

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2022年5月19日(19.05.2022)



(10) 国際公開番号

WO 2022/102207 A1

(51) 国際特許分類:
B25J 13/00 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2021/031322

(22) 国際出願日: 2021年8月26日(26.08.2021)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願 2020-186988 2020年11月10日(10.11.2020) JP

(71) 出願人: 株式会社日立製作所(HITACHI, LTD.)
[JP/JP]; 〒1008280 東京都千代田区丸の内
一丁目6番6号 Tokyo (JP).

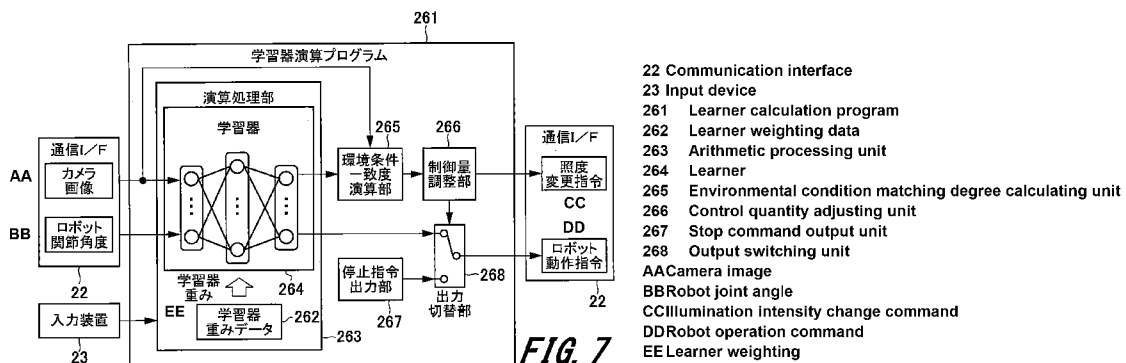
(72) 発明者: 中村 哲司 (NAKAMURA Satoshi);
〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目6番6
号 株式会社日立製作所内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 特許業務法人信友国際特許
事務所 (SHIN-YU INTERNATIONAL PATENT
FIRM); 〒1510073 東京都渋谷区笹塚2-1
-6 笹塚センタービル Tokyo (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保
護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ,
BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,
CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO,
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, KE, KG, KH,
KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY,
MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ,
NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT,

(54) Title: ROBOT CONTROL SYSTEM, ROBOT CONTROL METHOD, AND PROGRAM

(54) 発明の名称: ロボット制御システム、ロボット制御方法及びプログラム



(57) Abstract: This robot control system is provided with a robot device, an environment sensor which acquires an environmental condition of the robot device, and a control device which controls the operation of the robot device by employing a trained model to generate an operation command for the robot device, corresponding to the current output of the environment sensor, wherein the control device is provided with: an environmental condition matching degree calculating unit which calculates a degree of matching between the environmental condition of the robot device during learning and the current environmental condition of the robot device, on the basis of the current output of the environment sensor; and an adjusting unit which adjusts the content of the robot device operation command on the basis of the calculation result of the degree of matching.

QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,
ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,
US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第21条(3))

(57) 要約: ロボット装置と、当該ロボット装置の環境条件を取得する環境センサと、学習済みモデルを用いて環境センサの現在の出力に対応するロボット装置の動作指令を生成してロボット装置の動作を制御する制御装置と、を備えたロボット制御システムにおいて、制御装置は、環境センサの現在の出力に基づいて、学習時のロボット装置の環境条件と、ロボット装置の現在の環境条件との一致度を演算する環境条件一致度演算部と、一致度の演算結果に基づいてロボット装置の動作指令の内容を調整する調整部と、を備える。

