuführen, und zwar auf der Basis von den Hand-Profildaten, den Werkstück-Profildaten und den berechneten Greifpositionen oder Greifhaltungen, und auf der Basis von den Schwerpunktpositionen denjenigen Greifpositionen oder Greifhaltungen den Vorzug zu geben, welche ein geringeres Herunterfallrisiko des Werkstückes nach dem Greifen oder eine geringere Neigung des Werkstückes nach dem Greifen aufweisen.

[0049] Nachfolgend werden Arbeitsabläufe der jeweiligen Bereiche ausführlicher beschrieben. Zunächst ist der Bereich **30** zum Erzeugen des am

günstigsten zu greifenden Kandidaten im Wesentlichen der gleiche wie der Bereich **30** zum Erzeugen des am günstigsten zu greifenden Kandidaten gemäß der ersten Ausführungsform. Er ist jedoch dahingehend verschieden, dass der Bereich **30** zum Erzeugen des am günstigsten zu greifenden Kandidaten der zweiten Ausführungsform eine Vielzahl von Greifpositionen oder Greifhaltungen auswählt, anstatt nur eine Greifposition oder Greifhaltung auszuwählen, von welcher festgestellt werden kann, dass sie optimal ist. In diesem Fall können Punktzahlen zum Zuweisen von Prioritäten für die Vielzahl von ausgewählten Greifpositionen oder Greifhaltungen erzeugt werden.

[0050] Die Greifpositionen oder Greifhaltungen, die von neuem mittels des Bereichs **30** zum Erzeugen des am günstigsten zu greifenden Kandidaten berechnet werden, und die extrahierten Merkmale, die zur Berechnung verwendet werden, werden als Anfangskandidaten festgelegt, und der Werkstück-Abgleichbereich **311** gleicht die Anfangskandidaten mit den Werkstück-Profilaten ab.

[0051] Die Tatsache, dass die Anfangskandidaten bereits bestimmt worden sind, entspricht der Vervollständigung der anfänglichen Suche, die zum Abgleich mit den Werkstückmodellen durchgeführt wurde. Wenn die Merkmale durch dreidimensionale Punktgruppen oder Kanten-Punktgruppen gebildet sind, wird in diesem Fall ein genauer Abgleich mittels des ICP-Verfahrens oder dergleichen durchgeführt.

[0052] Im Falle eines zweidimensionalen Bildes kann Folgendes zum Einsatz kommen: Template-Abgleich mit drei Freiheitsgraden, insbesondere mit zwei translatorischen Freiheitsgraden und einem rotatorischen Freiheitsgrad, Abgleich unter Verwendung von Hash-Werten, Silhouetten-Abgleich oder ein Abgleich, der auf der geometrischen Relation zwischen den Merkmalen beruht.

[0053] Des Weiteren können Teile des Werkstücks, von denen es wahrscheinlich ist, dass sie als Merkmale von dem Bereich **30** zum Erzeugen des am günstigsten zu greifenden Kandidaten entnommen werden, im voraus ermittelt werden, um die Suchweite für den Abgleich einzugrenzen, was zu einem Abgleich mit höherer Geschwindigkeit führt.

[0054] Der Bereich **312** zum Schätzen des Verschränkungszustandes der Werkstücke erhält zugehörige Werkstückmodelle, indem er die Werkstück-Messdaten mit den Werkstück-Profilaten für ein Werkstück abgleicht, das einer vorgegebenen Greifposition oder Greifhaltung und einer Werkstückgruppe im Außenbereich des Werkstückes entspricht. Der Bereich **312** zum Schätzen des Verschränkungszustandes der Werkstücke analysiert dann die Zustän-

de dieser Werkstückmodelle, um die Beeinflussung zwischen den Werkstücken zu bestimmen.

[0055] Wenn sich Teile der jeweiligen Werkstückmodelle in der gleichen Position befinden, so dass sich die Werkstückmodelle untereinander beeinflussen, so führt der Bereich **312** zum Schätzen des Verschränkungszustandes der Werkstücke zum Beispiel eine Verarbeitung dahingehend durch, dass die Greifpositionen oder Greifhaltungen ausgeschlossen werden, die solchen Werkstückmodellen unter den Kandidaten entsprechen, oder er führt eine Verarbeitung dahingehend durch, dass die Prioritäten der Kandidatenauswahl in dem Bereich **314** zum Auswählen des Kandidaten für die Greifhaltung vermindert werden.

[0056] In diesem Fall kann sogar dann, wenn sich die Werkstückmodelle nicht gegenseitig beeinflussen, der Bereich **312** zum Schätzen des Verschränkungszustandes der Werkstücke den Aufnahmevorgang für die Werkstückmodelle simulieren, und wenn die Werkstückmodelle infolge des Betriebs an andere Werkstückmodelle im Außenbereich angrenzen, dann kann der Bereich **312** zum Schätzen des Verschränkungszustandes der Werkstücke auf ähnliche Weise die entsprechenden Greifpositionen oder Greifhaltungen von den Kandidaten ausschließen oder deren Prioritäten herabsetzen.

[0057] Der Bereich **313** zum Schätzen des Aufnahmeprozesses des Werkstückes simuliert den Greifvorgang, indem er eine gegebene Greifposition oder Greifhaltung und ein dazugehöriges Werkstückmodell verwendet, und indem er des weiteren ein zugehöriges Hand-Profilmodell bei der Greifposition oder Greifhaltung verwendet. Wenn die Hand das Werkstück bei der Greifposition oder Greifhaltung greift, berechnet der Bereich **313** zum Schätzen des Aufnahmeprozesses des Werkstückes eine bestimmte Schwerpunktposition des Werkstückes, aber er lässt unberücksichtigt oder verringert die Priorität derjenigen Greifposition oder Greifhaltung, welche ein hohes Fallrisiko zum Zeitpunkt des Aufnahmeprozesses zeigt.

[0058] Um diese Verarbeitung durchzuführen, kann der Bereich **313** zum Schätzen des Aufnahmeprozesses des Werkstückes das Fallrisiko bestimmen, indem er zum Beispiel einen Auswertungsindex auf einen euklidischen Abstand festlegt, und zwar zwischen der Greifposition der Hand, die gemäß **Fig. 2** vorbereitet worden ist, und der berechneten Schwerpunktposition des Werkstückes.

[0059] Der Bereich **314** zum Auswählen des Kandidaten für die Greifhaltung wählt eine optimale Greifposition oder Greifhaltung aus, und zwar auf der Basis von den Prioritäten, die mittels des Bereiches **312** zum Schätzen des Verschränkungszustandes

der Werkstücke und mittels des Bereiches **313** zum Schätzen des Aufnahmevorganges des Werkstückes ausgewertet worden sind. In diesem Fall können die Punktzahlen verwendet werden, die den Kandidaten durch den Bereich **30** zum Erzeugen des am günstigsten zu greifenden Kandidaten zugewiesen worden sind. Die jeweiligen Auswertungsindizes können durch Linearkombination, wie z. B. eine Addition, oder durch nichtlineare Kombination, wie z. B. Multiplikation, dargestellt werden.

[0060] Des Weiteren kann beispielsweise ein Auswahlverfahren verwendet werden, welches hauptsächlich auf die Punktzahlen des Bereiches **30** zum Erzeugen des am günstigsten zu greifenden Kandidaten zurückgreift und diejenigen Kandidaten außer Acht lässt, welche solche Prioritäten des Bereiches **312** zum Schätzen des Verschränkungszustandes der Werkstücke und des Bereiches **313** zum Schätzen des Aufnahmevorganges haben, die Werte aufweisen, die gleich groß wie oder kleiner als ein vorgegebener Wert sind.

[0061] Mit der Aufnehmervorrichtung für Werkstücke gemäß der zweiten Ausführungsform kann ähnlich wie bei der ersten Ausführungsform ein Kandidat ausgewählt werden, der weniger anfällig dafür ist, Beeinflussungen mit der Hand hervorzurufen, und der ein hochgenaues Greifen ermöglicht, während gleichzeitig die Datenmenge, der Arbeitsaufwand zum Registrieren der Modelle und die Berechnungszeit verringert werden. Außerdem wird bei dieser Ausführungsform eine Greifposition oder Greifhaltung ausgewählt, die weniger anfällig dafür ist, eine Verschränkung zwischen den Werkstücken hervorzurufen, und die es ermöglicht, dass das Werkstück mit einem geringeren Misserfolgs- oder Fallrisiko während des Aufnahmevorganges aufgenommen wird, und daher kann auch ein Aufnahmevorgang mit einer höheren Erfolgsrate umgesetzt werden.

[0062] Unter Bezugnahme auf **Fig. 4** wird eine Aufnehmervorrichtung für Werkstücke gemäß einer dritten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung erläutert. Die dritte Ausführungsform ist derart aufgebaut, dass - ausgehend von der oben beschriebenen zweiten Ausführungsform - das Speichermedium **1** darüber hinausgehend Daten zu einer Greifposition oder Greifhaltung bei der nachfolgenden Tätigkeit oder dem nachfolgenden Betrieb speichert. Wie es in **Fig. 4** dargestellt ist, beinhaltet die Informations-Verarbeitungseinheit **3** ferner einen Bereich zum Schätzen der nachfolgenden Tätigkeit bzw. des nachfolgenden Betriebs, um einen Kandidaten für die Greifposition zu schätzen, der für die nachfolgende Tätigkeit geeignet ist.

[0063] Ein Bereich zum Schätzen der nachfolgenden Tätigkeit bzw. des nachfolgenden Betriebs **32** schätzt den Kandidaten für die Greifposition auf der

Basis von der Greifposition oder Greifhaltung bei der nachfolgenden Tätigkeit oder dem nachfolgenden Betrieb, welcher in dem Speichermedium **1** gespeichert wird. Wenn bei diesem Schätzvorgang diejenige Tätigkeit, die der Tätigkeit der Aufnahme des Werkstückes folgt, beispielsweise eine Montage des Werkstückes an einem Produkt in einem Montagevorgang ist, dann ist die Greifposition oder Greifhaltung für das Werkstück, die während der Montage benötigt wird, begrenzt auf eine Greifposition oder Greifhaltung, die für den Montagevorgang geeignet ist.

[0064] Zum Beispiel kann das Werkstück, das in einer umgedrehten Haltung gegriffen wird, in vielen Fällen nicht direkt montiert werden, und des weiteren ist es schwierig, die während des Greifvorganges eingenommene Haltung des Roboters in großem Maße zu ändern. Ein kleiner Fehler ist tolerierbar, aber wenn der Greifvorgang mit einem großen Fehler vorgenommen wird, oder wenn er in einer Haltung vorgenommen wird, die von der Montagehaltung verschieden ist, dann muss die Werkstück-Greifhaltung geändert werden, was sich in einer erhöhten Tätigkeitszeit und einem erhöhten Aufwand niederschlägt.

