

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6676030号  
(P6676030)

(45) 発行日 令和2年4月8日(2020.4.8)

(24) 登録日 令和2年3月13日(2020.3.13)

(51) Int. Cl.		F I			
<b>B 2 5 J</b>	<b>13/08</b>	<b>(2006.01)</b>	B 2 5 J	13/08	A
<b>G 0 6 N</b>	<b>20/00</b>	<b>(2019.01)</b>	G 0 6 N	20/00	1 3 0
G 0 6 N	3/02	(2006.01)	G 0 6 N	3/02	

請求項の数 17 (全 23 頁)

(21) 出願番号	特願2017-223053 (P2017-223053)	(73) 特許権者	000006622
(22) 出願日	平成29年11月20日(2017.11.20)		株式会社安川電機
(65) 公開番号	特開2019-93461 (P2019-93461A)		福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号
(43) 公開日	令和1年6月20日(2019.6.20)	(73) 特許権者	518349835
審査請求日	平成30年10月1日(2018.10.1)		株式会社エイアイキューブ
			東京都中央区日本橋堀留町二丁目3-14
			堀留THビル8階
		(74) 代理人	100088155
			弁理士 長谷川 芳樹
		(74) 代理人	100113435
			弁理士 黒木 義樹
		(74) 代理人	100171099
			弁理士 松尾 茂樹
		(74) 代理人	100161425
			弁理士 大森 鉄平

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 把持システム、学習装置、把持方法、及び、モデルの製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

ワークを把持するハンドと、  
前記ハンドを支持し、前記ハンドの位置及び姿勢の少なくとも一方を変更するロボットと、

前記ハンドの位置及び姿勢の少なくとも一方と連動する視点から画像情報を取得する画像センサと、

前記画像センサにより取得された前記画像情報と、前記ハンドの位置及び姿勢の少なくとも一方を表すハンド位置情報との入力を受けて前記ロボットの動作指令を出力するモデルを、収集データに基づいて機械学習により構築する構築部と、

前記画像情報と、前記ハンド位置情報と、前記モデルとに基づいて、前記ロボットの動作指令を演算する演算部と、

前記演算部により演算された前記ロボットの動作指令に基づいて、前記ロボットを動作させるロボット制御部と、  
を備える把持システム。

【請求項2】

前記演算部は、  
前記画像情報と、前記画像情報に含まれる前記ワークの位置情報とに基づいて、前記ワークに対応する特徴量を抽出する抽出部と、

前記抽出部により抽出された前記特徴量と、前記ハンド位置情報とに基づいて、前記ロ

ボットの動作指令を出力する出力部と、  
を有する、請求項 1 に記載の把持システム。

【請求項 3】

前記抽出部は、前記視点の相異なる複数の前記画像情報と、前記複数の画像情報それぞれに含まれる同一の前記ワークの前記位置情報とに基づいて、前記ワークに対応する特徴量を抽出する、請求項 2 に記載の把持システム。

【請求項 4】

前記構築部は、  
前記画像情報と前記位置情報との入力を受けて、前記特徴量を出力する抽出モデルを、  
前記収集データに基づいて機械学習により構築する抽出モデル構築部と、

前記特徴量と前記ハンド位置情報との入力を受けて、前記動作指令を出力する指令モデルを、前記収集データに基づいて機械学習により構築する指令モデル構築部と、  
を有し、

前記抽出部は、前記抽出モデルを用いて前記特徴量を抽出し、  
前記出力部は、前記指令モデルを用いて前記動作指令を出力する、請求項 2 ~ 3 の何れか一項に記載の把持システム。

【請求項 5】

前記ハンドは、グリップであり、  
前記指令モデル構築部は、前記特徴量及び前記ハンド位置情報に加えて前記グリップの開閉度の入力を受けて、前記動作指令に加えて、前記グリップの目標開閉度を出力する前記指令モデルを構築し、

前記出力部は、前記指令モデルを用いて、前記特徴量と前記ハンド位置情報と前記開閉度とに基づいて前記動作指令と前記目標開閉度を出力し、

前記ロボット制御部は、前記目標開閉度に応じて前記グリップを動作させる、請求項 4 に記載の把持システム。

【請求項 6】

前記画像センサは、前記ハンドの先端が前記画像情報に含まれるように配置される、請求項 2 ~ 5 の何れか一項に記載の把持システム。

【請求項 7】

前記演算部は、  
前記ロボットの動作指令と、前記ワークに対応する特徴量とに基づいて、前記ハンドで把持できる確率を表す把持確率を算出する算出部を更に有し、

前記ロボット制御部は、前記算出部により算出された前記把持確率に基づいて、前記ロボットを動作させる、請求項 2 ~ 6 の何れか一項に記載の把持システム。

【請求項 8】

前記構築部は、前記収集データに基づいて機械学習により、前記ロボットの動作指令と、前記ワークに対応する特徴量との入力を受けて、前記把持確率を出力する把持確率モデルを構築する把持確率モデル構築部を更に有し、

前記算出部は、前記把持確率モデルを用いて前記把持確率を算出する、請求項 7 に記載の把持システム。

【請求項 9】

前記ロボット制御部は、  
前記把持確率が予め定められた閾値以上である場合、前記ロボットに把持動作をさせ、  
前記把持確率が前記閾値未満である場合、前記抽出部による前記ワークに対応する特徴量の抽出と、前記出力部による前記ロボットの動作指令の出力とを再度実行させる、請求項 7 又は 8 に記載の把持システム。

【請求項 10】

前記演算部は、  
前記画像センサにより取得された前記画像情報に基づいて、複数のワークの位置情報と、前記複数のワークそれぞれの把持期待度とを生成する位置生成部と、

10

20

30

40

50

前記把持期待度に基づいて、把持対象とする 1 のワークを決定する決定部と、  
を更に有し、

前記抽出部は、前記画像情報と前記 1 のワークの位置情報とに基づいて、当該 1 のワークに対応する特徴量を抽出する、請求項 2 ~ 9 の何れか一項に記載の把持システム。

【請求項 1 1】

前記構築部は、前記収集データに基づいて機械学習により、前記画像情報の入力を受けて、前記複数のワークの位置情報と、前記複数のワークそれぞれの把持期待値とを出力する位置モデルを構築する位置モデル構築部を更に有し、

前記位置生成部は、前記位置モデルを用いて前記位置情報と前記把持期待値とを生成する、請求項 1 0 に記載の把持システム。

10

【請求項 1 2】

少なくとも前記ロボットと前記ハンドと前記演算部と前記ロボット制御部とを 1 セットとして備え、

前記構築部は、前記収集データとして、前記 1 セットとは異なるセットの動作履歴を収集したデータに基づいて、前記モデルを機械学習により構築し、

前記 1 セットの前記演算部は、前記モデルに基づいて、前記 1 セットの前記ロボットの動作指令を演算する、請求項 1 ~ 1 1 の何れか一項に記載の把持システム。

【請求項 1 3】

ワークを把持するハンドと、

前記ハンドを支持し、前記ハンドの位置及び姿勢の少なくとも一方を変更するロボットと、

20

前記ハンドの位置及び姿勢の少なくとも一方と連動する視点から画像情報を取得する画像センサと、

収集データに基づいて機械学習により構築された、前記画像情報と、前記ハンドの位置及び姿勢の少なくとも一方を表すハンド位置情報との入力を受けて前記ロボットの動作指令を出力するモデルとに基づいて、前記ロボットの動作指令を演算する演算部と、

前記演算部により演算された前記ロボットの動作指令に基づいて、前記ロボットを動作させるロボット制御部と、  
を備える把持システム。

【請求項 1 4】

30

ワークを把持するハンドの位置及び姿勢の少なくとも一方と連動する視点から撮像された画像情報と、前記ハンドの位置及び姿勢の少なくとも一方を表すハンド位置情報とを取得する取得部と、

前記画像情報と前記ハンド位置情報との入力を受けてロボットの動作指令を出力するモデルを、前記取得部により取得された前記画像情報及び前記ハンド位置情報を含む収集データに基づいて機械学習により構築する構築部と、

を備える学習装置。

【請求項 1 5】

ワークを把持するハンドの位置及び姿勢の少なくとも一方と連動する視点から画像情報を取得することと、

40

前記画像情報と、前記ハンドの位置及び姿勢の少なくとも一方を表すハンド位置情報との入力を受けてロボットの動作指令を出力するモデルを、収集データに基づいて機械学習により構築することと、

前記画像情報と、前記ハンド位置情報と、前記モデルとに基づいて、前記ロボットの動作指令を演算することと、

演算された前記ロボットの動作指令に基づいて、前記ロボットを動作させることと、  
を含む、把持方法。

【請求項 1 6】

ワークを把持するハンドの位置及び姿勢の少なくとも一方と連動する視点から画像情報を取得することと、

50

収集データに基づいて機械学習により構築された、前記画像情報と、前記ハンドの位置及び姿勢の少なくとも一方を表すハンド位置情報との入力を受けてロボットの動作指令を出力するモデルに基づいて、前記ロボットの動作指令を演算することと、

演算された前記ロボットの動作指令に基づいて、前記ロボットを動作させることと、を含む、把持方法。

【請求項 17】

ワークを把持するハンドの位置及び姿勢の少なくとも一方と連動する視点から撮像された画像情報と、前記ハンドの位置及び姿勢の少なくとも一方を表すハンド位置情報とを取得することと、

前記画像情報と前記ハンド位置情報との入力を受けてロボットの動作指令を出力するモデルを、前記画像情報及び前記ハンド位置情報とを含む収集データに基づいて機械学習により構築することと、を含む、モデルの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、把持システム、学習装置、把持方法、及び、モデルの製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