明 細 書

発明の名称：

ロボット制御システム、ロボット制御方法及びプログラム

技術分野

[0001] 本発明は、ロボット制御システム、ロボット制御方法及びプログラムに関する。

背景技術

[0002] 従来、産業用ロボットに代表されるロボット装置は、記憶された作業対象物の位置のみに対する動作を繰り返し行うため、ロボット装置に作業を実行させるためには作業内容に則した位置を指定するプログラミングが必要である。しかし、ロボット装置は作業対象物の位置ずれや作業内容の変更に対して対応できない場合があった。そこで、ニューラルネットワークを含む機械学習技術を用いてロボット装置に所定の作業を実行させるように制御する技術が知られている。この技術では、作業対象物の位置等が異なる複数の作業場面における、カメラ等の環境センサの情報からロボット装置の動作指令を生成するように機械学習した学習器（学習済みモデル）を用いる。そして、機械学習した学習器に環境センサの出力を入力して生成した動作指令を用いてロボット装置を制御することで、異なる作業場面においてもロボット装置に作業を実行させることができる。

[0003] 例えば、特許文献１に、学習済みモデル又はそれと同等のモデルを含む学習モジュールを用いてシステムに所定のタスクを実行させるシステムが開示されている。特許文献１に記載のシステムは、複数の動作候補、カメラで撮影した画像、及びロボットの姿勢に基づいて、学習済みモデルで構成される予測器が把持成功率と制約充足度を出力し、動作決定部において把持成功率と制約充足度に基づいて評価値を算出し、評価値に基づいて動作候補の中から次の動作を決定する。把持成功率は、各動作候補を実施したときに成功する確率である。制約充足度は、ユーザーが指定した制約条件を満たすか否か

を表す。このシステムによれば、カメラの撮影画像をもとにロボットの動作を決定するとともに、ユーザーからの制約条件などの入力に応じて動作を調整することができ、いくつかの作業場面においてロボットに作業を実行させることができる。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開2018-190241号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] ところで、機械学習した学習器（学習済みモデル）は基本的には統計に基づく近似推論器であり、学習器が機械学習した状況に近い状況で入力された場合は精度良く推論できるが、学習器が機械学習した時と異なる状況における入力がされた場合は学習器の推論精度が低下する。

[0006] 特許文献1に記載のシステムでは、作業対象物周辺の明るさが学習器による学習時の明るさと異なるといった、カメラの撮影画像に影響を与える環境条件では、ロボット装置を適切に動作させられないことがある。また、ユーザーの制約条件の入力に応じて動作を調整する場合、ユーザーが環境の変化を正しく認識し、認識した内容を制約条件に正しく変換する必要がある。しかし、ユーザーが高精度に制約条件を指定できないことがあり、ロボット装置を適切に動作させられないことがある。

[0007] 本発明は、上記の状況に鑑みてなされたものであり、学習器を用いたロボット装置の現在の環境条件が、当該学習器が機械学習した時の環境条件と異なっていることを検知した場合に、ロボット装置が適切に作業を実行できるようにすることを目的とする。

課題を解決するための手段

[0008] 上記課題を解決するために、本発明の一態様のロボット制御システムは、ロボット装置と、当該ロボット装置の環境条件を取得する環境センサと、当

該環境センサの出力に対応するロボット装置の動作指令を生成するための機械学習を行った学習済みモデルに環境センサの現在の出力を入力して、学習済みモデルから出力される環境センサの現在の出力に対応したロボット装置の動作指令を生成し、ロボット装置の動作を制御する制御装置と、を備えるロボット制御システムである。

上記制御装置は、環境センサの現在の出力に基づいて、学習済みモデルがロボット装置の動作指令を機械学習した時のロボット装置の環境条件と、ロボット装置の現在の環境条件との一致度を演算する環境条件一致度演算部と、当該環境条件一致度演算部の演算結果に基づいて、ロボット装置の動作指令の内容、及び／又は環境センサの設定を調整する調整部と、を備える。

発明の効果

[0009] 本発明の少なくとも一態様によれば、学習器を用いたロボット装置の現在の環境条件が、当該学習器が機械学習した時の環境条件と異なっていることを検知した場合に、現在の環境条件と学習時の環境条件との一致度に基づいて、ロボット装置の動作指令の内容、及び／又は環境センサの設定を調整する。それゆえ、ロボット装置は、このような調整がなされたロボット装置の動作指令、及び／又は環境センサの設定に従って、適切に作業を実行することができる。