[0065] Wenn festgestellt wird, dass die Werkstück-Greifhaltung für eine nachfolgende Tätigkeit verglichen mit der Werkstück-Greifhaltung während des Aufnahmevorganges verändert werden muss, dann vermindert bei dieser Ausführungsform daher der Bereich **32** zum Schätzen der nachfolgenden Tätigkeit bzw. des nachfolgenden Betriebs die Priorität der Greifposition/Greifhaltung als Kandidat, oder er verwirft die Greifposition/Greifhaltung als Kandidat. Es sei angemerkt, dass sich die nachfolgende Tätigkeit hierbei beispielsweise auf ein Transportieren, Palettieren und Verpacken sowie den Zusammenbau bezieht.

[0066] Als ein Verfahren zum Bestimmen, ob oder ob nicht die Werkstück-Greifhaltung verglichen mit der Werkstück-Greifhaltung während des Aufnahmevorganges verändert werden muss, simuliert der Bereich **32** zum Schätzen der nachfolgenden Tätigkeit bzw. des nachfolgenden Betriebs einen Greifzustand des Werkstückes, indem er das Werkstück-Profilmodell, das Hand-Profilmodell und die Greifposition oder Greifhaltung verwendet.

[0067] Als ein typisches Beispiel gleicht der Bereich **32** zum Schätzen der nachfolgenden Tätigkeit bzw. des nachfolgenden Betriebs das Werkstück-Profilmodell in einem Zustand, in dem es von dem Hand-Profilmodell gegriffen wird, mit dem Werkstück-Profilmodell in einem Zustand ab, in dem es von dem Hand-Profilmodell an der Werkstück-Position gegriffen wird, die erhalten wird, indem die nachfolgende Tätigkeit, wie beispielsweise der Zusammenbauvorgang simuliert wird.

[0068] Wenn der Roboter eine Transformationsmatrix zwischen den Positionen oder Haltungen der jeweiligen Handprofile in einem Zustand erzeugen kann, in welchem die Positionen oder Haltungen der jeweiligen Werkstück-Profilmodelle miteinander abgeglichen werden, dann ermittelt der Bereich **32** zum Schätzen der nachfolgenden Tätigkeit bzw. des nachfolgenden Betriebs, dass der Betrieb während der nachfolgenden Tätigkeit ausgeführt werden kann, ohne die Werkstück-Greifhaltung zu ändern.

[0069] Wenn der Roboter die Transformationsmatrix nicht berechnen kann, dann ermittelt der Bereich **32** zum Schätzen der nachfolgenden Tätigkeit bzw. des nachfolgenden Betriebs, dass es notwendig ist, zusätzlich eine Tätigkeit dahingehend auszuführen, dass die Werkstück-Greifhaltung verändert wird, und zwar indem beispielsweise das Werkstück nochmals in einer anderen Haltung gegriffen wird, oder indem das Werkstück einer anderen Roboterhand übergeben wird.

[0070] Mit der Aufnehmervorrichtung für Werkstücke gemäß dieser Ausführungsform, die wie oben beschrieben aufgebaut ist, kann das Werkstück ähnlich wie bei den oben erwähnten Ausführungsformen aufgenommen werden, während gleichzeitig eine geringe im voraus vorzuhaltende Datenmenge und eine kurze Berechnungszeit erreicht werden. Des Weiteren kann die Taktzeit verkürzt werden, da die Tätigkeit unterbunden wird, mit welcher die Werkstück-Greifhaltung verändert wird.

[0071] Die dritte Ausführungsform, die in **Fig. 4** gezeigt ist, sieht vor, dass mittels des Bereiches **31** zum Ermitteln des Werkstückzustands die Vielzahl von Greifpositions-/Greifhaltungs-Kandidaten durch Verarbeitung überprüft werden, die mittels des Bereiches **30** zum Erzeugen des am günstigsten zu greifenden Kandidaten berechnet werden, und dass dann weiter die sich ergebenden Greifpositions-/ Greifhaltungs-Kandidaten mittels des Bereiches **32** zum Schätzen der nachfolgenden Arbeit bzw. des nachfolgenden Betriebs überprüft werden.

[0072] Wie in **Fig. 5** dargestellt, sieht im Gegensatz dazu eine vierte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung vor, dass mittels des Bereiches **31** zum Ermitteln des Werkstückzustands und des Bereiches **32** zum Schätzen der nachfolgenden Arbeit bzw. des nachfolgenden Betriebs auf parallele Weise diejenige Vielzahl von Greifpositions-/Greifhaltungs-Kandidaten ausgewertet wird, die mittels des Bereiches **30** zum Erzeugen des am günstigsten zu greifenden Kandidaten berechnet werden, und die Auswertungen schließlich in umfassender Weise mittels eines Bereiches **33** zum Auswählen des Kandidaten für die Greifhaltung ermittelt werden.

[0073] In diesem Fall kann die Auswertung in einer derartigen Weise vorgenommen werden, dass die Punktzahlen der Kandidaten, die mittels des Bereiches **30** zum Erzeugen des am günstigsten zu greifenden Kandidaten berechnet werden, und die Auswertungswerte des Bereiches **31** zum Ermitteln des Werkstückzustands und des Bereiches **32** zum Schätzen der nachfolgenden Arbeit bzw. des nachfolgenden Betriebs durch Linearkombination, wie Addition, oder nicht-lineare Kombination, wie Multiplikation, dargestellt werden.

[0074] Des Weiteren kann zusätzlich beispielsweise eine Verarbeitung dahingehend durchgeführt werden, dass ein Auswahlverfahren dazwischen eingefügt wird, welches hauptsächlich auf die Punktzahlen des Bereiches **30** zum Erzeugen des am günstigsten zu greifenden Kandidaten zurückgreift und diejenigen Kandidaten außer Acht lässt, die solche Auswertungswerte von dem Bereich **31** zum Ermitteln des Werkstückzustands und dem Bereich **32** zum Schätzen der nachfolgenden Arbeit bzw. des nachfolgenden Betriebs haben, die gleich groß wie oder kleiner als ein vorgegebener Wert sind.

[0075] Gemäß diesem Aufbau kann ähnlich wie bei der dritten Ausführungsform die Taktzeit verkürzt werden, indem eine genaue Aufnahmetätigkeit realisiert wird und indem die Tätigkeit unterbunden wird, mit welcher die Werkstück-Greifhaltung verändert wird. Außerdem kann eine flexible Gestaltung für die Verwendung der Auswertungswerte erzielt werden, und zwar beispielsweise gemäß einem Teil einer konkreten Produktionsanlage, die fehleranfällig ist.

[0076] Es wird eine Ausführungsform zum Umsetzen eines vielseitigen Aufnahmeprozesses für ein Werkstück aus lose gehäufteten Werkstücken beschrieben, welcher eine Verarbeitung mit hoher Geschwindigkeit erlaubt und eine Anpassung unabhängig von dem Werkstückprofil erleichtert. **Fig. 6** zeigt einen Teil einer Aufnehmervorrichtung für Werkstücke gemäß einer fünften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Die Hand **6** vom Typ eines Außengreifers und der Sensor **2** zur dreidimensionalen Messung sind an dem Ende des Roboters **5** angebracht. Der Roboter **5** in **Fig. 6** ist ein Gelenkroboter mit sechs Freiheitsgraden, aber er kann stattdessen auch ein Gelenkroboter mit sieben Freiheitsgraden sein.

[0077] Alternativ kann der Roboter **5** ein Doppelarm-Roboter, ein Vertikal-Skalarroboter oder ein Parallel-Link-Roboter sein. Des Weiteren ist der Sensor **2** an dem Ende des Roboters **5** angebracht, um mit diesem zusammen bewegbar zu sein, aber der Sensor **2** kann alternativ getrennt von dem Roboter befestigt und angebracht sein, oder er kann an einem anderen beweglichen Gestell angebracht sein.

[0078] Die Vorgänge des Roboters und der Hand beim Aufnehmen eines Werkstückes aus lose gehäuften Werkstücken sind eingeschränkt, wie es in den **Fig. 7** dargestellt ist. Es wird angenommen, dass an der Position an dem Ende der Hand **6** der Roboter **5** ein Koordinatensystem mit X-, Y- und Z- Richtung aufweist, wie es in den **Fig. 7** dargestellt ist.

[0079] Wie in **Fig. 7 (a)** dargestellt, wird in diesem Fall die Position oder Haltung der Hand **6** oberhalb des Versorgungsbehälters eingestellt, so dass eines der gehäuften Objekte in dem Versorgungsbehälter gegriffen werden kann, und zwar mit einem Vorgang mit zwei translatorischen Freiheitsgraden entlang der X-Achse und der Y-Achse und einem rotatorischen Freiheitsgrad um die Z-Achse.

[0080] Wie es in **Fig. 7(b)** dargestellt ist, dringt dann die Hand **6** in den Versorgungsbehälter **7** ein, um das Werkstück zu greifen, und zwar mit einer Bewegung mit einem translatorischen Freiheitsgrad in der Z-Richtung.

[0081] Wie es in **Fig. 7(c)** dargestellt ist, wird des weiteren die Hand **6** angehoben, während sie das Werkstück greift, und zwar mit einem Vorgang mit einem translatorischen Freiheitsgrad in der Z-Richtung. Diese Vorgänge werden durch Vorgänge mit insgesamt vier Freiheitsgraden ausgeführt, nämlich drei translatorischen Freiheitsgraden und einem rotatorischen Freiheitsgrad.

[0082] Es ergeben sich viele Vorteile aus den oben erwähnten Vorgängen. Beispielsweise gilt in einem Fall, wenn die Bewegung mit sechs Freiheitsgraden aus dem Aktionsbereich des Roboters **5** herausfällt, Folgendes: Der Roboter hält **5** infolge eines Fehlers an, wenn der Roboter **5** derart angesteuert wird, dass er die Bewegung mit sechs Freiheitsgraden im Einklang mit der Haltung des Werkstücks durchführen soll.

[0083] Wenn jedoch der Aufnahmevorgang durch die oben erwähnten Vorgänge mit insgesamt vier Freiheitsgraden realisiert werden kann, dann kann eine derartige Situation mit hoher Wahrscheinlichkeit vermieden werden. Zusätzlich ist es möglich, ein Risiko dahingehend zu vermeiden, dass der Roboter **5** oder die Hand **6** mit dem Versorgungsbehälter **7**, dem Sensor **2** oder dergleichen infolge der komplexen Bewegung mit sechs Freiheitsgraden zusammenstoßen.

[0084] Es ist leicht, den Aktionsbereich des Roboters, den Sicherheitsbereich und den Bereich zum Verhindern von Beeinflussungen zu konzipieren, wenn eine Bewegung mit vier Freiheitsgraden zum Einsatz kommt. Wenn der Vorgang mit insgesamt vier Freiheitsgraden durchgeführt wird, kann des weiteren ein Vertikal-Skalarroboter als Roboter **5** zum Ein-

satz kommen, der kostengünstig ist und mit hoher Geschwindigkeit arbeitet.