特許文献 1 は、バラ積みされた複数のワークをロボットのハンドで把持する把持方法を開示する。この方法では、ワークの上方に固定配置された距離センサによりワークの距離が計測され、計測結果とワークの 3DCAD モデルとが照合されることによって、個別のワークの 3次元位置と姿勢とが認識される。個別のワークの 3次元位置と姿勢とが認識された後、ワークの把持動作が開始される。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】特開 2010 - 069542 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

本開示は、ロボットの把持動作の効率化に有効な把持システム、把持ロボット、学習装置、把持方法、及び、モデルの製造方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0005】

本開示の一側面に係る把持システムは、ワークを把持するハンドと、ハンドを支持し、ハンドの位置及び姿勢の少なくとも一方を変更するロボットと、ハンドの位置及び姿勢の少なくとも一方と連動する視点から画像情報を取得する画像センサと、画像センサにより取得された画像情報と、ハンドの位置及び姿勢の少なくとも一方を表すハンド位置情報とに基づいてロボットの動作指令を特定する過程における少なくとも一部であるモデルを、収集データに基づいて機械学習により構築する構築部と、画像情報と、ハンド位置情報と、モデルとに基づいて、ロボットの動作指令を演算する演算部と、演算部により演算されたロボットの動作指令に基づいて、ロボットを動作させるロボット制御部と、を備える。

【0006】

本開示の他の側面に係る把持システムは、ワークを把持するハンドと、ハンドを支持し、ハンドの位置及び姿勢の少なくとも一方を変更するロボットと、ハンドの位置及び姿勢の少なくとも一方と連動する視点から画像情報を取得する画像センサと、画像情報と、ハンドの位置及び姿勢の少なくとも一方を表すハンド位置情報と、収集データに基づいて機械学習により構築された、ロボットの動作指令を特定する過程における少なくとも一部であるモデルとに基づいて、ロボットの動作指令を演算する演算部と、演算部により演算さ

10

20

30

40

50

れたロボットの動作指令に基づいて、ロボットを動作させるロボット制御部と、を備える。

【0007】

本開示の他の側面に係る学習装置は、ワークを把持するハンドの位置及び姿勢の少なくとも一方と連動する視点から撮像された画像情報と、ハンドの位置及び姿勢の少なくとも一方を表すハンド位置情報とを取得する取得部と、取得部により取得された画像情報とハンド位置情報とに基づいてロボットの動作指令を特定する過程における少なくとも一部であるモデルを、画像情報及びハンド位置情報とを含む収集データに基づいて機械学習により構築する構築部と、を備える。

を備える。

10

【0008】

本開示の他の側面に係る把持方法は、ワークを把持するハンドの位置及び姿勢の少なくとも一方と連動する視点から画像情報を取得することと、画像情報と、ハンドの位置及び姿勢の少なくとも一方を表すハンド位置情報とに基づいて、ロボットの動作指令を特定する過程における少なくとも一部であるモデルを、収集データに基づいて機械学習により構築することと、画像情報と、ハンド位置情報と、モデルとに基づいて、ロボットの動作指令を演算することと、演算されたロボットの動作指令に基づいて、ロボットを動作させることと、を含む。

【0009】

本開示の他の側面に係る把持方法は、ワークを把持するハンドの位置及び姿勢の少なくとも一方と連動する視点から画像情報を取得することと、画像情報と、ハンドの位置及び姿勢の少なくとも一方を表すハンド位置情報と、収集データに基づいて機械学習により構築された、ロボットの動作指令を特定する過程における少なくとも一部であるモデルとに基づいて、ロボットの動作指令を演算することと、演算されたロボットの動作指令に基づいて、ロボットを動作させることと、を含む。

20

【0010】

本開示の他の側面に係るモデルの製造方法は、ワークを把持するハンドの位置及び姿勢の少なくとも一方と連動する視点から撮像された画像情報と、ハンドの位置及び姿勢の少なくとも一方を表すハンド位置情報とを取得することと、画像情報とハンド位置情報とに基づいてロボットの動作指令を特定する過程における少なくとも一部であるモデルを、画像情報及びハンド位置情報とを含む収集データに基づいて機械学習により構築することと、を含む。

30

【発明の効果】

【0011】

本開示によれば、ロボットの把持動作の効率化に有効な把持システム、学習装置、把持方法、及び、モデルの製造方法を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図1】図1は、把持システムの全体構成の一例を示す模式図である。

【図2】図2は、動作指令装置のハードウェア構成を例示するブロック図である。

40

【図3】図3は、学習装置のハードウェア構成を例示するブロック図である。

【図4】図4は、動作指令装置の機能的な構成の一例を示すブロック図である。

【図5】図5は、ロボットの把持動作の一例を説明する模式図である。

【図6】図6は、ワークWの認識結果の一例である。

【図7】図7は、モデルを構成するニューラルネットワークの一例である。

【図8】図8は、学習装置の機能的な構成の一例を示すブロック図である。

【図9】図9は、把持手順のフローチャートの一例である。

【図10】図10は、位置モデル学習手順のフローチャートの一例である。

【図11】図11は、把持確率モデル学習手順のフローチャートの一例である。

【図12】図12は、抽出モデル、指令モデル、及び、把持確率モデルの学習手順のフロ

50

ーチャートの一例である。

【発明を実施するための形態】

【0013】

以下、実施形態について、図面を参照して詳細に説明する。図面の説明においては、同一要素又は同一機能を有する要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する場合がある。

【0014】

[把持システムの構成]

図1は、把持システム1の全体構成の一例を示す模式図である。図1に示される把持システム1は、把持対象であるワークWを把持する動作をロボット2に実行させることにより、加工、組立等の様々な作業を自動化するシステムである。把持システム1は、ロボット2の把持動作に関する学習を行うとともに、学習結果に基づいてロボット2に把持動作を実行させる。

10

【0015】

把持システム1は、ロボット2と、ハンド3と、画像センサ4と、ロボットコントローラ5（ロボット制御部の一例）と、動作指令装置6と、学習装置7とを有する。

【0016】

ロボット2は、ワークWを把持するハンド3を支持し、ハンド3の位置及び姿勢の少なくとも一方を変更する。ロボット2は、例えば、多軸（例えば6軸又は7軸）のシリアルリンク型の垂直多関節ロボットであり、その先端部2aにハンド3を支持した状態で様々な作業を実行できるように構成される。ロボット2は、所定の範囲内において、ハンド3の位置及び姿勢を自在に変更し得るロボットであればよく、必ずしも6軸の垂直多関節ロボットに限られない。例えばロボット2は、6軸に1軸の冗長軸を追加した7軸の垂直多関節ロボットであってもよい。

20

【0017】

ハンド3は、ワークWを把持するエンドエフェクタである。ハンド3の一例は、一对の爪部材3aの開閉動作によって把持対象を把持するグリッパである。ハンド3は、把持機能を有していればよく、一对の爪部材を有するグリッパに限られない。例えばハンド3は、3本以上の爪部材を有するグリッパであってもよいし、吸着式のエンドエフェクタであってもよい。

30

【0018】

ロボット2は、一例として、バケット40内に配置された複数のワークWの中から、1つのワークWを把持する。ワークWは、種々の形状及び大きさを有する。ワークWの一例は、ボルト、ナット、電子部品などである。バケット40内のワークWは、整列されていない状態（いわゆるバラ積み状態）である。ワークWは、把持可能なワークであればよく、数量、形状、大きさ、配列は限定されない。例えば、バケット40内に配置されたワークWは、1つであってもよい。バケット40内に配置された複数のワークWは、同一形状であってもよいし、形状の異なる複数種類のワークを混載したもので構わない。バケット40内のワークWは、整列されていてもよい。ワークWは、剛体に限られず、弾性体であってもよい。ワークWは、バケット40内に配置されたワークに限られず、作業台などに配置されたワークであってもよい。

40

【0019】

画像センサ4は、画像情報を取得する検出器である。画像センサ4は、例えば、カメラ、CCD（Charge-Coupled Device）イメージセンサ、CMOS（ComplementaryMOS）イメージセンサなどである。画像センサ4は、画像情報の一例として画素値を取得する。画素値とは、色調や階調などの色情報であり、例えば輝度値である。

【0020】

画像センサ4は、ハンド3の位置及び姿勢の少なくとも一方と連動する視点から画像情報を取得する。視点とは、画像センサ4の撮像方向の起点となる位置である。ハンド3の位置及び姿勢の少なくとも一方と連動する視点とは、ハンド3の位置及び姿勢の少なくと

50

も一方に応じて視点が変更されることを意味する。一例として、画像センサ4は、ハンド3に固定される。この場合、画像センサ4は、ハンド3の位置及び姿勢の両方と連動する視点から画像情報を取得することになる。画像センサ4は、ロボット2のアーム部21の先端部2aに固定されてもよい。画像センサ4は、一例として、ハンド3の先端が画像情報に含まれるように配置されてもよい。

#### 【0021】

ロボットコントローラ5は、ロボット2の動作指令に基づいて、ロボット2を動作させる。動作指令は、ロボット2を動作させるための情報である。動作指令は、把持動作に関する情報を含む。動作指令は、一例として把持目標位置及び目標姿勢角度である。把持目標位置は、ワークWが把持されるタイミングにおけるハンド3の最終的な位置である。把持目標位置は、例えばロボット2に設定されたロボット座標系において定義される。ロボット座標系の一例として、ロボット2が配置された配置面に対して垂直な方向がZ方向、配置面に平行な方向がX方向、X方向及びZ方向に直交する方向がY方向と設定されてもよい。また、例えば、配置面に対してロボット2を固定した点が固定点Pとされ、固定点Pがロボット座標系の原点に設定されてもよい。把持目標位置は、相対位置で表現されてもよい。ロボットコントローラ5は、ハンド3の位置姿勢を把持目標位置及び目標姿勢角度に一致させるための関節角度目標値(ロボット2の各関節の角度目標値)を算出し、当該関節角度目標値に従ってロボット2を動作させる。なお、動作指令は、把持目標位置でなくてもよい。