上記した以外の課題、構成及び効果は、以下の実施形態の説明により明らかにされる。

図面の簡単な説明

[0010] [図1]本発明の第1の実施形態に係るロボット制御システムの全体構成の例を示す概略図である。

[図2]本発明の第1の実施形態に係るロボット制御システムのソフトウェアを実行するためのハードウェア構成の例を示す概略図である。

[図3]ロボット装置による作業の一例を示す外観図である。

[図4]本発明の第1の実施形態に係るロボット制御システムにおいて、学習型制御装置が実行する学習プログラムのソフトウェア構成の例を示す模式図で

ある。

[図5]本発明の第1の実施形態に係る学習プログラムが学習用データを収集する手順の例を示すフローチャートである。

[図6]本発明の第1の実施形態に係る学習プログラムが学習器に機械学習させる手順の例を示すフローチャートである。

[図7]本発明の第1の実施形態に係るロボット制御システムにおいて、学習型制御装置が実行する学習器演算プログラムのソフトウェア構成の例を示す模式図である。

[図8]本発明の第1の実施形態に係るロボット制御システムにおいて、学習器演算プログラムがロボット装置の環境条件の一致度を演算し制御量を調整する方法の手順例を示すフローチャートである。

[図9]本発明の第1の実施形態に係るロボット制御システムにおいて、環境条件一致度演算部がロボット装置の環境条件の一致度を演算する方法を示す概略図である。

[図10]本発明の第2の実施形態に係るロボット制御システムにおいて、学習型制御装置が実行する学習器演算プログラムのソフトウェア構成の例を示す模式図である。

[図11]本発明の第2の実施形態に係るロボット制御システムにおいて、機械学習した複数の学習器から学習器演算プログラムが一つの学習器を選択する方法の手順例を示すフローチャートである。

[図12]本発明の第3の実施形態に係るロボット制御システムにおいて、学習型制御装置が実行する学習プログラム及び学習器演算プログラムのソフトウェア構成の例を示す模式図である。

発明を実施するための形態

[0011] 以下、本発明を実施するための形態の例について、添付図面を参照して説明する。本明細書及び添付図面において実質的に同一の機能又は構成を有する構成要素については、同一の符号を付して重複する説明を省略する。

[0012] <第1の実施形態>

まず、本発明の第１の実施形態に係るロボット装置の構成、及びロボット装置を制御するロボット制御システムの構成について、図１及び図２を参照して説明する。

[0013] [ロボット制御システムの全体構成]

図１は、第１の実施形態に係るロボット制御システムの全体構成の例を示す概略図である。ロボット制御システム１００において、ロボット装置１の各部と接続したロボット制御装置５が、インターネット又はＬＡＮ等のネットワーク３を介して学習型制御装置２と通信可能に接続されている。なお、ロボット装置１はロボット制御システム１００の制御対象であり、ロボット制御システム１００がロボット装置１を含まない構成としてもよい。

[0014] ロボット装置１は、作業対象物４に対して指示された作業を実行する。ロボット装置１は、作業用ロボット６（ロボット本体）と、照明装置７と、照明装置７の位置を変更する照明装置移動機構１３と、カメラ８と、カメラ８の位置を変更するカメラ移動機構１４とを有する。ロボット装置１を構成するこれらの要素は透明なカバー体１６に收容されている。カバー体１６は必須ではない。照明装置７、照明装置移動機構１３、カメラ８、及びカメラ移動機構１４は、作業用ロボット６の周辺機器である。カメラ８は、ロボット装置１が扱う作業対象物４を含む光学像の画像信号を得る機能を有する。カメラ８は、ロボット装置１の作業環境（環境条件）を計測する環境センサでもある。本明細書において、作業用ロボット６と周辺機器を区別しない場合、又はそれらを総称する場合には、「ロボット装置」と記載する。