[0085] Wenn der Eintrittsvorgang beim Annähern an das Werkstück auf einen Vorgang mit einem Freiheitsgrad begrenzt wird, wie es in **Fig. 8** gezeigt ist, dann ist die Blickachsenrichtung des Sensors **2** an der Richtung des Eintrittsvorganges ausgerichtet. Die Blickachsenrichtung des Sensors bezieht sich hierbei auf eine optische Achse einer Kameralinse. In diesem Fall kann die Greifposition oder Greifhaltung mit hoher Geschwindigkeit berechnet werden, und zwar indem nur die Bildverarbeitung auf der Basis von dem Abstandsbild, das durch den Sensor **2** aufgenommen wird, und dem zweidimensionalen Modell des Handprofils durchgeführt wird, wie es in **Fig. 2** gezeigt ist (nachstehend als „zweidimensionales Handmodell“ bezeichnet).

[0086] **Fig. 9** zeigt ein Beispiel des Abstandsbildes. In einem Fall, in welchem ein Bild von einer Kamera aufgenommen wird, beinhaltet jedes Pixel eine Lichtreflexionsmenge auf der Oberfläche des Objekts als einen Helligkeitswert. Andererseits beinhaltet im Falle eines Abstandsbildes jedes Pixel eine Höhe eines zugehörigen Teils des Objekts. Das Abstandsbild aus **Fig. 9** zeigt, dass ein Teil heller ist, das näher an dem Sensor **2** liegt, welcher das Bild aufgenommen hat, und dass ein Teil, der von dem Sensor **2** beabstandet ist, dunkler ist.

[0087] Bei dem Abstandsbild können dreidimensionale Informationen, die eine Höhe enthalten, als ein Bild behandelt werden, und daher ergibt sich ein Vorteil dahingehend, dass der Berechnungsaufwand kleiner ist im Vergleich mit dem Fall, wenn die Informationen als dreidimensionale Positionsdaten behandelt werden. Zudem sind in dem Fall des Abstandsbildes viele Bildverarbeitungsverfahren anwendbar, die herkömmlicherweise im Produktionsumfeld verwendet wurden.

[0088] Das Abstandsbild kann durch ein dreidimensionales Messverfahren erhalten werden, das dazu geeignet ist, Höheninformation zu erlangen, wie beispielsweise kodierte Streifenprojektionsmessung (räumlich-kodiertes Verfahren) und ein stereographisches Verfahren, und durch einen dreidimensionalen Sensor zum Realisieren des dreidimensionalen Messverfahrens. **Fig. 10** zeigt ein Kamerabild und ein Abstandsbild, das durch Messung eines Zustandes lose gehäufter Werkstücke mittels des dreidimensionalen Sensors erhalten wurde.

[0089] Es wird ein Verfahren zum Erzeugen eines optimal zu greifenden Kandidaten beschrieben, das zum Aufnehmen eines Werkstückes bei dem oben beschriebenen Aufbau verwendet werden soll, wobei die Abläufe des Roboters auf Vorgänge mit vier Freiheitsgraden beschränkt sind, wobei die Blickachsen-

richtung des Sensors **5** an der Richtung des Eintrittsvorganges ausgerichtet ist, und wobei das Abstandsbild lose gehäufte Werkstücke verwendet wird.

[0090] Es sei angemerkt, dass die nachfolgende Beschreibung einzig auf den Fall des Aufnehmens und Greifens des Werkstückes bezogen wird, und zwar unabhängig von der Greifhaltung des Werkstückes. CAD-Daten, Punktgruppensdaten, Abstandsdaten, zweidimensionale Bilddaten und Teilinformationen des Werkstücks (Fläche des Werkstücks in einem bestimmten Teil, Kantenlängen, Texturmerkmale, geometrische Relationen zwischen den charakteristischen Teilen des Werkstücks, wie beispielsweise einem Loch) werden nicht vorab vorbereitet.

[0091] Dies hat das Ziel, den Arbeitsaufwand zu verringern, der zur Vorab-Anpassung an das Werkstückprofil benötigt wird, und den Anstieg der Datenmenge durch den Anstieg der zu handhabenden Anzahl an Werkstücken zu vermeiden.

[0092] Ein zweidimensionales Handmodell, wie es in **Fig. 11** dargestellt ist, wird zum Berechnen der Greifposition für das Werkstück auf der Basis von dem Abstandsbild verwendet. Das zweidimensionale Handmodell wird erhalten, indem das in **Fig. 2** dargestellte 2D-Hand-Profilmodell vom Typ des Außengreifers weiter vereinfacht wird, und die distalen Endbereiche der Hand, welche an das Werkstück in dem Moment angrenzen, wenn die Hand **6** den Eintrittsvorgang und die Greifvorgänge durchführt, werden durch kreisförmige Beeinflussungsbereiche dargestellt.

[0093] Es gibt zwei Beeinflussungsbereiche, die den äußeren Enden der Hand zum Greifen des Werkstückes entsprechen, und daher kann das zweidimensionale Handmodell durch nur insgesamt zwei Parameter festgelegt werden, nämlich den Radius eines jeden Kreises und die Öffnungsweite der Hand, welche das Positionsverhältnis zwischen den zwei Kreisen festlegt. Wenn jedes der äußeren Enden der Hand ein Quader ist, kann das zweidimensionale Handmodell durch drei Parameter dargestellt werden, nämlich die Länge und Breite des Quaders anstatt des Radius des Kreises. Alternativ kann das zweidimensionale Handmodell durch Parameter festgelegt werden, die ein Polygon oder eine Ellipse beschreiben.

[0094] Das zweidimensionale Handmodell muss jedoch nicht so streng wie in dem oben beschriebenen Fall festgelegt werden. Die Hand funktioniert sogar dann richtig, wenn näherungsweise Kreise in dem Modell zum Vermeiden der Beeinflussung verwendet werden, solange der Radius eines jeden näherungsweise Kreises ausreichend groß festgelegt wird, um den gesamten Beeinflussungsbereich abzudecken.

[0095] **Fig. 12** zeigt modellhaft die Verarbeitung zum Erzeugen eines optimal zu greifenden Kandidaten durch die Verwendung des Abstandsbildes und des zweidimensionalen Handmodells. **Fig. 13** zeigt eine dementsprechende Ablaufsteuerung. Bei dieser Verarbeitung werden zunächst Segmente aus dem Abstandsbild entnommen. Segment bezeichnet hierbei einen ebenen oder gekrümmten Bereich einer Oberfläche des Werkstückes, der von Profilkanten umgeben ist. Die Segmentierung bezieht sich auf die Extraktion von Segmenten. Die Extraktion wird durch Kantenabtastung in dem Abstandsbild unter Verwendung des Canny-Operators oder des Sobel-Operators realisiert.

[0096] Die Kante in dem Abstandsbild bezieht sich auf die Profilkante des Objektes selbst. Der Bereich, der durch die detektierten Kanten segmentiert wird, bezieht sich auf den ebenen oder gekrümmten Bereich des Werkstückes. Mittels dieses Verfahrens können die Segmente auch für dünne Schrauben, Federn und dergleichen extrahiert werden, für welche ein Modellabgleich mit dem Werkstückprofil schwierig durchgeführt werden kann.

[0097] Anschließend wird die große Anzahl extrahierter Segmente auf einige Kandidaten eingegrenzt. Dieses Eingrenzen trägt zu der Verringerung der Berechnungszeit bei, aber das Verarbeiten selbst kann sogar dann realisiert werden, wenn sämtliche Segmente als Kandidaten ausgewählt werden, und daher kann die vorliegende Erfindung auch ausgeführt werden, ohne die Segmente einzugrenzen.

[0098] Als Verfahren zum Auswählen der Kandidaten kann beispielsweise eine Vielzahl von Segmenten in einer absteigenden Abfolge aus einem Segment ausgewählt werden, das an der höchsten Position angeordnet ist, oder die Kandidaten können auf der Basis von den Flächen der Segmente anstelle der Höheninformationen ausgewählt werden. Aus der Menge dieser Kandidaten wird eine Greifposition oder Greifhaltung ausgegeben, die die höchste Punktzahl (Greifwahrscheinlichkeit) hat, die sich aus dem oben beschriebenen Abgleich ergibt.

[0099] Die Segmente, die als Kandidaten ausgewählt sind, werden jeweils mit dem zweidimensionalen Handmodell abgeglichen. Auf diese Weise wird eine Suche nach einer Position durchgeführt, die ein stabiles Greifen ohne Kollisionen ermöglicht. Diese Verarbeitung wird realisiert, indem nach einer Greifposition oder Greifhaltung gesucht wird, und zwar in einem Bereich, der 1) sicherstellt, dass eine große Fläche des Segments in der Öffnungsweite der Hand vorhanden ist und 2) eine Beeinflussung und Kollision zwischen den Beeinflussungsbereichen an den äußeren Enden der Hand und dem Außenbereich des Segments verhindert.

[0100] Der Bereich 1) kann berechnet werden, indem eine Faltungsverarbeitung des Kandidatensegments und des Teils der Öffnungsweite der Hand durchgeführt wird, und der Bereich 2) kann berechnet werden, indem eine Faltungsverarbeitung des Kandidatensegments unter Einschluss seiner Umgebung, welche eine Kollision verursachen kann, und den Beeinflussungsbereichen an den äußeren Enden der Hand durchgeführt wird. Wenn der Bereich 2) von dem Bereich 1) abgezogen wird, kann ein „Bereich, der ein Greifen ermöglicht und kein Risiko einer Kollision zeigt“ erhalten werden.

[0101] Der sich ergebende Bereich wird geglättet und dann als eine Greifwahrscheinlichkeit dargestellt, wie es in **Fig. 12** gezeigt ist. Das bedeutet, dass die zu berechnende Greifposition oder Greifhaltung eine Position oder Haltung des Handmodells zu dem Zeitpunkt ist, in welchem die maximale Wahrscheinlichkeit aufgezeichnet wird. Diese Position oder Haltung wird für das einzige Segment berechnet, das als Kandidat ausgewählt worden ist, oder für die Vielzahl an Segmenten, die als Kandidaten ausgewählt sind.

[0102] Im Falle eines einzigen Segments wird eine Position oder Haltung des Handmodells ausgewählt, die die maximale Wahrscheinlichkeit in dem Segment angibt. Im Falle der Vielzahl von Segmenten wird eine Position oder Haltung des Handmodells ausgewählt, die den höchsten Wert der maximalen Wahrscheinlichkeit in dem Segment unter den maximalen Wahrscheinlichkeiten in den jeweiligen Segmenten angibt.

[0103] Das sich ergebende Bild der Greifposition oder Greifhaltung, das in **Fig. 12** dargestellt ist, zeigt, dass das folglich ausgegebene Berechnungsergebnis eine Greifeignung angibt, die im Wesentlichen senkrecht zu der Kante an der Schwerpunktposition eines teilweise hervorstehenden Bereiches des Werkstückes durchgeführt wird. Der Wert „92“ wird erhalten, indem die Greifwahrscheinlichkeit bezüglich der Fläche normiert wird, und sie gibt die „Einfachheit, das Werkstück zu greifen“ auf einer Skala von „1 bis 100“ an. Der dunkle graue Kreis in der Mitte stellt die Greifposition dar, und die zwei weißen Kreise, die mittels der gerade Linie verbunden sind, stellen die Beeinflussungsbereiche an den äußeren Enden der Hand dar.