#### 【0022】

動作指令装置6は、上述した動作指令を生成する装置である。動作指令装置6は、画像センサ4により取得された画像情報と、ハンド3の位置及び姿勢の少なくとも一方を表すハンド位置情報と、モデルとに基づいて、ロボット2の動作指令を演算することを実行可能に構成される。

#### 【0023】

モデルとは、例えば入力に対して出力を生成するプログラムモジュールである。モデルは、一例として、ノードとパラメータによって特定されるニューラルネットワークである。モデルは、収集データに基づいて機械学習により構築される対象であり、ロボット2の動作指令を特定する過程における少なくとも一部に対応する。動作指令を特定する過程は、一例として、画像情報からワークWを認識する認識過程、画像情報からワークWに対応する特徴量を抽出する抽出過程、ワークWに対応する特徴量とハンド3の位置とに基づいて動作指令を出力する指令出力過程、及び、ワークWに対応する特徴量と動作指令とに基づいて把持確率を算出する把持確率算出過程のうち少なくとも1つを含む。把持確率とは、ワークWを把持できる確率である。なお、モデルの一例として、ニューラルネットワークを挙げたが、ベイジアンネットワーク(確実な情報の環境下において、ユーザの意志決定を支援する知能システム)を用いてもよいし、あるいは入出力テーブルを用いても構わない。

#### 【0024】

ロボット2の動作指令を特定する過程における少なくとも一部とは、抽出過程であってもよい。ロボット2の動作指令を特定する過程における少なくとも一部とは、指令出力過程であってもよい。ロボット2の動作指令を特定する過程における少なくとも一部とは、抽出工程と指令出力工程とであってもよい。ロボット2の動作指令を特定する過程における少なくとも一部とは、抽出過程と、指令出力過程と、把持確率算出過程とであってもよい。

#### 【0025】

収集データとは、学習前に予め収集されたデータであり、把持動作に関するデータである。収集データは、一例として、ロボット2の履歴データや、ワークWを認識するための学習データである。ロボット2の履歴データは、画像センサ4によって取得された画像情報、動作指令装置6によって画像情報から取得された特徴量、動作指令装置6によって出力される動作指令及び把持確率、ロボットコントローラ5によって出力されるハンド位置

10

20

30

40

50

情報などを含む。ハンド位置情報とは、ハンド3の位置及び姿勢の少なくとも一方を表す情報である。ハンド位置情報は、ハンド3の位置及び姿勢を導くことができる情報であれば位置座標に限定されず、相対ベクトルであってもよい、モーメントであってもよい。

#### 【0026】

学習装置7は、上述したモデルを構築する装置である。学習装置7は、ワークWを把持するハンド3の位置及び姿勢の少なくとも一方と連動する視点から撮像された画像情報と、ハンド3の位置及び姿勢の少なくとも一方を表すハンド位置情報とを取得することと、画像情報とハンド位置情報とに基づいてロボット2の動作指令を特定する過程における少なくとも一部であるモデルを、画像情報及びハンド位置情報とを含む収集データに基づいて機械学習により構築することと、を実行可能に構成される。

10

#### 【0027】

##### [動作指令装置のハードウェア構成]

図2は、動作指令装置6のハードウェア構成を例示するブロック図である。図2に示されるように、動作指令装置6は回路60を有し、回路60は、一つ又は複数のプロセッサ61と、記憶部62と、通信ポート65と、入出力ポート66とを有する。記憶部62は、メモリ63及びストレージ64を含む。ストレージ64は、動作指令装置6の機能部を構成するためのプログラムを記録している。ストレージ64は、コンピュータ読み取り可能であればどのようなストレージであってもよい。具体例として、ハードディスク、不揮発性の半導体メモリ、磁気ディスク及び光ディスク等が挙げられる。メモリ63は、ストレージ64からロードしたプログラム及びプロセッサ61の演算結果等を一時的に記憶する。プロセッサ61は、メモリ63と協働してプログラムを実行することで、各機能部を構成する。

20

#### 【0028】

通信ポート65は、プロセッサ61からの指令に応じ、ロボットコントローラ5、画像センサ4及び学習装置7との間で電気信号の入出力を行う。入出力ポート66は、プロセッサ61からの指令に応じ、ユーザインタフェース80との間で電気信号の入出力を行う。ユーザインタフェース80は、モニタ81及び入力デバイス82を含む。

#### 【0029】

##### [学習装置のハードウェア構成]

図3は、学習装置7のハードウェア構成を例示するブロック図である。図3に示されるように、学習装置7は回路70を有し、回路70は、一つ又は複数のプロセッサ71と、記憶部72と、通信ポート75と、入出力ポート76とを有する。記憶部72は、メモリ73及びストレージ74を含む。ストレージ74は、学習装置7の機能部を構成するためのプログラムを記録している。ストレージ74は、コンピュータ読み取り可能であればどのようなストレージであってもよい。具体例として、ハードディスク、不揮発性の半導体メモリ、磁気ディスク及び光ディスク等が挙げられる。メモリ73は、ストレージ74からロードしたプログラム及びプロセッサ71の演算結果等を一時的に記憶する。プロセッサ71は、メモリ73と協働してプログラムを実行することで、各機能部を構成する。

30

#### 【0030】

通信ポート75は、プロセッサ71からの指令に応じ、動作指令装置6との間で電気信号の入出力を行う。入出力ポート76は、プロセッサ71からの指令に応じ、ユーザインタフェース90との間で電気信号の入出力を行う。ユーザインタフェース90は、モニタ91及び入力デバイス92を含む。

40

#### 【0031】

##### [動作指令装置の機能的構成]

図4は、動作指令装置6の機能的な構成の一例を示すブロック図である。図4に示されるように、動作指令装置6は、演算部600及びモデル取得部610を有する。

#### 【0032】

演算部600は、画像情報と、ハンド位置情報と、収集データに基づいて機械学習によ

50

り構築された、ロボット2の動作指令を特定する過程における少なくとも一部であるモデルとに基づいて、ロボット2の動作指令を演算する。演算部600は、画像センサ4から画像情報を取得し、ロボットコントローラ5からハンド3のハンド位置情報を取得する。演算部600は、ロボット2の把持動作中において、動作指令を逐次演算する。

#### 【0033】

演算部600による動作指令の逐次演算は、図5を用いて説明される。図5は、ロボット2の把持動作の一例を説明する模式図である。図5の(A)は、把持動作開始時におけるロボット2の位置姿勢を示す図である。図中では、把持動作開始時刻を0としている。図5の(B)は、時刻 $t$  ( $0 < t < T$ )におけるロボット2の位置姿勢を示す図である。図5の(C)は、時刻 $T$ におけるロボット2の位置姿勢を示す図である。時刻 $T$ において、ロボット2はワークWを把持した把持状態となる。演算部600は、時刻 $t$ において、時刻 $t$ における画像情報に基づいて、ワークWが把持されるタイミング(時刻 $T$ )におけるハンド3の最終的な位置である把持目標位置を演算する。演算部600は、時刻 $t$ ごとに画像情報を取得して把持目標位置を演算する。このように、演算部600は、時刻 $t$ ごとに動作指令を逐次演算して、ロボットコントローラ5へ出力する。

10

#### 【0034】

演算部600は、一例として、位置生成部601、決定部602、抽出部603、出力部604、及び、算出部605を有する。演算部600は、位置生成部601、決定部602、抽出部603、出力部604、及び、算出部605の全てを備える必要はなく、位置生成部601、決定部602、抽出部603、出力部604、及び、算出部605のうち少なくとも1つを備えればよい。

20

#### 【0035】

位置生成部601は、画像センサ4により取得された画像情報に基づいて、ワークWの認識結果を生成する。ワークWの認識結果は、ワークWの位置情報を含む。ワークWの位置情報は、画像情報に基づいて生成される画像内におけるワークWの位置である。ワークWの認識結果は、一例としてワークWの位置及び大きさを含む。ワークWの位置及び大きさは、バウンディングボックスを用いて表現されてもよい。

#### 【0036】

図6は、ワークWの認識結果の一例である。図6に示される画像G1は、画像センサ4によって取得された画像情報に基づいて生成された画像である。画像G1には、複数のワーク(例えば第1ワークW1、第2ワークW2、第3ワークW3)が描画されている。画像G1には、第1ワークW1を認識した結果であるバウンディングボックス350が表示される。第1ワークW1の位置及び大きさは、画像の座標軸においてバウンディングボックス350の左隅の座標及び縦横の長さで表現される。なお、図6には、ハンド3の先端である爪部材3aが画像情報に含まれている。

30

#### 【0037】

ワークWの認識結果は、ワークWの種別を含んでもよい。ワークWの認識結果として、予め設定された複数の種別の中から1つの種別が選択される。ワークWの認識結果は、把持期待度を含んでもよい。把持期待度は、把持のしやすさを示す指標である。位置生成部601は、時刻 $t$ における画像情報を入力とし、時刻 $t$ において画像内に描画される全てのワークWの認識結果を出力する。つまり、複数のワークWが画像内に描画されている場合、位置生成部601は、画像情報に基づいて複数のワークWそれぞれの認識結果を生成する。

40

#### 【0038】

位置生成部601は、位置モデルを用いてワークWの認識結果を生成してもよい。位置モデルは、ロボット2の動作指令を特定する過程における少なくとも一部である。位置モデルは、画像情報からワークWを認識する認識過程に対応するモデルである。位置モデルは、画像情報の入力を受けて、ワークWの認識結果を出力する。位置モデルは、一例として、画像情報の入力を受けて、複数のワークWの位置情報と、複数のワークWそれぞれの把持期待値とを出力する。位置モデルは、位置モデル記憶部611に格納されている。