[0015] 作業用ロボット６は、ロボットアーム１０と、ロボットアーム１０の先端に取り付けられたエンドエフェクタ１２とで構成される。ロボットアーム１０は複数の関節を有し、各関節に設けられたモータ（図示略）などのアクチュエータが駆動することで自在に動作可能である。ロボットアーム１０の各関節には角度計１１が取り付けられている。作業用ロボット６は、ロボットアーム１０の姿勢演算によりエンドエフェクタ１２の位置を演算できるように構成されている。本実施形態では、垂直多関節型ロボットの例を示してい

るが、直交座標型ロボット、水平多関節型ロボット、パラレルリンクロボット等であってもよい。

[0016] ロボット装置１の作業用ロボット６、照明装置７、照明装置移動機構１３、カメラ８、及びカメラ移動機構１４は、ロボット制御装置５に接続されている。作業用ロボット６及び各周辺機器は、ロボット制御装置５からの制御指令（作業用ロボット６のモータ電流、照明装置７の印加電圧、カメラ８の制御信号等）を受けて動作するとともに、ロボット装置１の状態を表す情報をロボット制御装置５に送信する。

[0017] ロボット装置１の状態を表す情報とは、例えば作業用ロボット６の関節角度、照明装置７の照明光の明るさ、照明装置移動機構１３による照明装置７の位置、カメラ８で撮影した画像（カメラ画像）、及びカメラ移動機構１４によるカメラ８の位置などである。照明装置７の照明光の明るさは、例えば光束（ルーメン）を用いて表される。照明装置７の照明光の光束が変わること、ロボット装置１内部又はロボット装置１周辺の照度が変化し、その変化がカメラ画像の明度及び彩度に表れる。作業用ロボット６の関節角度は、関節により連結されている要素同士（土台、アーム、ハンド等）がなす角度である。以下では、ロボット装置１の状態を表す情報を、「ロボット装置１の状態」と簡略して呼ぶことがある。

[0018] ロボット制御装置５は、ネットワーク３を介して学習型制御装置２に接続されている。ロボット制御装置５は、ロボット装置１から得られたロボット装置１の状態を表す情報を、ネットワーク３を介して学習型制御装置２に送信する。また、ロボット制御装置５は、学習型制御装置２が出力する動作指令（作業用ロボット６の目標関節角度、照明装置７の目標光束等）と、ロボット装置１から入力したロボット装置１の状態とを基に、ロボット装置１に対する制御指令を演算する。

[0019] ここで、作業用ロボット６の動作原理について説明する。

学習型制御装置２は、エンドエフェクタ１２が所望の位置に移動するように、作業用ロボット６の各関節の目標関節角度を動作指令としてロボット制

御装置 5 へ出力する。ロボット制御装置 5 は、学習型制御装置 2 から受信した目標関節角度に対して、作業用ロボット 6 から受信した角度計 11 の角度情報に基づいて、各関節の角度が目標関節角度と一致するように、作業用ロボット 6 のモータ電流を制御指令として出力する。

[0020] なお、学習型制御装置 2 が出力する動作指令は、各関節の目標角度に限定されるものではなく、例えばエンドエフェクタ 12 の X、Y、Z 位置とヨー、ピッチ、ロール角に代表される位置／姿勢情報であってもよい。その場合、ロボット制御装置 5 は、内部で作業用ロボット 6 の逆運動学の解を演算し、作業用ロボット 6 のモータ電流を制御指令として出力するように構成されていてもよい。

[0021] [ロボット制御システムのハードウェア構成]

図 2 は、ロボット制御システム 100 のソフトウェアを実行するためのハードウェア構成の例を示す概略図である。なお、図 2 ではインタフェースを「I/F」と記載している。

[0022] (ロボット制御装置)