[0104] **Fig. 14** zeigt ein klareres Ergebnis, das erhalten wird, indem die Greifpositionen oder Greifhaltungen für mehrere Kandidatensegmente auf die gleiche Weise berechnet werden. Wie unter Bezugnahme auf **Fig. 14** ersichtlich, erzielt ein Bereich ohne Beeinflussungen im Außenbereich eine hohe Punktzahl, und ein Bereich mit einem Kollisionsrisiko zum Zeitpunkt des Eintretens erzielt eine niedrige Punktzahl. Zudem ist zu erkennen, dass ein zu der Kante senkrechter Bereich an der Greifposition eine hohe Punktzahl erzielt.

[0105] Um den Greifzustand zu stabilisieren, ist es ferner bevorzugt, dass die Öffnungs-/Schließrichtung der Hand bei der Greifposition senkrecht zu der Richtung der Profilkante des Kandidatensegments ist. **Fig. 15** zeigt ein dementsprechendes Beispiel. Kanten des Kandidatensegments werden abgetastet, und Kantenrichtungen in den jeweiligen örtlichen Bereichen werden berechnet.

[0106] Wenn das zweidimensionale Handmodell, das in einer vorgegebenen Öffnungs-/Schließrichtung der Hand ausgerichtet ist, bei einer gegebenen Greifposition vorhanden ist, die sich mit dem Kandidatensegment überschneidet, dann wird die Orthogonalität höher bewertet, da die Kantenrichtung der Profilkante des Kandidatensegments, die sich mit dem zweidimensionalen Handmodell kreuzt, und die Öffnungs-/Schließrichtung der Hand näher an dem Zustand der Senkrechte sind, so dass eine Suche nach einer stabileren Greifhaltung durchgeführt wird. Durch Multiplikation der oben erwähnten Punktzahl der Greifwahrscheinlichkeit mit dem Auswertungsergebnis für die Orthogonalität oder durch die Addition des Auswertungsergebnisses darauf mit einer Gewichtung, können beide Auswertungen berücksichtigt werden.

[0107] **Fig. 16** ist eine schematische Darstellung der Vorrichtung, die eine Aufnehmervorrichtung für Werkstücke gemäß der fünften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung darstellt. Die Vorrichtung weist Folgendes auf: Das Speichermedium 1, um nur das zweidimensionale Handmodell zu speichern; den Sensor 2 zum Erzeugen des Abstandsbildes der lose gehäuften Werkstücke; die Informations-Verarbeitungseinheit 3, die den Bereich 30 zum Erzeugen des am günstigsten zu greifenden Kandidaten zum Berechnen der Greifposition oder Greifhaltung auf der Basis von dem zweidimensionalen Handmodell von dem Speichermedium 1 und dem Abstandsbild von dem Sensor 2 aufweist; die Steuereinheit 4 zum Steuern der Abläufe auf der Basis von den Informationen über die Greifposition oder Greifhaltung; den Roboter 5, um die Hand in eine beliebige Position oder Haltung auf der Basis von einer Anweisung von der Steuereinheit zu bringen, und die Hand 6 zum Greifen eines Werkstückes.

[0108] Der oben erwähnte Betrieb in **Fig. 12** ist ein Verarbeitungsablauf, der von dem Bereich 30 zum Erzeugen des am günstigsten zu greifenden Kandidaten auszuführen ist. Diese Verarbeitung ist auf einem PC realisiert, der einen 2G Core 2 Duo-Prozessor und 2G Speicher aufweist und eine Berechnungszeit von ca. 0,1 bis 0,2 Sekunden benötigt, und daher ergibt es sich, dass die Berechnung, welche die dreidimensionalen Informationen verwertende Verarbeitung darstellt, mit beträchtlich hoher Geschwindigkeit ausgeführt wird.

[0109] Fig. 17 zeigt Ergebnisse, wenn eine Erfolgsrate mit einem Verfahren gemäß der fünften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ausgewertet wird, und zwar wenn Werkstücke aufgenommen werden, für welche ein Greiftest infolge von Erkennungsschwierigkeiten der jeweiligen Werkstücke durch das herkömmliche, auf dem Werkstückprofil beruhende Verfahren nicht ausgeführt wurde.

[0110] Der „Aufnahmevorgang eines einzelnen Objekts“ bezieht sich auf einen Fall, wenn nur ein Werkstück aufgenommen wird, und der „Aufnahmevorgang mehrerer Objekte“ bezieht sich auf einen Fall, wenn eine Vielzahl von Werkstücken gleichzeitig aufgenommen wird. Für den Aufnahmevorgang mehrerer Objekte kann in dem nachfolgenden Vorgang zum Beispiel eine Aktion vorgenommen werden, mit welcher einige Werkstücke auf der Basis von dem Messergebnis von der Kamera oder wegen der Bestimmung des Gewichts ausgesondert werden, oder es kann eine Aktion vorgenommen werden, mit welcher die Werkstücke voneinander getrennt werden, und zwar in einem Zustand, in welchem die Werkstücke auf eine ebene Oberfläche gelegt werden.

[0111] Angenommen, der Ausfall bezieht sich nur auf einen Fall, bei welchem die Werkstücke nicht aufgenommen werden; dann ist daher die durchschnittliche Erfolgsrate aller Werkstücke 91,5%. Bei dieser Ausführungsform kann ein Werkstück mit komplexem Profil, das nur schwierig aus der Menge der lose gehäuften Werkstücken aufzunehmen ist, mit hoher Geschwindigkeit aufgenommen werden, ohne ein Anpassen für jedes Werkstück vornehmen zu müssen.

[0112] Gemäß der fünften Ausführungsform, die wie oben beschrieben aufgebaut ist, kann das Werkstück ähnlich wie bei den oben erwähnten Ausführungsformen aufgenommen werden, während gleichzeitig eine geringe im voraus vorzuhaltende Datenmenge und eine kurze Berechnungszeit erreicht werden. Zusätzlich können auch die nachfolgenden Vorteile erreicht werden: Zunächst ist die Blickachsenrichtung des Sensors an der Eintrittsrichtung zu dem Zeitpunkt ausgerichtet, wenn die Hand sich an das Werkstück annähert, um das Werkstück aus der Menge der lose gehäuften Werkstücken aufzunehmen. Demgemäß kann der optimal zu greifende Kandidat mit hoher Geschwindigkeit erfasst werden.

[0113] Des Weiteren wird der Roboter in eine gewünschte Greifposition oder Greifhaltung gebracht, und zwar durch den auf insgesamt vier Freiheitsgrade beschränkten Betrieb, nämlich drei translatorische Freiheitsgrade in der X-, Y- und Z-Richtung und einen rotatorischen Freiheitsgrad um die Achse der Eintrittsrichtung zum Aufnehmen eines Werkstückes. Demzufolge können der Aktionsbereich des Roboters, der Sicherheitsbereich und der Bereich zum Verhindern von Beeinflussungen einfach entworfen wer-

den, und des weiteren wird die Vorrichtung schneller in Betrieb gesetzt.

[0114] Ferner verwendet der Bereich zum Ermitteln des am günstigsten zu greifenden Kandidaten das zweidimensionale Handmodell als Hand-Profildaten und das Abstandsbild als Werkstück-Messdaten, um dadurch die Greifposition oder Greifhaltung auf der Basis von der Greifwahrscheinlichkeit zu berechnen, welche durch Faltung der Hand-Profildaten und der Werkstück-Messdaten ermittelt wird.

[0115] Außerdem entnimmt der Bereich zum Erzeugen des am günstigsten zu greifenden Kandidaten eine ebene Oberfläche oder eine gekrümmte Oberfläche auf der Basis von der Kantenabtastung in dem Abstandsbild, und er gleicht die ebene Oberfläche oder die gekrümmte Oberfläche mit den Hand-Profildaten ab, um dadurch die Greifposition oder Greifhaltung zu berechnen. Demgemäß kann das Werkstück mit hoher Geschwindigkeit aufgenommen werden, und es ergibt sich keine Notwendigkeit, die Anpassung in Abhängigkeit von dem Werkstückprofil durchzuführen, was auch zu einer schnelleren Inbetriebnahme der Vorrichtung beiträgt.

[0116] Des Weiteren berechnet der Bereich zum Erzeugen des am günstigsten zu greifenden Kandidaten die Greifposition oder Greifhaltung auf der Basis von der Orthogonalität zwischen der Öffnungs-/Schließrichtung der Hand und der Richtung der Profilkante der ebenen Oberfläche oder der gekrümmten Oberfläche, die auf der Basis von der Kantenerkennung in dem Abstandsbild entnommen wird. Folglich kann die Erfolgsrate des Aufnahmeproganges für das Werkstück erhöht werden.

Bezugszeichenliste

1	Speichermedium
2	Sensor
3	Informations-Verarbeitungseinheit
4	Steuereinheit
5	Roboter
6	Hand
7	Versorgungsbehälter
30	Bereich zum Erzeugen des am günstigsten zu greifenden Kandidaten
31	Bereich zum Ermitteln des Werkstückzustands
32	Bereich zum Schätzen der nachfolgenden Arbeit bzw. des nachfolgenden Betriebs
301	Bereich zum Entnehmen eines Greifbarkeits-Merkmals

- 302** Hand-Abgleichbereich
- 303** Bereich zum Auswählen des Kandidaten für die Greifhaltung
- 311** Werkstück-Abgleichbereich
- 312** Bereich zum Schätzen des Verschränkungszustandes der Werkstücke
- 313** Bereich zum Schätzen des Aufnahmevorgangs des Werkstückes
- 314** Bereich zum Auswählen des Kandidaten für die Greifhaltung.

Patentansprüche

1. Aufnehmervorrichtung für Werkstücke, die Folgendes aufweist:

- eine Hand (6) zum Greifen eines einzelnen Werkstücks aus einem Objekt (7), das eine Vielzahl lose gehäufte Werkstücke enthält;
- einen Roboter (5), um die Hand (6) in eine gewünschte Greifposition oder Greifhaltung zu bringen;
- einen Sensor (2) zum Durchführen einer dreidimensionalen Messung des Werkstückes, um Werkstück-Messdaten zu erhalten;
- ein Speichermedium (1) zum Speichern zumindest von Hand-Profildaten;
- eine Informations-Verarbeitungseinheit (3) zum Berechnen der Greifposition oder Greifhaltung auf der Basis von Daten von dem Sensor (2) und Daten von dem Speichermedium (1); und
- eine Steuereinheit (4) zum Steuern des Roboters (5) auf der Basis von der von der Informations-Verarbeitungseinheit berechneten Greifposition oder Greifhaltung,
- wobei die Informations-Verarbeitungseinheit (3) einen Bereich (30) zum Ermitteln des am günstigsten zu greifenden Kandidaten aufweist, um direkt die Greifposition oder Greifhaltung auf der Basis von den Werkstück-Messdaten und den Hand-Profildaten abzuleiten, und
- wobei eine Blickachsenrichtung des Sensors (2) an der Eintrittsrichtung zu dem Zeitpunkt ausgerichtet ist, wenn die Hand (6) sich an das Werkstück annähert, um das Werkstück aus der Menge der lose gehäuften Werkstücken aufzunehmen, wobei der Bereich zum Ermitteln des am günstigsten zu greifenden Kandidaten ein zweidimensionales Handmodell als Hand-Profildaten verwendet, und wobei er ein Abstandsbild als Werkstück-Messdaten verwendet, um dadurch eine Greifposition oder Greifhaltung zu berechnen, bei welcher sich ein Segment des in dem Abstandsbild entnommenen Werkstücks innerhalb einer Öffnungsweite der Hand (6) befindet und die Hand (6) eine Beeinflussung mit einem Segment im Außenbereich des Werkstückes vermeidet.