50

## 【 0 0 3 9 】

位置モデルは、一例として、ニューラルネットワークで構成される。図7は、モデルを構成するニューラルネットワークの一例である。図7に示されるように、位置モデルMD1は、ノード330の集合体で構成される。ノード330それぞれは、少なくとも1つ以上のノード330と接続される。接続されたノード間には、重みが設定される。ノードの集合体は、データの入力を受ける入力層331として機能する集合体、重みを用いて演算を実行する中間層332として機能する集合体、結果を出力する出力層333として機能する集合体を有する。入力層331は、入力データの数に応じたノード数を有する。出力層333は、出力結果の内容の数に応じたノード数を有する。中間層332は、入力層331及び出力層333の数に応じて適宜設定される。ニューラルネットワークは、複数の中間層332を備えてもよい。位置モデルMD1では、入力層331は、画像情報の入力を受け、出力層333は、ワークWの認識結果を出力する。

10

## 【 0 0 4 0 】

決定部602は、把持対象とする1のワークWを決定する。決定部602は、一例として、位置生成部601により認識されたワークWの認識結果に基づいて、把持対象を決定する。より具体的な一例としては、決定部602は、位置生成部601により認識されたワークWの把持期待度に基づいて、把持対象を決定する。例えば、決定部602は、複数のワークのうち、把持期待度が最も高いワークを把持対象として決定する。

## 【 0 0 4 1 】

抽出部603は、画像センサ4により取得された画像情報と、画像情報に含まれるワークWの位置情報とに基づいて、ワークWに対応する特徴量を抽出する。特徴量の抽出対象となるワークWは、一例として、決定部602によって決定された1のワークWである。抽出部603は、一例として、画像センサ4により取得された画像情報と、位置生成部601により認識されたワークWの位置情報とに基づいて、ワークWに対応する特徴量を抽出する。ワークWに対応する特徴量とは、ワークWの画像情報から導出された値である。特徴量は、輪郭、形状、大きさ、色などの人間が認識可能な情報に限定されない。つまり、特徴量は、人間が視覚的に認識する情報と対応付けられている必要はない。特徴量は、例えば時刻tにおける画像情報、つまり、時刻tにおける視点からみて得られるワークWの特徴量となる。

20

## 【 0 0 4 2 】

抽出部603は、視点の相異なる複数の画像情報と、複数の画像情報それぞれに含まれる同一のワークWの位置情報とに基づいて、ワークWに対応する特徴量を抽出してもよい。視点の相異なる複数の画像情報とは、第1の視点から撮像された画像情報と、第1の視点とは別の第2の視点から撮像された画像情報とを少なくとも含む、複数の画像情報のことである。第1の視点から撮像された画像情報は、例えば把持動作開始時(図5の(A);時刻0)に画像センサ4によって取得された画像情報である。第2の視点から撮像された画像情報は、例えば把持動作中(図5の(B);時刻t)に画像センサ4によって取得された画像情報である。同一のワークWとは、第1の視点から撮像された画像情報に基づいて認識されたワークと、第1の視点とは別の第2の視点から撮像された画像情報に基づいて認識されたワークが同一であるという意味である。

30

40

## 【 0 0 4 3 】

抽出部603は、抽出モデルを用いて特徴量を抽出してもよい。抽出モデルは、ロボット2の動作指令を特定する過程における少なくとも一部である。抽出モデルは、画像情報からワークWに対応する特徴量を抽出する抽出過程に対応するモデルである。抽出モデルは、画像情報とワークWの位置情報との入力を受けて、ワークWに対応する特徴量を出力する。抽出モデルは、抽出モデル記憶部613に格納されている。

## 【 0 0 4 4 】

抽出モデルは、一例として、ニューラルネットワークで構成される。ニューラルネットワークの構成は、図7の位置モデルMD1と同様に、入力層、中間層、及び、出力層を有する。抽出モデルでは、入力層は、画像情報とワークWの位置情報との入力を受け、出力

50

層は、ワークWに対応する特徴量を出力する。

【0045】

出力部604は、画像センサ4により取得された画像情報から抽出されたワークWの特徴量と、ハンド位置情報とに基づいて、ロボット2の動作指令を出力する。出力部604は、一例として、抽出部603により抽出されたワークWの特徴量と、ハンド位置情報とに基づいて、ロボット2の動作指令を出力する。ハンド位置情報は、画像情報が取得された時刻におけるハンド3の位置及び姿勢の少なくとも一方の情報である。例えば、出力部604は、時刻tの画像情報と時刻tのハンド位置情報とを入力として受ける。出力部604は、動作指令の一例として、目標把持位置を出力する。

【0046】

出力部604は、指令モデルを用いて動作指令を出力してもよい。指令モデルは、ロボット2の動作指令を特定する過程における少なくとも一部である。指令モデルは、把持対象の特徴量とハンド3の位置とに基づいてロボット2の動作指令を出力する指令出力過程に対応するモデルである。指令モデルは、画像センサ4により取得された画像情報から抽出されたワークWの特徴量とハンド位置情報との入力を受けて、ロボット2の動作指令を出力する。指令モデルは、指令モデル記憶部614に格納されている。

【0047】

指令モデルは、一例として、ニューラルネットワークで構成される。ニューラルネットワークの構成は、図7の位置モデルMD1と同様に、入力層、中間層、及び、出力層を有する。指令モデルでは、入力層は、画像センサ4により取得された画像情報から抽出されたワークWの特徴量とハンド位置情報との入力を受け、出力層は、ロボット2の動作指令を出力する。

【0048】

ハンド3がグリップである場合、指令モデルは、ワークWの特徴量及びハンド位置情報に加えてグリップの開閉度の入力を受けて、動作指令に加えて、グリップの目標開閉度を出力してもよい。目標開閉度とは、グリップの爪部材3aの間隔の目標値である。この場合、出力部604は、指令モデルを用いて、ワークWの特徴量とハンド位置情報と開閉度とに基づいて動作指令と目標開閉度を出力する。ロボットコントローラ5は、目標開閉度に応じてグリップを動作させる。

【0049】

算出部605は、ロボット2の動作指令と、ワークWに対応する特徴量とに基づいて、ハンド3で把持できる確率を表す把持確率を算出する。算出部605は、一例として、出力部604により出力されたロボット2の動作指令と、抽出部603により抽出された、ワークWに対応する特徴量とに基づいて、ハンド3で把持できる確率を表す把持確率を算出する。

【0050】

算出部605は、把持確率算出モデルを用いて把持確率を出力してもよい。把持確率算出モデルは、ロボット2の動作指令を特定する過程における少なくとも一部である。把持確率算出モデルは、ワークWに対応する特徴量とロボット2の動作指令とに基づいて把持確率を算出する把持確率算出過程に対応するモデルである。把持確率算出モデルは、ワークWに対応する特徴量とロボット2の動作指令との入力を受けて把持確率を出力する。把持確率算出モデルは、把持確率モデル記憶部615に格納されている。

【0051】

把持確率算出モデルは、一例として、ニューラルネットワークで構成される。ニューラルネットワークの構成は、図7の位置モデルMD1と同様に、入力層、中間層、及び、出力層を有する。把持確率算出モデルでは、入力層は、ワークWに対応する特徴量とロボット2の動作指令との入力を受け、出力層は、把持確率を出力する。

【0052】

演算部600は、ロボット2の動作指令を特定する過程において算出されたデータを履歴データとして履歴記憶部620へ出力する。履歴データは、例えば、出力部604によ

10

20

30

40

50

りハンド位置情報が取得された時刻、位置生成部601により画像センサ4から取得された画像情報、位置生成部601により生成されたワークWの位置、抽出部603により抽出されたワークWの特徴量、出力部604により生成された動作指令、算出部605によって算出された把持確率、把持成否などを含む。履歴データは、学習装置7が参照することができるように構成されている。

#### 【0053】

履歴記憶部620に記憶された把持確率は、一例として、ロボット2の把持動作をやり直すか否かを判定するために用いられる。例えば、出力部604は、把持確率が増加傾向であるか、減少傾向であるかを判定し、減少傾向である場合には、ロボット2の把持動作をやり直す動作指令を出力する。一例として、出力部604は、所定時間前のハンド3の位置まで戻るようにロボット2を動作させる動作指令を出力する。これにより、ロボットコントローラ5は、算出部605により算出された把持確率に基づいて、ロボット2を動作させてもよい。

10

#### 【0054】

把持確率は、ロボットコントローラ5がハンド3をワークWに近づけるか否かを判定するためのパラメータとして用いられてもよい。例えば、ロボットコントローラ5は、把持確率が予め定められた閾値以上である場合、ロボット2に把持動作をさせ、把持確率が閾値未満である場合、抽出部603によるワークWに対応する特徴量の抽出と、出力部604によるロボット2の動作指令の出力とを再度実行させてもよい。一例として、ロボットコントローラ5は、ハンド3の位置をワークWから離れるように所定距離だけ移動させて、抽出部603によるワークWに対応する特徴量の抽出と、出力部604によるロボット2の動作指令の出力とを再度実行させてもよい。あるいは、ロボットコントローラ5は、一例として、学習装置7によって学習されたニューラルネットワークの重みの更新タイミングを経過した後に、抽出部603によるワークWに対応する特徴量の抽出と、出力部604によるロボット2の動作指令の出力とを再度実行させてもよい。