ロボット制御装置 5 は、システムバスを介して、制御装置 51、通信インタフェース 52、制御インタフェース 53、及び記憶装置 54 が相互に電氣的に接続されたコンピューターである。制御装置 51 は、CPU (Central Processing Unit)、RAM (Random Access Memory)、及び ROM (Read Only Memory) 等を含み、本実施形態に係る機能を実現するプログラム及び各種データに基づいて、情報処理を実行するように構成される。CPU に代えて、MPU (Micro Processing Unit) 等の他の処理装置を用いてもよい。

[0023] 通信インタフェース 52 は、学習型制御装置 2 と接続して、ロボット装置 1 への動作指令とロボット装置 1 の状態に関するデータを送受信するためのインタフェースである。通信インタフェース 52 は、ネットワーク 3 を介して学習型制御装置 2 の通信インタフェース 22 と通信する。

[0024] 制御インタフェース 53 は、ロボット装置 1 と接続して、ロボット装置 1 への制御指令とロボット装置 1 の状態に関するデータを送受信するためのイ

インタフェースであり、ロボット装置 1 を構成する機器に応じて適宜構成される。制御インタフェース 5 3 に接続されるロボット装置 1 の構成については図 1 を参照して説明済みであるため、ここでは説明は省略する。

[0025] 記憶装置 5 4 は、ハードディスクドライブ又は半導体メモリ等の補助記憶装置であり、制御装置 5 1 が実行する制御プログラム 5 2 1 等を記憶する。

R O M 及び記憶装置 5 4 は、制御装置 5 1 の C P U が動作するために必要なプログラムやデータ等を永続的に記録しており、C P U によって実行されるプログラムを格納したコンピューター読取可能な非一過性の記録媒体の一例として用いられる。ロボット制御装置 5 は、電源の投入等により起動すると、記憶装置 5 4 に記憶されている制御プログラム 5 2 1 を制御装置 5 1 の R A M に展開して実行する。

[0026] 制御プログラム 5 2 1 は、通信インタフェース 5 2 から入力される学習型制御装置 2 で生成された動作指令及び／又はカメラ 8 の設定と、制御インタフェース 5 3 から入力されるロボット装置 1 の状態を表す情報とに基づいて、ロボット装置 1 に対する制御指令を生成する。そして、制御プログラム 5 2 1 は、制御インタフェース 5 3 からロボット装置 1 へ制御指令を出力する。また、制御プログラム 5 2 1 は、制御インタフェース 5 3 から入力されるロボット装置 1 の状態を表す情報を通信インタフェース 5 2 から学習型制御装置 2 へ出力する。

[0027] (学習型制御装置)

学習型制御装置 2 は、システムバスを介して、制御装置 2 1、通信インタフェース 2 2、入力装置 2 3、及び記憶装置 2 4 が相互に電氣的に接続されたコンピューターである。制御装置 2 1 は、C P U、R A M、及び R O M 等を含み、本実施形態に係る機能を実現するプログラム及び各種データに基づいて情報処理を実行するように構成される。

[0028] 通信インタフェース 2 2 は、ロボット制御装置 5 と接続して、ロボット制御装置 5 へのロボット装置 1 の動作指令とロボット装置 1 の状態を送受信するためのインタフェースである。通信インタフェース 2 2 は、ネットワーク

3を介してロボット制御装置5の通信インタフェース52と通信する。

[0029] 入力装置23は、マウスやキーボード等のユーザーからの入力を取り込む装置であり、学習型制御装置2のプログラムの実行等を制御する。

[0030] 記憶装置24は、ハードディスクドライブ又は半導体メモリ等の補助記憶装置であり、制御装置21が実行する学習プログラム251、学習器演算プログラム261、学習用データ252、及び学習器重みデータ262等を記憶する。ROM及び記憶装置24は、制御装置21のCPUが動作するために必要なプログラムやデータ等を永続的に記録しており、CPUによって実行されるプログラムを格納したコンピューター読取可能な非一過性の記録媒体の一例として用いられる。学習型制御装置2は、電源の投入等により起動すると、記憶装置24に記憶されている学習プログラム251及び学習器演算プログラム261を制御装置21のRAMに展開する。