2. Aufnehmervorrichtung für Werkstücke nach Anspruch 1,

- wobei der Roboter (5) durch einen beschränkten Ablauf mit insgesamt vier Freiheitsgraden in die gewünschte Greifposition oder Greifhaltung gebracht wird,
- wobei die vier Freiheitsgrade Folgendes aufweisen:
- drei translatorische Freiheitsgrade in einer X-Richtung, einer Y-Richtung und einer Z-Richtung; und
- einen rotatorischen Freiheitsgrad zur Rotation um eine Achse in der Eintrittsrichtung zum Aufnehmen des Werkstückes.

3. Aufnehmervorrichtung für Werkstücke nach Anspruch 1, wobei der Bereich zum Ermitteln des am günstigsten zu greifenden Kandidaten einen Bereich, der durch Faltung eines Außenbereichs eines Kandidatensegments des in dem Abstandsbild entnommenen Werkstücks und Beeinflussungsbereichen an den äußeren Enden der Hand (6) erhalten wird, von einem Bereich abzieht, der durch Faltung des Kandidatensegments und eines Bereichs der Öffnungsweite der Hand (6) erhalten wird, um dadurch die Greifposition oder Greifhaltung auf der Basis von den mittels Glättung erhaltenen Daten zu berechnen.

4. Aufnehmervorrichtung für Werkstücke nach Anspruch 1 oder 3, wobei der Bereich zum Ermitteln des am günstigsten zu greifenden Kandidaten vorzugsweise eine Greifposition oder Greifhaltung ausgibt, die eine hohe Orthogonalität zwischen einer Kantenrichtung des Segments und einer Öffnungs-/Schließrichtung der Hand (6) zeigt.

5. Aufnehmervorrichtung für Werkstücke nach einem der Ansprüche 1 bis 4,

- wobei das Speichermedium (1) des weiteren Werkstück-Profildaten speichert, und
- wobei die Informations-Verarbeitungseinheit (3) des weiteren einen Bereich zum Ermitteln des Werkstückzustands aufweist, um auf der Basis von den Werkstück-Profildaten die von dem Bereich zum Ermitteln des am günstigsten zu greifenden Kandidaten berechnete Greifposition oder Greifhaltung auszuwerten.

6. Aufnehmervorrichtung für Werkstücke nach Anspruch 5, wobei der Bereich zum Ermitteln des Werkstückzustands einen Bereich zum Schätzen des Verschränkungszustandes der Werkstücke aufweist, um eine Beeinflussung zwischen den Werkstückmodellen zu bestimmen, der ermittelt wird, indem die Werkstück-Messdaten und die Werkstück-Profildaten abgeglichen werden, um so eine Verschränkung zwischen den lose gehäuften Werkstücken zu ermitteln, die in den Werkstück-Messdaten nicht beobachtet wird, und um einer Greifposition oder Greifhaltung den Vorzug zu geben, die sich auf Objekte mit geringerer Verschränkung bezieht.

7. Aufnehmervorrichtung für Werkstücke nach Anspruch 5 oder 6, wobei der Bereich zum Ermitteln des

Werkstückzustands des Weiteren einen Bereich zum Schätzen des Aufnahmeverganges des Werkstückes aufweist, um eine Schwerpunktposition des Werkstückes auf der Basis von den Werkstück-Profildaten zu berechnen, und um vorzugsweise eine Greifposition oder Greifhaltung auszugeben, die nahe der Schwerpunktposition des Werkstückes liegt.