20

#### 【0055】

モデル取得部610は、学習装置7から学習結果を取得する。モデル取得部610は、学習結果として、位置モデル、抽出モデル、指令モデル、把持確率算出モデルのネットワーク構成及び重みデータを取得する。モデル取得部610は、取得された位置モデルを、位置モデル記憶部611へ記憶する。モデル取得部610は、取得された抽出モデルを、抽出モデル記憶部613へ記憶する。モデル取得部610は、取得された指令モデルを、指令モデル記憶部614へ記憶する。モデル取得部610は、取得された把持確率算出モデルを、把持確率モデル記憶部615へ記憶する。

30

#### 【0056】

##### [学習装置の機能的構成]

図8は、学習装置7の機能的な構成の一例を示すブロック図である。図8に示されるように、学習装置7は、取得部720及び構築部700を有する。

#### 【0057】

取得部720は、動作指令装置6の履歴記憶部620から履歴データを取得する。一例として、取得部720は、ワークWを把持するハンド3の位置及び姿勢の少なくとも一方と連動する視点から撮像された画像情報と、ハンド3の位置及び姿勢の少なくとも一方を表すハンド位置情報とを含む収集データを取得する。取得部720は、履歴データ記憶部722に履歴データを収集データとして格納する。

40

#### 【0058】

収集データは、動作指令装置6から取得されたデータに限られず、他のデバイスから取得されてもよい。例えば、把持システム1は少なくともロボット2とハンド3と演算部600とロボットコントローラ5とを1セットとして備える場合、取得部720は、この1セットとは異なるセットの動作履歴を収集データとして取得してもよい。つまり、取得部720は、把持システム1に含まれる他のセットの動作履歴を収集データとして取得してもよいし、他の把持システムに含まれるセットの動作履歴を収集データとして取得しても

50

よい。

【0059】

構築部700は、画像センサ4により取得された画像情報と、ハンドの位置及び姿勢の少なくとも一方を表すハンド位置情報とに基づいてロボット2の動作指令を特定する過程における少なくとも一部であるモデルを、収集データに基づいて機械学習により構築する。

【0060】

構築部700は、位置モデル構築部701、抽出モデル構築部703、指令モデル構築部704及び把持確率モデル構築部705を有する。構築部700は、位置モデル構築部701、抽出モデル構築部703、指令モデル構築部704及び把持確率モデル構築部705の全てを備える必要はなく、位置モデル構築部701、抽出モデル構築部703、指令モデル構築部704及び把持確率モデル構築部705のうち少なくとも1つを備えればよい。

【0061】

位置モデル構築部701は、ワーク学習データに基づいた機械学習により、位置モデルを構築する。ワーク学習データは、ワークWを認識するための教師データであり、ワーク学習データ記憶部721に予め記憶される。ワーク学習データの一例としては、ワークWの画像の画像情報と、プロファイル（例えば、画像内のワークWの位置、種別、及び、把持しやすさ）とが関連付けられたデータである。位置モデル構築部701は、ワークWの画像の画像情報からワークWを認識することができるように、ニューラルネットワークの重みを調整する。位置モデル構築部701は、構築された位置モデルを位置モデル記憶部711に格納する。位置モデル記憶部711は、動作指令装置6が参照することができるように構成されている。位置モデル記憶部711は、位置モデル記憶部611を更新するために用いられる。

【0062】

把持確率モデル構築部705は、把持確率学習データに基づいた機械学習により、把持確率モデルを構築する。把持確率学習データは、把持確率を算出するための教師データであり、把持確率学習データ記憶部723に予め記憶される。把持確率学習データの一例としては、ワークWの画像の画像情報と、動作指令と、把持成否とが関連付けられたデータである。把持確率モデル構築部705は、把持確率の高低が履歴の把持成否に近づくように、ニューラルネットワークの重みを調整する。履歴データ記憶部722に学習可能な程度の履歴データが蓄積された場合、把持確率モデル構築部705は、履歴データ記憶部722に記憶された履歴データに基づいた機械学習により、把持確率モデルをさらに調整する。把持確率モデル構築部705が参照する履歴データの一例としては、ワークWの特徴量、動作指令、及び、把持成否である。把持確率モデル構築部705は、ワークWの特徴量と動作指令とに基づいて、把持確率の高低が履歴の把持成否に近づくように、ニューラルネットワークの重みをさらに調整する。把持確率モデル構築部705は、構築された把持確率モデルを把持確率モデル記憶部715に格納する。把持確率モデル記憶部715は、動作指令装置6が参照することができるように構成されている。把持確率モデル記憶部715は、把持確率モデル記憶部615を更新するために用いられる。

【0063】

抽出モデル構築部703は、履歴データ記憶部722に記憶された履歴データに基づいた機械学習により、抽出モデルを構築する。抽出モデル構築部703は、履歴データ記憶部722に学習可能な程度の履歴データが蓄積された場合に、抽出モデルを構築する。抽出モデル構築部703が参照する履歴データの一例としては、画像情報、ワークWの位置情報、把持確率である。参照する履歴データは、把持確率に替えて、把持成否を含んでもよい。抽出モデル構築部703は、ワークWの位置情報に基づいて、把持確率が高くなるワークWの特徴量を画像情報から抽出することができるように、ニューラルネットワークの重みを調整する。抽出モデル構築部703は、構築された抽出モデルを抽出モデル記憶部713に格納する。抽出モデル記憶部713は、動作指令装置6が参照することができ

10

20

30

40

50

るように構成されている。抽出モデル記憶部 7 1 3 は、抽出モデル記憶部 6 1 3 を更新するために用いられる。

【 0 0 6 4 】

指令モデル構築部 7 0 4 は、履歴データ記憶部 7 2 2 に記憶された履歴データに基づいた機械学習により、指令モデルを構築する。指令モデル構築部 7 0 4 は、履歴データ記憶部 7 2 2 に学習可能な程度の履歴データが蓄積された場合に、指令モデルを構築する。指令モデル構築部 7 0 4 が参照する履歴データの一例としては、ワーク W の特徴量、ハンド位置情報、動作指令、及び、把持確率である。履歴データは、把持確率に替えて、把持成否を含んでもよい。指令モデル構築部 7 0 4 は、ワーク W の特徴量とハンド位置情報とに基づいて把持確率が高くなる動作指令を出力することができるように、ニューラルネットワークの重みを調整する。指令モデル構築部 7 0 4 は、構築された指令モデルを指令モデル記憶部 7 1 4 に格納する。指令モデル記憶部 7 1 4 は、動作指令装置 6 が参照することができるように構成されている。指令モデル記憶部 7 1 4 は、指令モデル記憶部 6 1 4 を更新するために用いられる。

10

【 0 0 6 5 】

把持システム 1 は、上述したハードウェア構成に限られず、上述したロボットコントローラ 5、動作指令装置 6 及び学習装置 7 の機能を発揮可能なハードウェア構成であれば何でもよい。例えば、動作指令装置 6 及び学習装置 7 は、1 つのハードウェアリソースであってもよいし、ロボットコントローラ 5 と動作指令装置 6 とが 1 つのハードウェアリソースであってもよいし、ロボットコントローラ 5 と学習装置 7 とが 1 つのハードウェアリソースであってもよいし、ロボットコントローラ 5 と動作指令装置 6 と学習装置 7 とが 1 つのハードウェアリソースであってもよい。1 つのハードウェアリソースとは、外観上一体的に纏められたリソースである。

20

【 0 0 6 6 】

動作指令装置 6 及び学習装置 7 の内部のハードウェア構成は、上述した機能的構成ごとに分離している必要はない。動作指令装置 6 及び学習装置 7 のハードウェア構成は、プログラムの実行により各機能を発揮する構成に限られない。例えば、各機能部の少なくとも一部はその機能に特化した論理回路により構成されていてもよいし、当該論理回路を集積した A S I C ( Application Specific Integrated Circuit ) により構成されていてもよい。

30

【 0 0 6 7 】

動作指令装置 6 及び学習装置 7 のモデルは、1 つのニューラルネットワークで構成されていてもよい。1 つのニューラルネットワークは、一連の機械学習により構築されてもよい。

【 0 0 6 8 】

( 把持手順 )

把持方法の一例として、動作指令装置 6 が実行する把持手順を説明する。図 9 は、把持手順のフローチャートの一例である。

【 0 0 6 9 】

図 9 に示されるように、最初に、動作指令装置 6 は、ステップ S 1 0 を実行する。ステップ S 1 0 では、位置生成部 6 0 1 が画像センサ 4 から画像情報を取得する。

40

【 0 0 7 0 】

次に、動作指令装置 6 は、ステップ S 1 2 を実行する。ステップ S 1 2 では、出力部 6 0 4 が、ロボットコントローラ 5 からハンド位置情報を取得する。

【 0 0 7 1 】

次に、動作指令装置 6 は、ステップ S 1 4 を実行する。ステップ S 1 4 では、位置生成部 6 0 1 が、ステップ S 1 0 で取得された画像情報に基づいて、ワーク W の位置情報を生成する。

【 0 0 7 2 】

次に、動作指令装置 6 は、ステップ S 1 6 を実行する。ステップ S 1 6 では、決定部 6

50

02が、ステップS14で生成されたワークWの位置情報に基づいて、1のワークWを決定する。

【0073】

次に、動作指令装置6は、ステップS18を実行する。ステップS18では、抽出部603が、ステップS10で取得された画像情報に基づいて、ステップS16で決定された1のワークWの特徴量を抽出する。

【0074】

次に、動作指令装置6は、ステップS20を実行する。ステップS20では、出力部604が、ハンド位置情報とステップS18で抽出されたワークWの特徴量とに基づいて、ロボット2の動作指令を算出する。

【0075】

次に、動作指令装置6は、ステップS22を実行する。ステップS22では、出力部604が、ステップS20で算出された動作指令をロボットコントローラ5へ出力する。

【0076】

次に、動作指令装置6は、ステップS24を実行する。ステップS24では、算出部605が、ステップS18で抽出されたワークWの特徴量と、ステップS20で算出された動作指令とに基づいて、把持確率を算出する。