[0031] 学習プログラム251は、入力装置23を介してユーザーから学習の実行が指示されると、通信インタフェース22から入力されるロボット装置1の状態や環境等の情報を用いて、学習用データ252を生成して記憶装置24に記録する。そして、学習プログラム251は、この学習用データ252を用いて、後述する学習器256（図4参照）に機械学習させ、学習済みパラメータとして学習器重みデータ262を生成する。学習器256は、いわゆる教師あり学習モデルである。例えば、学習器重みデータ262はニューラルネットワークの重みである。

[0032] 学習器演算プログラム261は、入力装置23を介してユーザーからロボット装置1の制御の実行が指示されると、学習器重みデータ262を読み込む。そして、学習器演算プログラム261は、通信インタフェース22から得られるロボット装置1の状態と後述する学習済みの学習器264（図7参照）とを用いて、ロボット装置1の動作指令やカメラ8の設定を演算する。学習器264は、学習器256による学習の結果（学習済みパラメータ）が反映された学習済みモデル（推論プログラム）である。学習器演算プログラム261は、生成したロボット装置1の動作指令やカメラ8の設定を通信イ

インタフェース 22 からロボット制御装置 5 に出力する。ロボット制御装置 5 は、学習型制御装置 2 から入力されたロボット装置 1 の動作指令及び／又はカメラ 8 の設定に基づいて、ロボット装置 1 に制御指令を出力してその動作を制御する。

[0033] なお、ロボット制御装置 5 と学習型制御装置 2 は、ネットワーク 3 を介して接続されている構成に限らない。ロボット制御装置 5 と学習型制御装置 2 は、通信インタフェース 52 と通信インタフェース 22 が専用線等で直接接続されている構成であってもよい。また、制御インタフェース 53 と通信インタフェース 52 が同一であってもよく、ロボット制御装置 5 は、ネットワーク 3 を介してロボット装置 1 に制御指令を出力するように構成されていてもよい。

[0034] また、学習プログラム 251 と学習器演算プログラム 261 は、同一の学習型制御装置 2 に記憶されていなくてもよく、それぞれが異なる学習型制御装置に記憶されていてもよい。例えば、異なる学習型制御装置間で、ネットワーク 3 を介して学習用データ 252 や学習器重みデータ 262 を通信するように構成されていてもよい。

[0035] また、学習型制御装置 2 とロボット制御装置 5 は、同一のハードウェアで構成してもよい。すなわち、制御プログラム 521、学習プログラム 251 及び学習器演算プログラム 261 が同一のハードウェア上で実行されるように構成されていてもよい。

[0036] 次に、ロボット制御システム 100 において、学習型制御装置 2 がロボット装置 1 の動作指令を学習した時の環境条件と、環境センサの現在の出力（環境条件）との比較に基づいて、ロボット装置 1 の動作指令を調整する方法を図 3 乃至図 8 を用いて説明する。

[0037] [ロボット装置が実行する作業の例]

図 3 は、ロボット装置 1 によって実行される作業の一例を示す外観図である。図 3 を用いてロボット装置 1 の作業例を説明する。

[0038] 作業用ロボット 6 は、所定の作業を繰り返し実行する工程に対して特に有

用である。例えば、図3には、作業用ロボット6が、搬入トレイ32にバラ積みされた作業対象物4を搬出トレイ35に移し替える作業を繰り返す工程が示されている。作業用ロボット6は、搬入ライン31から搬入された搬入トレイ32にバラ積みされた作業対象物4をエンドエフェクタ12で1つずつ掴み、搬出トレイライン33から搬入される搬出トレイ35に整列して配置する。そして、作業用ロボット6は、作業対象物4が配置された搬出トレイ35を把持して搬出ライン34に移動する。作業用ロボット6は、これらの作業を繰り返し実行する。