Es folgen 17 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG. 1

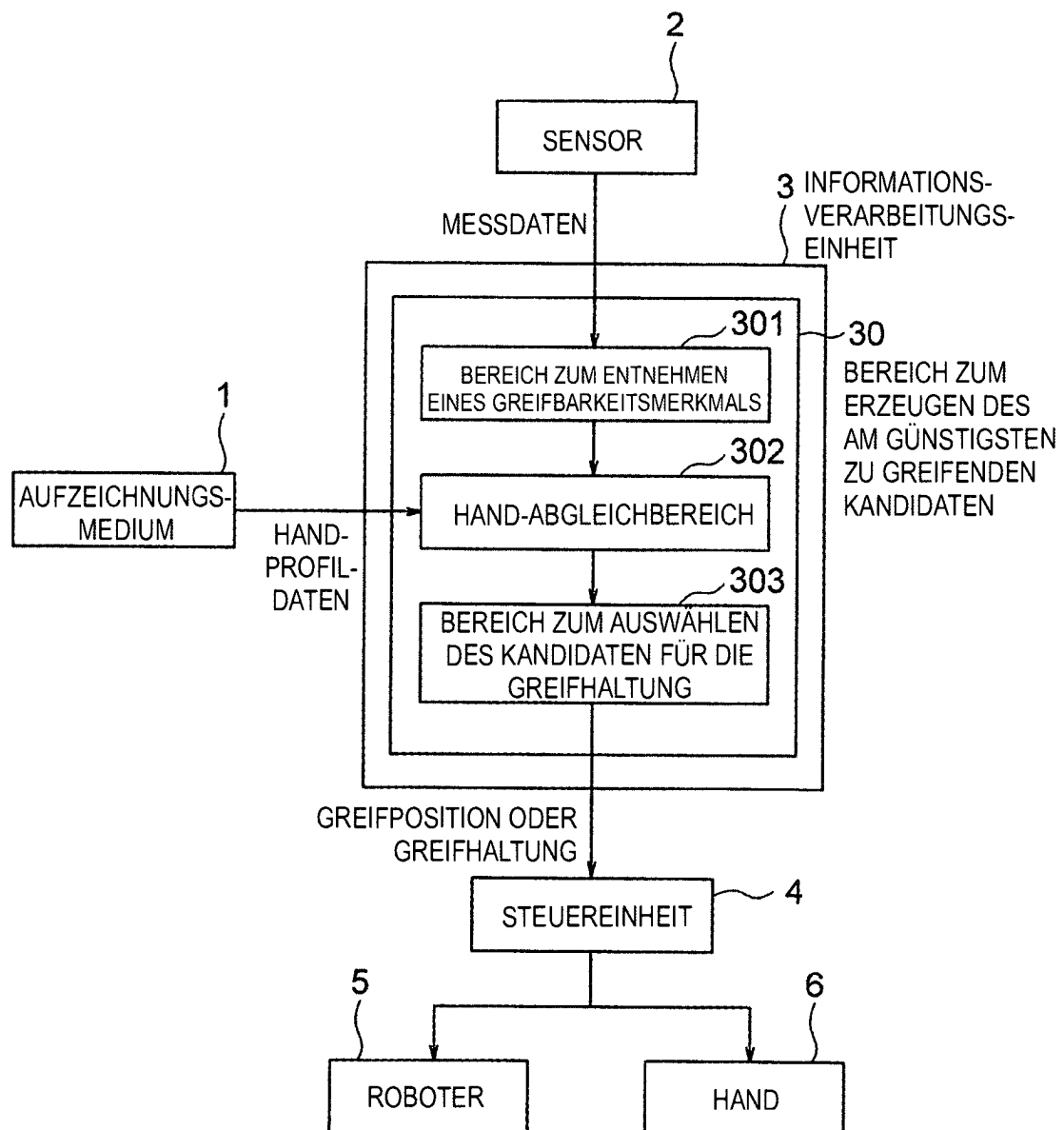


FIG. 2

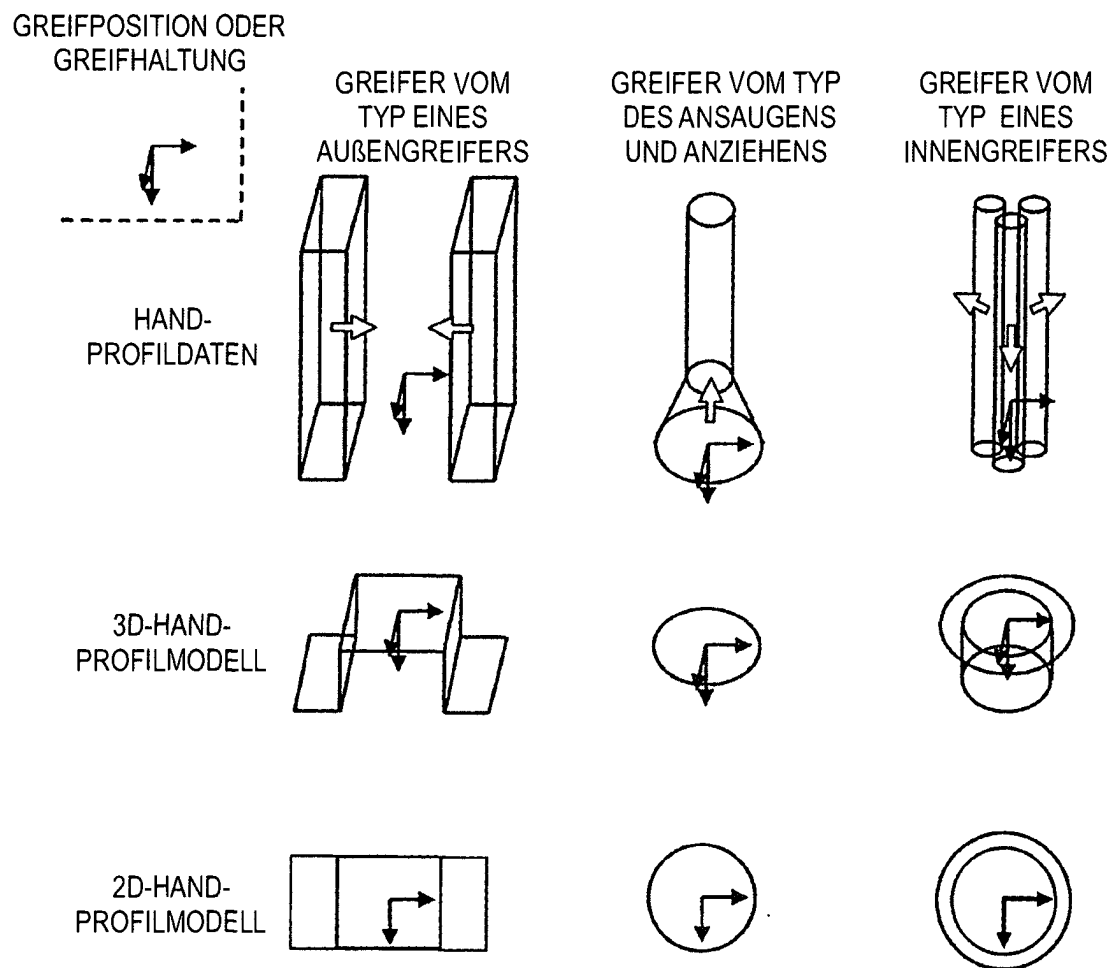


FIG. 3

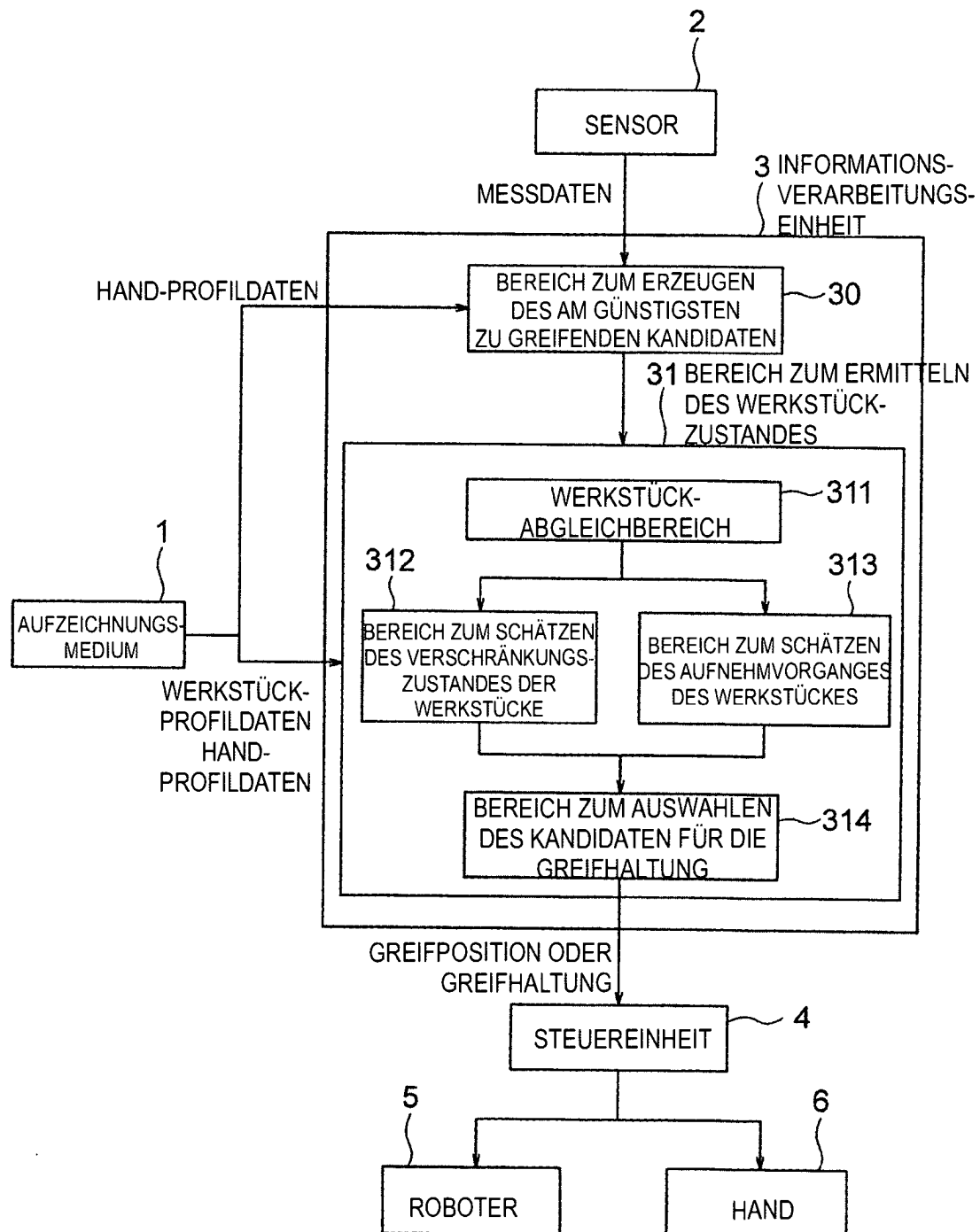


FIG. 4

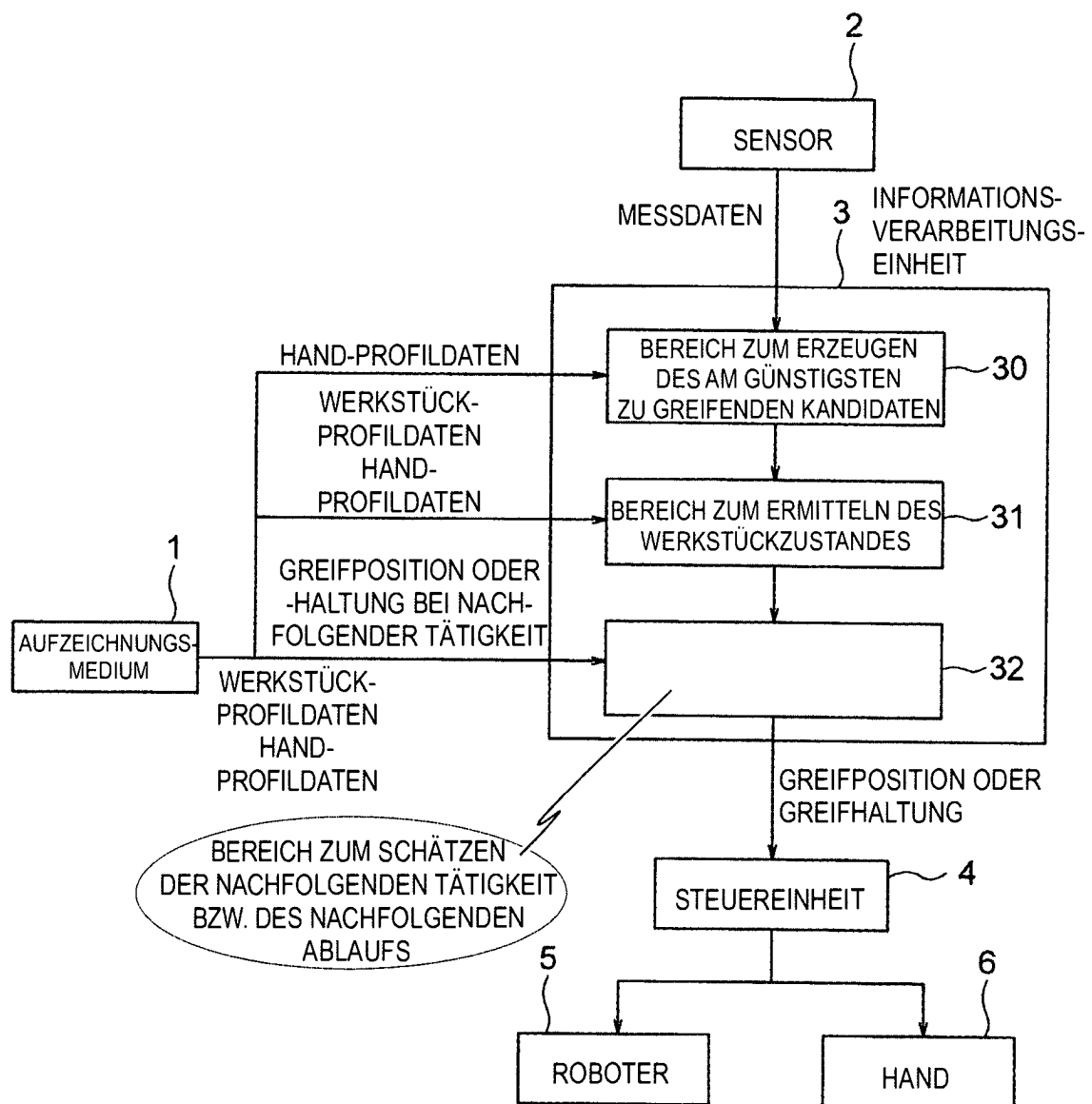


FIG. 5

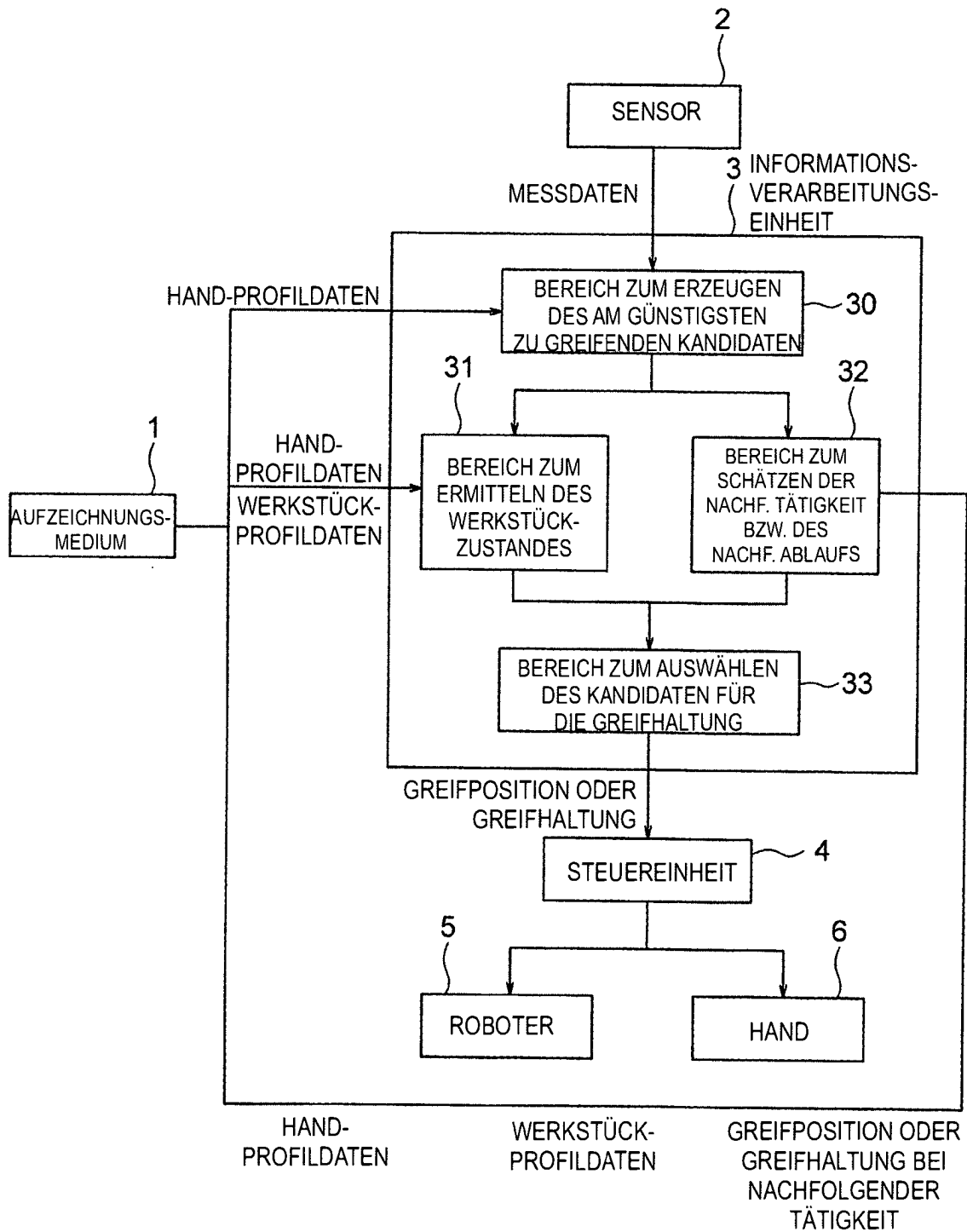


FIG. 6

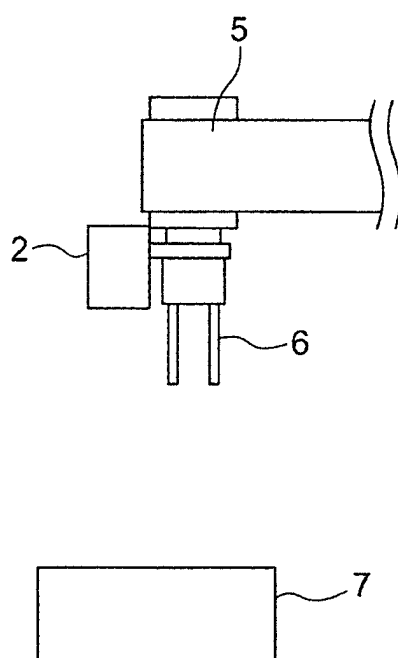


FIG. 7A