【0077】

次に、動作指令装置6は、ステップS26を実行する。ステップS26では、出力部604が、ステップS24で算出された把持確率が減少傾向であるか否かを判定する。

【0078】

ステップS26において、ステップS24で算出された把持確率が減少傾向であると判定された場合、動作指令装置6は、ステップS28を実行する。ステップS28では、出力部604が、所定時間前のハンド3の位置まで戻るように、動作指令を出力する。

【0079】

ステップS26において、ステップS24で算出された把持確率が減少傾向でないと判定された場合、及び、ステップS28が終了した場合、動作指令装置6は、処理を終了する。

【0080】

図9において、ステップS10は、ステップS14よりも前のタイミングで実行されればよく、ステップS12とステップS14との間に実行されてもよい。ステップS12は、ステップS20よりも前に前のタイミングであれば、どのタイミングで行ってもよい。ステップS22は、ステップS24の後に実行してもよい。この場合、ステップS26及びステップS28は実施せずに、ステップS24で算出された把持確率が予め定められた閾値以上である場合にステップS22が実行され、把持確率が閾値未満である場合、ステップS14、ステップS16、又は、ステップS18から処理が再度実行されてもよい。

【0081】

(位置モデル学習手順)

学習方法の一例として、学習装置7が実行する位置モデル学習手順(モデルの製造方法の一例)を説明する。図10は、位置モデル学習手順のフローチャートの一例である。

【0082】

図10に示されるように、最初に、学習装置7は、ステップS30を実行する。ステップS30では、位置モデル構築部701がワーク学習データ記憶部721からワーク学習データを読み込む。

【0083】

次に、学習装置7は、ステップS32を実行する。ステップS32では、位置モデル構築部701が位置モデルを構築する。位置モデル構築部701は、ワークWの画像の画像情報からワークWを認識することができるように、ニューラルネットワークの重みを調整する。位置モデル構築部701は、学習結果を位置モデル記憶部711に格納する。

【0084】

10

20

30

40

50

ステップS 3 2 が終了した場合、学習装置 7 は、処理を終了する。

【 0 0 8 5 】

( 把持確率モデル学習手順 )

学習方法の一例として、学習装置 7 が実行する把持確率モデル学習手順 ( モデルの製造方法の一例 ) を説明する。図 1 1 は、把持確率モデル学習手順のフローチャートの一例である。

【 0 0 8 6 】

図 1 1 に示されるように、最初に、学習装置 7 は、ステップ S 4 0 を実行する。ステップ S 4 0 では、把持確率モデル構築部 7 0 5 が把持確率学習データ記憶部 7 2 3 から把持確率学習データを読み込む。把持確率学習データの一例は、画像情報、動作指令、及び、把持成否である。

10

【 0 0 8 7 】

次に、学習装置 7 は、ステップ S 4 2 を実行する。ステップ S 4 2 では、把持確率モデル構築部 7 0 5 が把持確率モデルを構築する。把持確率モデル構築部 7 0 5 は、画像情報、動作指令、及び、把持成否に基づいて、把持確率の高低が履歴の把持成否に近づくように、ニューラルネットワークの重みを調整する。把持確率モデル構築部 7 0 5 は、学習結果を把持確率モデル記憶部 7 1 5 に格納する。

【 0 0 8 8 】

ステップ S 4 2 が終了した場合、学習装置 7 は、処理を終了する。

【 0 0 8 9 】

20

( 抽出モデル、指令モデル、把持確率モデルの学習手順 )

学習方法の一例として、学習装置 7 が実行する抽出モデル、指令モデル、把持確率モデルの学習手順 ( モデルの製造方法の一例 ) を説明する。図 1 2 は、抽出モデル、指令モデル、把持確率モデルの学習手順のフローチャートの一例である。

【 0 0 9 0 】

図 1 2 に示されるように、最初に、学習装置 7 は、ステップ S 5 0 を実行する。ステップ S 5 0 では、抽出モデル構築部 7 0 3、指令モデル構築部 7 0 4、及び、把持確率モデル構築部 7 0 5 それぞれが、履歴データ記憶部 7 2 2 に学習可能な程度の履歴データ ( 所定量のデータ ) が蓄積されているか否かを判定する。抽出モデル構築部 7 0 3、指令モデル構築部 7 0 4、及び、把持確率モデル構築部 7 0 5 が一体として学習する場合には、一例として抽出モデル構築部 7 0 3 が履歴データ記憶部 7 2 2 に学習可能な程度の履歴データ ( 所定量のデータ ) が蓄積されているか否かを判定する。

30

【 0 0 9 1 】

ステップ S 5 0 において、履歴データ記憶部 7 2 2 に学習可能な程度の履歴データ ( 所定量のデータ ) が蓄積されていると判定された場合、学習装置 7 は、ステップ S 5 2 を実行する。ステップ S 5 2 では、抽出モデル構築部 7 0 3、指令モデル構築部 7 0 4、及び、把持確率モデル構築部 7 0 5 それぞれが履歴データを読み込む。例えば、抽出モデル構築部 7 0 3 は、履歴データであるワーク W の位置情報、画像情報、把持確率を読み込む。例えば、指令モデル構築部 7 0 4 は、ワーク W の特徴量、ハンド位置情報、把持確率の履歴データを読み込む。把持確率モデル構築部 7 0 5 は、ワーク W の特徴量、動作指令、把持成否を読み込む。

40

【 0 0 9 2 】

次に、学習装置 7 は、ステップ S 5 4 を実行する。ステップ S 5 4 では、抽出モデル構築部 7 0 3 が抽出モデルを構築する。抽出モデル構築部 7 0 3 は、画像情報、ワークの位置情報、及び、把持確率に基づいて、把持確率が高くなるワーク W の特徴量を画像情報から抽出することができるように、ニューラルネットワークの重みを調整する。抽出モデル構築部 7 0 3 は、学習結果を抽出モデル記憶部 7 1 3 に格納する。

【 0 0 9 3 】

次に、学習装置 7 は、ステップ S 5 6 を実行する。ステップ S 5 6 では、指令モデル構築部 7 0 4 が指令モデルを構築する。指令モデル構築部 7 0 4 は、ワークの特徴量、ハン

50

ド位置情報、及び、把持確率に基づいて、把持確率が高くなる動作指令を出力することができるように、ニューラルネットワークの重みを調整する。指令モデル構築部 704 は、学習結果を指令モデル記憶部 714 に格納する。

【0094】

次に、学習装置 7 は、ステップ S58 を実行する。ステップ S58 では、把持確率モデル構築部 705 が把持確率モデルを構築する。把持確率モデル構築部 705 は、ワーク W の特徴量と動作指令とに基づいて、把持確率の高低が履歴の把持成否に近づくように、ニューラルネットワークの重みをさらに調整する。把持確率モデル構築部 705 は、構築された把持確率モデルを把持確率モデル記憶部 715 に格納する。

【0095】

ステップ S50 において、履歴データ記憶部 722 に学習可能な程度の履歴データ（所定量のデータ）が蓄積されていないと判定された場合、又は、ステップ S58 が終了した場合、学習装置 7 は、処理を終了する。

【0096】

上述したステップ S52 ~ S58 では、抽出モデル構築部 703、指令モデル構築部 704、及び、把持確率モデル構築部 705 が一体として学習してもよい。この場合、一例として抽出モデル構築部 703 が、ワーク W の位置情報、画像情報、ハンド位置情報、把持確率、把持成否を読み込む。そして、抽出モデル構築部 703、指令モデル構築部 704、及び、把持確率モデル構築部 705 を一つのニューラルネットワークとして一連の機会学習によって、学習される。このように、抽出モデル、指令モデル、及び、把持確率モデルを組み合わせて学習してもよい。

【0097】

[実施形態の効果]

以上に説明したように、把持システム 1 は、ワーク W を把持するハンド 3 と、ハンド 3 を支持し、ハンド 3 の位置及び姿勢の少なくとも一方を変更するロボット 2 と、ハンド 3 の位置及び姿勢の少なくとも一方と連動する視点から画像情報を取得する画像センサ 4 と、画像センサ 4 により取得された画像情報と、ハンド 3 の位置及び姿勢の少なくとも一方を表すハンド位置情報とに基づいてロボット 2 の動作指令を特定する過程における少なくとも一部であるモデルを、収集データに基づいて機械学習により構築する構築部 700 と、画像情報と、ハンド位置情報と、モデルとに基づいて、ロボット 2 の動作指令を演算する演算部 600 と、演算部 600 により演算されたロボット 2 の動作指令に基づいて、ロボット 2 を動作させるロボットコントローラ 5 と、を備える。

【0098】

構築部 700 による機械学習によって、ハンド 3 と連動する視点とした画像情報及びハンド 3 の位置に基づいてモデルが構築され、モデルから動作指令が出力される。ハンド 3 の位置及び姿勢の少なくとも一方と連動する視点とした画像情報に基づいた機械学習により、動作指令を得ているため、距離センサ及び 3DCAD モデルを備える必要がなく、距離センサの検出結果と 3DCAD モデルとの照合処理が不要になる。また、機械学習を行うことで、作業員による教示が不要になる。このため、この把持システム 1 は、ロボットの把持動作の効率化に有効である。

【0099】

演算部 600 は、画像情報と、画像情報に含まれるワーク W の位置情報とに基づいて、ワーク W に対応する特徴量を抽出する抽出部 603 と、抽出部 603 により抽出された特徴量と、ハンド位置情報とに基づいて、ロボット 2 の動作指令を出力する出力部 604 と、を有してもよい。この場合、抽出部 603 により、画像情報とワーク W の位置情報とから特徴量を抽出でき、その抽出量とハンド位置情報とから、ロボット 2 の動作指令を出力できるため、学習効率がよくなり、把持の成功確率も向上する。