[0039] 作業用ロボット6が搬入トレイ32から作業対象物4を把持して移動する動作では、作業用ロボット6がランダムに配置されている複数の作業対象物4の中から把持可能な作業対象物4を1つだけ選択し、選択した作業対象物4のみを把持するように、作業用ロボット6を制御する必要がある。このような動作を予め定められたエンドエフェクタ12の位置指定のみで対応させることは難しい。そこで、バラ積みされた作業対象物4を把持する動作を、作業対象物4の位置や向き（姿勢）を変更した複数の作業場面で機械学習し、機械学習した学習型制御装置2が生成した作業用ロボット6の動作指令を用いて作業用ロボット6を制御する。これにより、作業対象物4の配置（位置、姿勢）がランダムであっても、作業用ロボット6が作業対象物4をエンドエフェクタ12で確実に把持できることが期待される。

[0040] また、搬出トレイライン33の搬出トレイ35は、図3に示すように、搬出トレイ35の位置や向きがずれて搬入されることがある。このため、搬出トレイ35に作業対象物4を配置する際に、搬出トレイ35の位置や向きに合わせて作業対象物4を配置する必要がある。このような動作を予め定められたエンドエフェクタ12の位置指定のみで対応させることは難しい。そこで、ロボット制御システム100では、作業対象物4を搬出トレイ35に配置する動作を、搬出トレイ35の位置や向きを変更した複数の作業場面で機械学習し、機械学習した学習器が推論した作業用ロボット6の動作指令を用いて作業用ロボット6を制御する。これにより、搬出トレイ35の位置や向

きがずれて搬入された場合であっても、適切に作業対象物 4 を搬出トレイ 35 に整列して配置させられると期待できる。

[0041] 上記のような機械学習した学習器を用いた制御を実行するために、搬入トレイ 32 にバラ積みされた作業対象物 4 の状態を把握するためのカメラ 8a と、搬出トレイ 35 の位置や向きを把握するためのカメラ 8b を設置することがある。また、カメラ 8a, 8b の取得画像の明暗を調整するための照明装置 7a, 7b を設置することがある。このとき、図示しないロボット装置 1 の周囲環境の影響で、ある時点でのカメラ 8a, 8b の取得画像の状態（例えば明度、彩度など）が、学習器により機械学習した時のカメラ 8a, 8b の取得画像の状態と同一にならないことがある。

[0042] 例えば、ロボット装置 1 付近の窓を通して外部から差し込む光の影響や、ロボット装置 1 が設置されている建物の天井に備えられた照明の影響等がある。これらの影響は現場によって変化するため、同一の工程を異なる現場で実行させた場合、学習器が機械学習した時の環境条件が現在の環境条件と異なってしまい、適切な制御を実行できないことがある。そのため、作業用ロボット 6 に適切な制御を実行させるためには、ロボット装置 1 の制御時の環境条件を、学習器が機械学習した時の環境条件と同一にすることが望ましい。

[0043] [動作指令を学習する方法]

次に、学習型制御装置 2 がロボット装置 1 の動作指令を学習する方法について図 4～図 6 を用いて説明する。

[0044] 図 4 は、ロボット制御システム 100 において、学習型制御装置 2 が実行する学習プログラム 251 のソフトウェア構成の例を示す模式図である。

図 5 は、学習プログラム 251 が学習用データ 252 を収集する手順の例を示すフローチャートである。

図 6 は、学習プログラム 251 が学習器 256 を機械学習させる手順の例を示すフローチャートである。

[0045] なお、図 5 のすべての処理ステップは、学習型制御装置 2 において予め定

められたサンプリングタイミング毎に実行される。また、制御装置 21 の RAM には、後述するステップ S15（図 6 参照）において学習器 256 が更新された回数が保存され、ステップ S14 において更新回数の判定時に更新回数が RAM から呼び出される。また、学習プログラム 251 は、制御装置 21 の RAM に展開されて CPU により実行されるときに、データ収集部 253 及び学習処理部 255 をソフトウェアモジュールとして備えるように構成される。

[0046] まず、図 4 を参照して学習プログラム 251 のデータ収集部 253 が、学習器 256 に機械学習させるための複数の作業場面の学習用データ 252 を収集する方法について説明する。データ収集部 253 は、入力装置 23 を介したユーザーの指示に基づいて学習用データ 252 の収集期間を判定する収集期間判定部 254 を備える。ユーザーは、入力装置 23 により学習用データ 252 の取得の開始と終了を指示する。