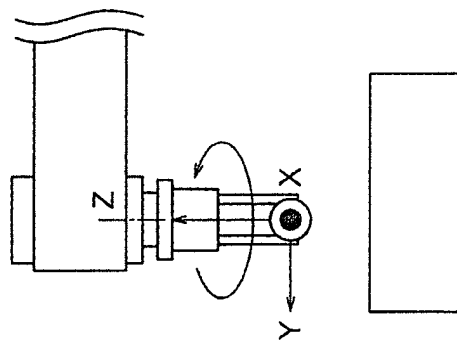


FIG. 7B

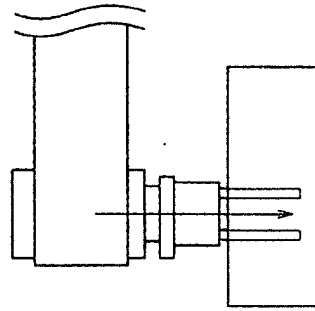


FIG. 7C

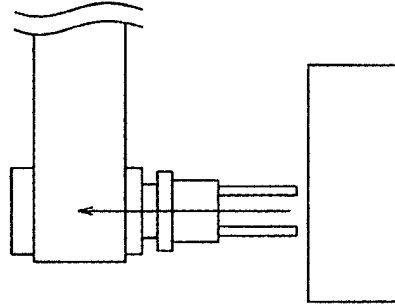


FIG. 8

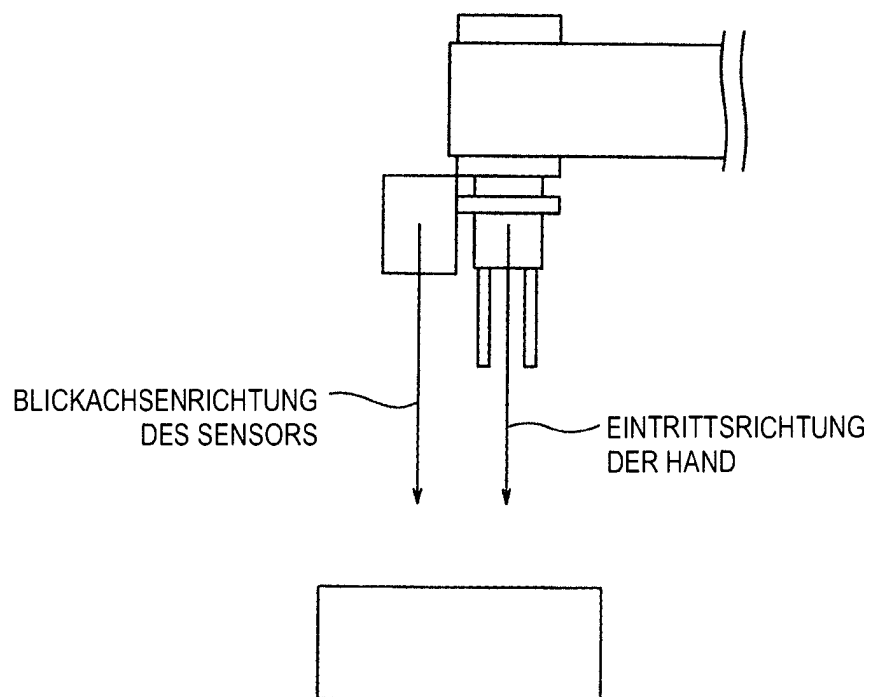
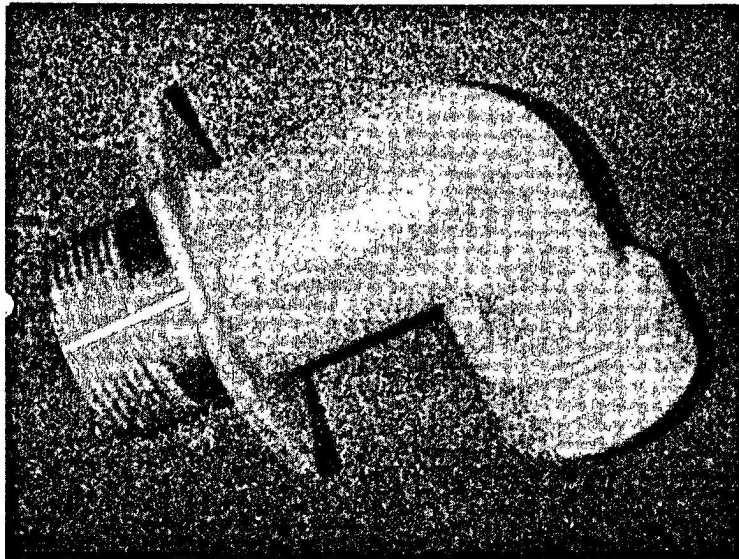
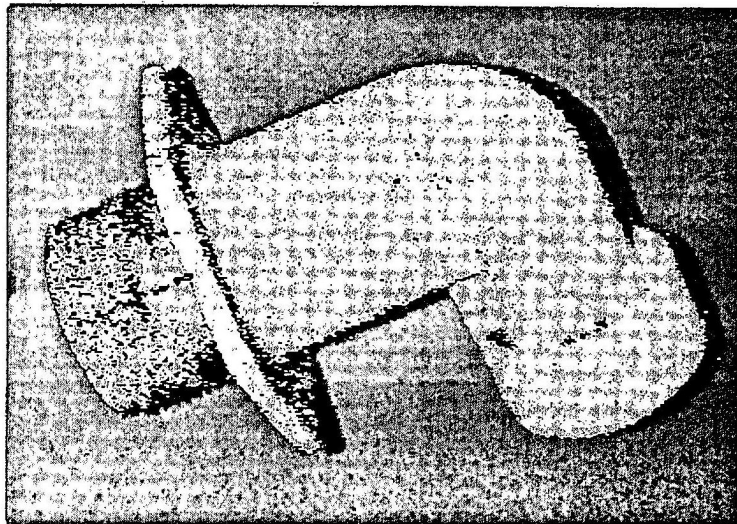


FIG. 9

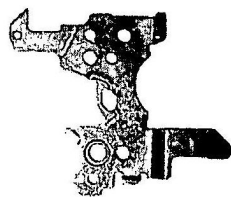


KAMERABILD



ABSTANDSBILD
(HELLERER BEREICH LIEGT NÄHER AM SENSOR)