【0100】

抽出部 603 は、視点の相異なる複数の画像情報と、複数の画像情報それぞれに含まれる同一のワーク W の位置情報とに基づいて、ワーク W に対応する特徴量を抽出してもよい。

10

20

30

40

50

この場合、視点が異なる画像に含まれるワークWの位置を使用することで、より正確に特徴量を抽出でき、ひいては、より正確な動作指令を出力できる。

【0101】

構築部700は、画像情報と位置情報との入力を受けて、特徴量を出力する抽出モデルを、収集データに基づいて機械学習により構築する抽出モデル構築部703と、特徴量とハンド位置情報との入力を受けて、動作指令を出力する指令モデルを、収集データに基づいて機械学習により構築する指令モデル構築部704と、を有し、抽出部603は、抽出モデルを用いて特徴量を抽出し、出力部604は、指令モデルを用いて動作指令を出力してもよい。この場合、把持対象の特徴量の抽出と、把持対象を把持する動作の決定を自動で行うことができる。特に、この2つのモデルの組み合わせによれば、動作指令の精度が向上する。

10

【0102】

ハンド3は、グリップであり、指令モデル構築部704は、特徴量及びハンド位置情報に加えてグリップの開閉度の入力を受けて、動作指令に加えて、グリップの目標開閉度を出力する指令モデルを構築し、出力部604は、指令モデルを用いて、特徴量とハンド位置情報と開閉度とに基づいて動作指令と目標開閉度を出力し、ロボットコントローラ5は、目標開閉度に応じてグリップを動作させてもよい。この場合、把持対象に対して適切なグリップの開閉度を出力することができる。

【0103】

画像センサ4は、ハンド3の先端が画像情報に含まれるように配置されてもよい。この場合、ハンド3の先端形状を画像情報から認識して、機械学習することができる。このため、把持精度を更に向上させることができる。特に、ハンド3がグリップの場合、グリップの開閉の正確性も向上する。

20

【0104】

演算部600は、ロボット2の動作指令と、ワークWに対応する特徴量とに基づいて、ハンドで把持できる確率を表す把持確率を算出する算出部を更に有し、ロボットコントローラ5は、算出部605により算出された把持確率に基づいて、ロボット2を動作させてもよい。この場合、把持確率に応じてロボットを動作させることができる。この際、特徴量を使用することで、把持確率の精度を向上させることができる。

【0105】

30

構築部700は、収集データに基づいて機械学習により、ロボット2の動作指令と、ワークWに対応する特徴量との入力を受けて、把持確率を出力する把持確率モデルを構築する把持確率モデル構築部705を更に有し、算出部605は、把持確率モデルを用いて把持確率を算出してもよい。この場合、決定された動作による把持確率を機械学習により自動で取得することができる。

【0106】

ロボットコントローラ5は、把持確率が予め定められた閾値以上である場合、ロボット2に把持動作をさせ、把持確率が閾値未満である場合、抽出部によるワークに対応する特徴量の抽出と、出力部604によるロボットの動作指令の出力とを再度実行させてもよい。この場合、把持失敗の確率を低減できる。

40

【0107】

演算部600は、画像センサ4により取得された画像情報に基づいて、複数のワークWの位置情報と、複数のワークそれぞれの把持期待度とを生成する位置生成部601と、把持期待度に基づいて、把持対象とする1のワークを決定する決定部602と、を更に有し、抽出部603は、画像情報と1のワークの位置情報とに基づいて、当該1のワークに対応する特徴量を抽出してもよい。把持期待度を用いることで、把持しやすさを考慮して把持対象を決定することができる。結果として、把持の成功確率を向上させることができる。

【0108】

構築部700は、収集データに基づいて機械学習により、画像情報の入力を受けて、複

50

数のワークの位置情報と、複数のワークそれぞれの把持期待値とを出力する位置モデルを構築する位置モデル構築部701を更に有し、位置生成部601は、位置モデルを用いて位置情報と把持期待値とを生成してもよい。この場合、各ワークの把持期待値を機械学習により自動で取得することができる。

【0109】

少なくともロボット2とハンド3と演算部600とロボットコントローラ5とを1セットとして備え、構築部は、収集データとして、1セットとは異なるセットの動作履歴を収集したデータに基づいて、モデルを機械学習により構築し、1セットの演算部600は、モデルに基づいて、1セットのロボット2の動作指令を演算してもよい。この場合、他のロボットから得られる学習結果を流用できるため、学習結果の可搬性を高めることができる。

10

【0110】

以上、実施形態について説明したが、本開示は必ずしも上述した実施形態に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲で様々な変形が可能である。

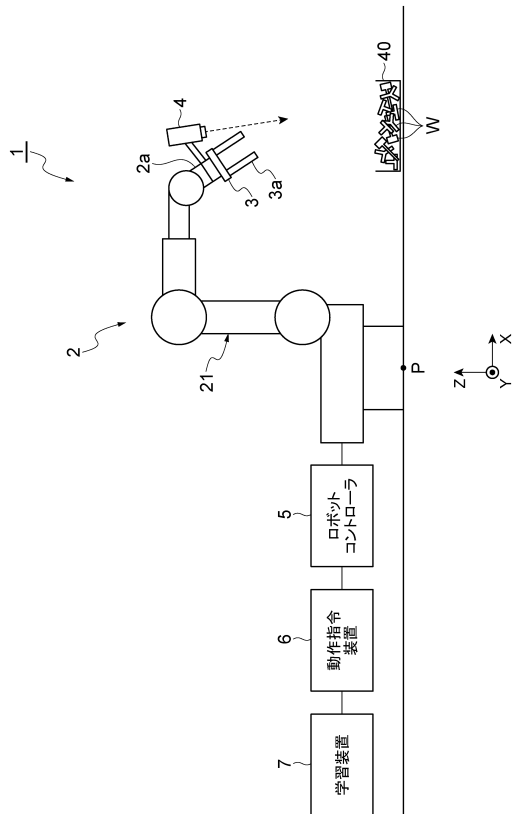
【符号の説明】

【0111】

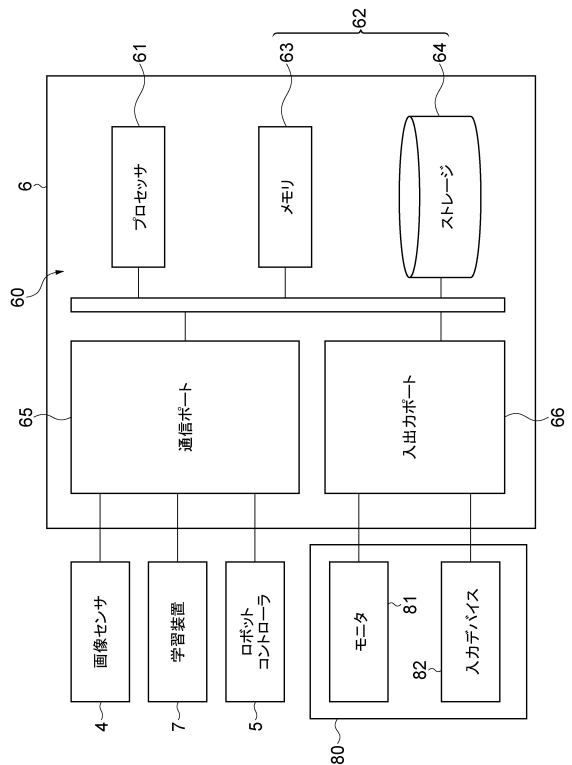
1...把持システム、W...ワーク、2...ロボット、3...ハンド、4...画像センサ、5...ロボットコントローラ、6...動作指令装置、7...学習装置、600...演算部、610...モデル取得部、601...位置生成部、602...決定部、603...抽出部、604...出力部、605...算出部、700...構築部、701...位置モデル構築部、703...抽出モデル構築部、704...指令モデル構築部、705...把持確率モデル構築部。

20

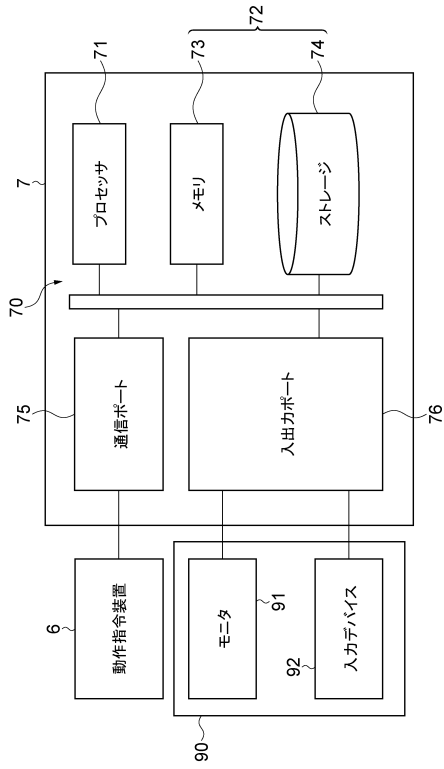
【図1】



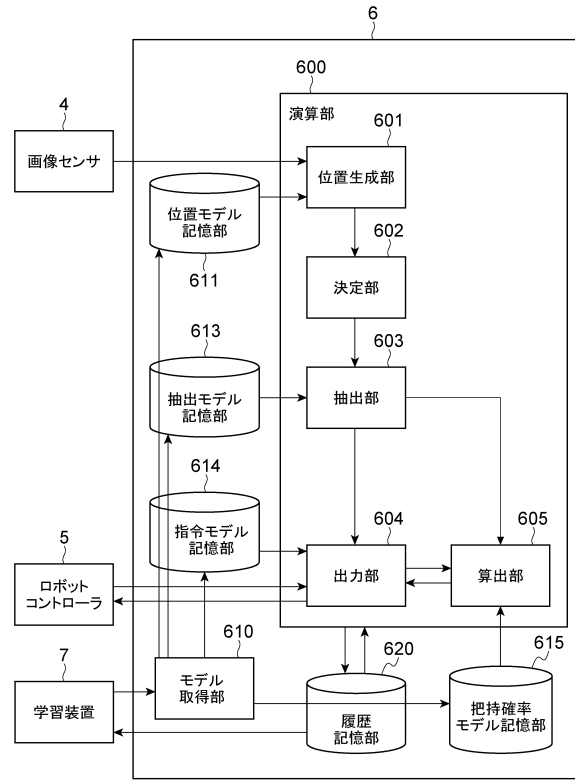
【図2】



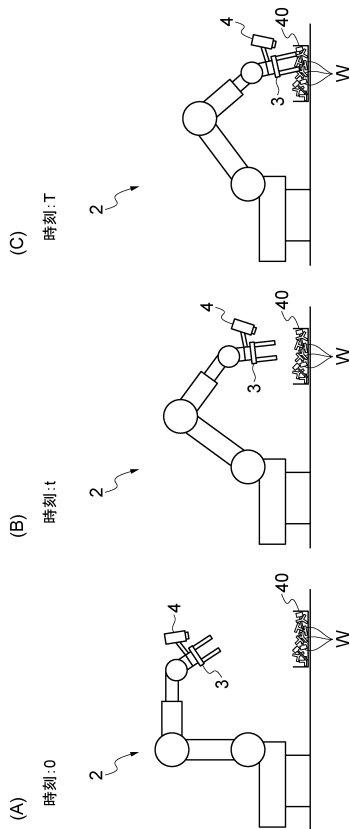
【図3】



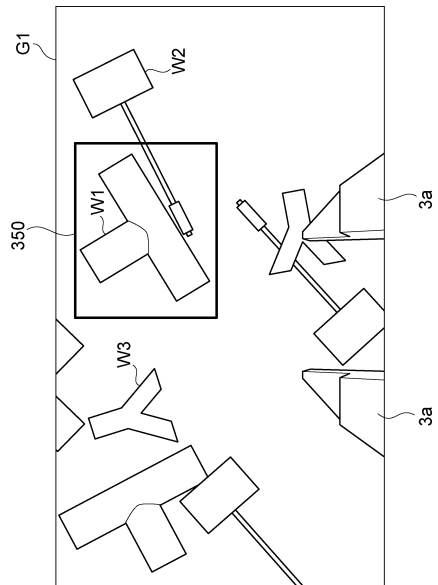
【図4】



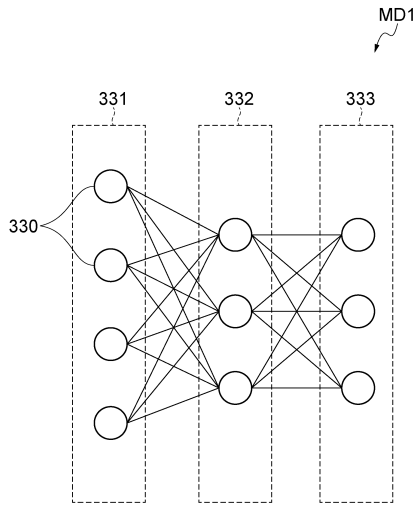
【図5】



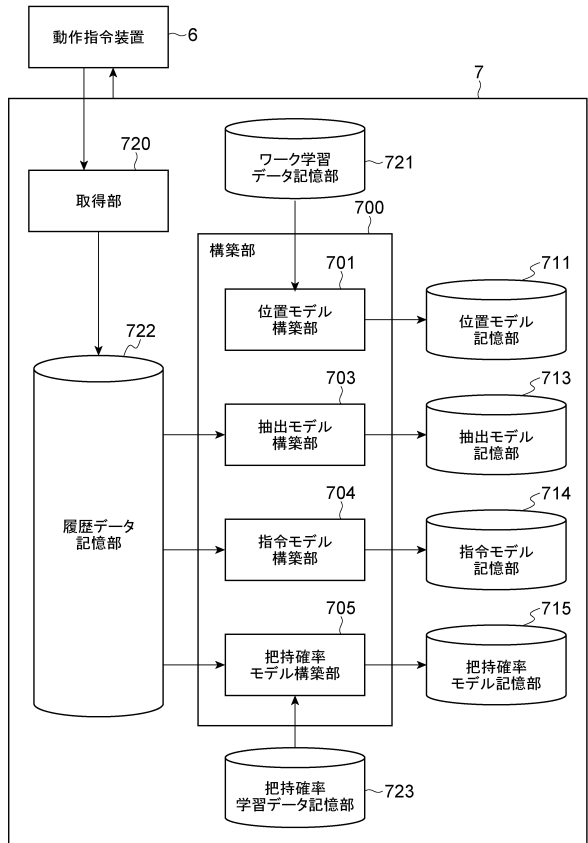
【図6】



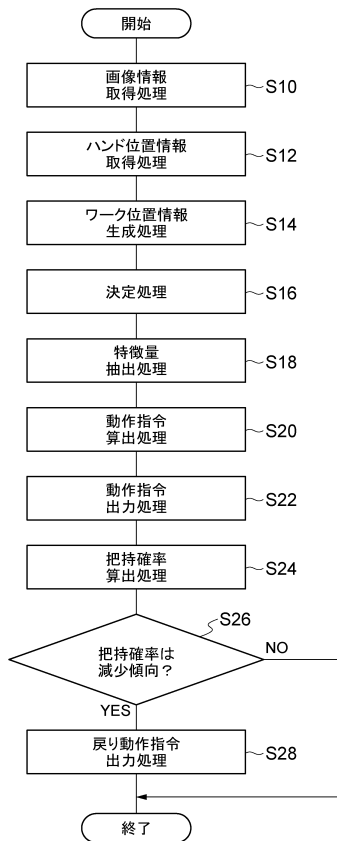
【図7】



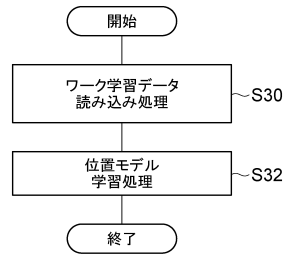
【図8】



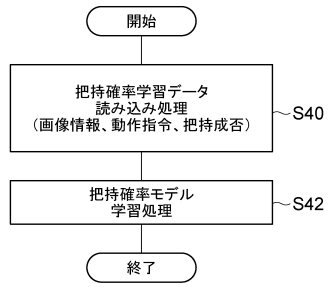
【図9】



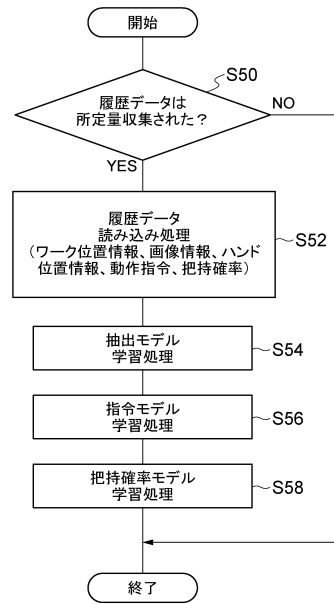
【図10】



【図 11】



【図 12】



## フロントページの続き

- (72)発明者 石川 将太  
福岡県北九州市八幡西区黒崎城石 2 番 1 号 株式会社安川電機内
- (72)発明者 曾我部 光司  
福岡県北九州市八幡西区黒崎城石 2 番 1 号 株式会社安川電機内
- (72)発明者 中村 啓介  
福岡県北九州市八幡西区黒崎城石 2 番 1 号 株式会社安川電機内
- (72)発明者 足立 勝  
福岡県北九州市八幡西区黒崎城石 2 番 1 号 株式会社安川電機内
- (72)発明者 佐々木 雄一  
東京都千代田区九段北一丁目 1 4 番 1 7 号 株式会社クロスコンパス内
- (72)発明者 パスクアリ アントワーヌ  
東京都千代田区九段北一丁目 1 4 番 1 7 号 株式会社クロスコンパス内
- (72)発明者 ウィルモット トーマス  
東京都千代田区九段北一丁目 1 4 番 1 7 号 株式会社クロスコンパス内

審査官 松井 裕典

- (56)参考文献 再公表特許第 2 0 1 3 / 0 0 2 0 9 9 ( J P , A 1 )  
特開 2 0 0 9 - 0 8 3 0 9 5 ( J P , A )  
特開 2 0 1 1 - 0 1 1 3 1 5 ( J P , A )  
特開 2 0 1 7 - 0 6 4 9 1 0 ( J P , A )  
特開 2 0 1 7 - 1 8 5 5 7 8 ( J P , A )  
特開平 0 7 - 0 8 0 7 9 0 ( J P , A )  
米国特許出願公開第 2 0 1 7 / 0 2 7 0 6 3 1 ( U S , A 1 )  
特開 2 0 1 4 - 1 8 0 7 0 4 ( J P , A )  
特開 2 0 1 3 - 0 5 2 4 9 0 ( J P , A )  
特開平 0 7 - 1 6 0 8 8 1 ( J P , A )  
特開平 0 8 - 0 3 0 3 2 7 ( J P , A )

## (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B 2 5 J 1 / 0 0 - 2 1 / 0 2  
G 0 5 B 1 9 / 1 8 - 1 9 / 4 1 6  
G 0 5 B 1 9 / 4 2 - 1 9 / 4 6  
G 0 6 N 3 / 0 0 - 3 / 1 2  
G 0 6 N 2 0 / 0 0 - 2 0 / 2 0