FIG. 10



LOSE GEHÄUFTE WERKSTÜCKE



KAMERABILD



ABSTANDSBILD

FIG. 11

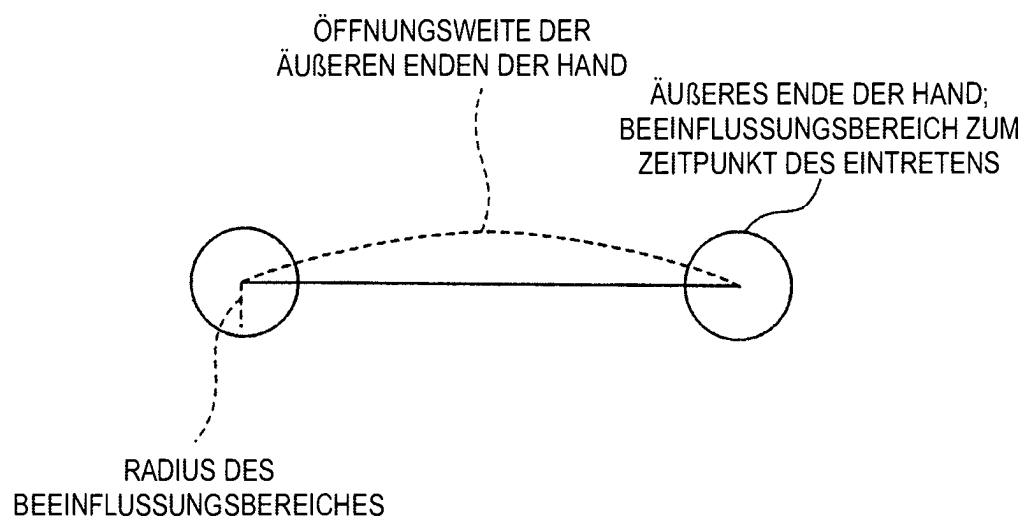


FIG. 12

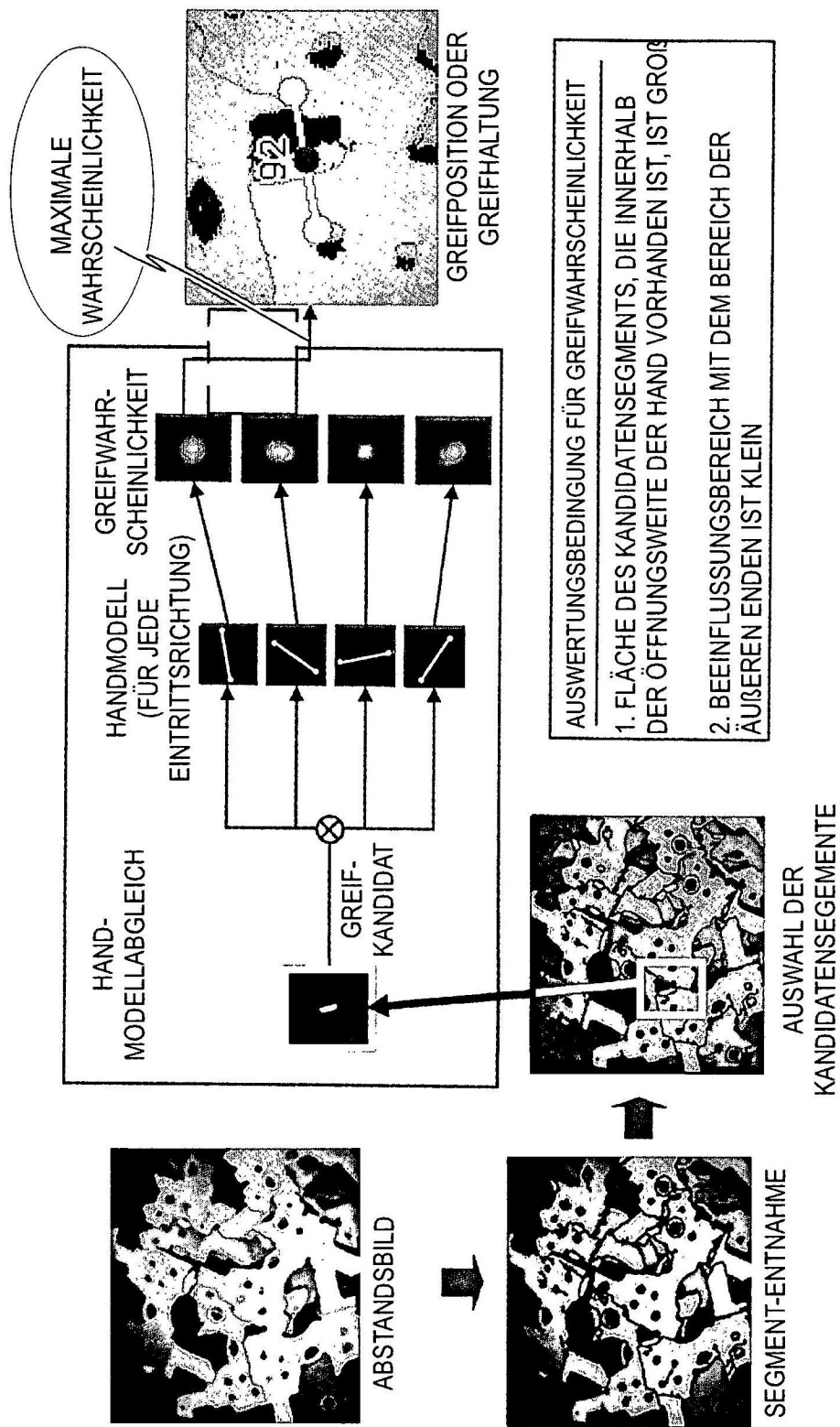


FIG. 13

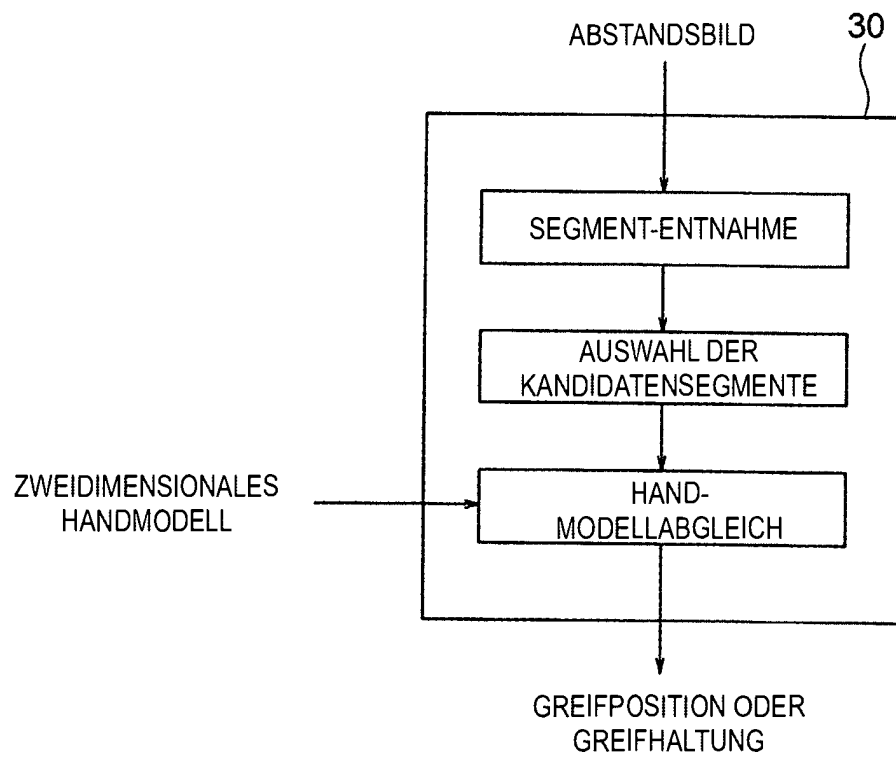




FIG. 14

FIG. 15

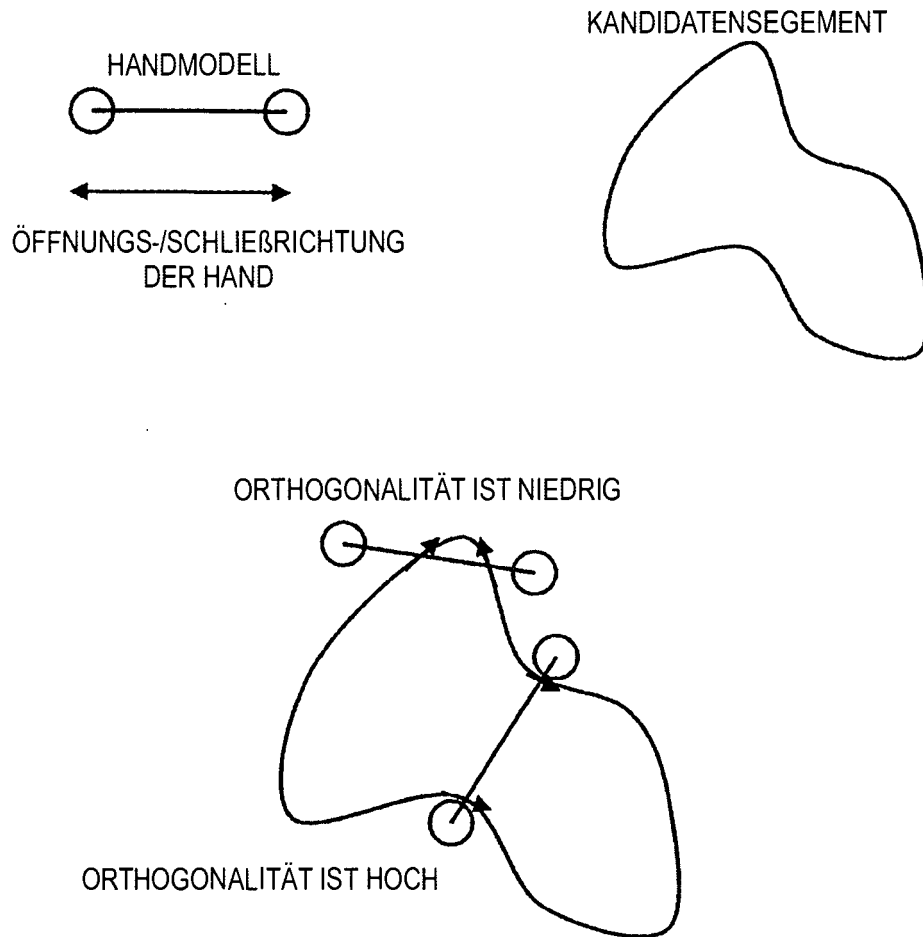


FIG. 16

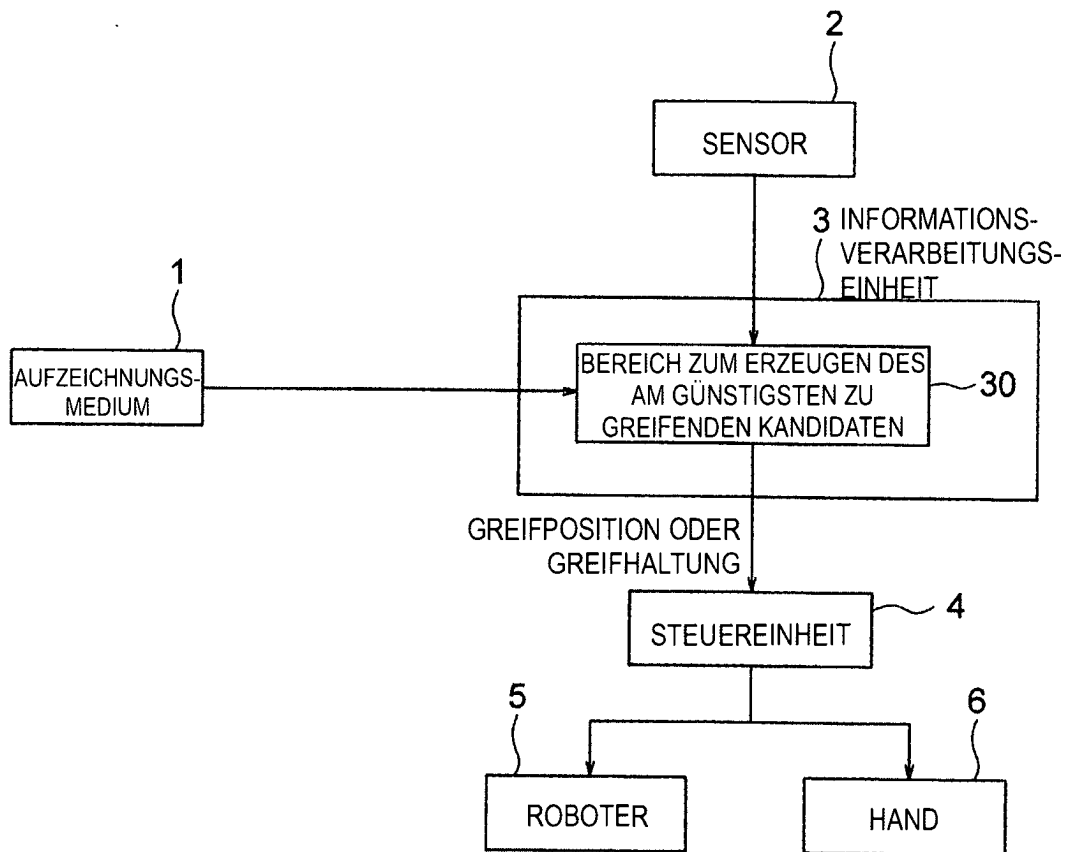


FIG. 17