[0047] データ収集部 253 は、収集期間判定部 254 が判定した収集期間のカメラ 8 のカメラ画像、作業用ロボット 6 の関節角度、及び作業用ロボット 6 の動作指令である目標関節角度を、通信インタフェース 22 を介して取得し、1 つの作業場面における学習用データ 252 として記憶装置 24 に保存する。

[0048] 例えば、予めロボット制御装置 5 の制御プログラム 521 に、作業用ロボット 6 の関節角度を複数指定し、所定の時間で指定した関節角度になるようにプログラミングしておく。そして、データ収集部 253 は、制御プログラム 521 により作業を実行している際の、サンプリングタイミング毎のデータをロボット装置 1 から取得し、時系列データを 1 つの学習用データ 252 として記憶装置 24 に保存する。データ収集部 253 は、入力装置 23 が指示する数の作業場面における学習用データ 252 を収集する。例えば、作業場面として作業用ロボット 6 が搬入トレイ 32 にバラ積みされた作業対象物 4 をつかむ作業を何回も学習することにより、作業対象物 4 の位置や姿勢が異なる複数の学習用データ 252 を収集できる。

- [0049] 図5において、はじめにデータ収集部253の収集期間判定部254は、入力装置23を介してユーザーからデータ収集指示が入力されたか否かを判定する(S1)。そして、収集期間判定部254は、データ収集指示があった場合は(S1のYES)、処理をステップS2に進め、データ収集指示がなかった場合は(S1のNO)、ステップS1の判定処理を再度実行してデータ収集指示の入力を監視する。
- [0050] 次いで、データ収集部253は、データ収集指示が入力されたと判定した場合(S1のYES)、1サンプリング分のカメラ画像、作業用ロボット6の関節角度、及び作業用ロボット6の動作指令を1つの作業場面における学習用データ252に記録し(S2)、ステップS3に進む。
- [0051] 次いで、データ収集部253は、入力装置23を介してユーザーから指定された収集期間のデータが記録されたか否かを判定する(S3)。そして、データ収集部253は、指定された収集期間のデータが記録されていない場合には(S3のNO)、処理をステップS2に戻し、データの記録を継続する。一方、データ収集部253は、指定された収集期間のデータが記録された場合は(S3のYES)、1つの作業場面における学習用データ252が取得されたとして、処理をステップS4に進める。
- [0052] 次いで、データ収集部253は、入力装置23を介して指示された数以上の作業場面における学習用データ252を収集したか否かを判定する(S4)。そして、データ収集部253は、指示された数以上の作業場面における学習用データ252の収集が完了していない場合は(S4のNO)、処理をステップS1の前に戻し、異なる作業場面における学習用データ252を収集するよう処理を継続する。一方、データ収集部253は、指示された数の作業場面における学習用データ252の収集が完了した場合は(S4のYES)、一連の処理を終了する。
- [0053] なお、ステップS1におけるデータ収集開始の判定や、ステップS3における収集期間終了の判定は異なる方法であってもよい。例えば、作業用ロボット6のエンドエフェクタ12が所定の位置に達した瞬間からデータの記録

を開始し、入力装置 2 3 を介してユーザーが指示した時点までのデータを記録するように構成されてもよい。また、収集する学習用データ 2 5 2 の内容は、カメラ画像、作業用ロボット 6 の関節角度、及び作業用ロボット 6 の動作指令と異なる内容であってもよく、カメラ画像と作業用ロボット 6 の動作指令のみで構成されていてもよい。また、ロボット装置 1 の動作指令は作業用ロボット 6 の目標関節角度に限定されず、エンドエフェクタ 1 2 の X、Y、Z 位置とヨー、ピッチ、ロール角に代表される位置情報及び姿勢情報であってもよい。

[0054] (学習器の機械学習)

続いて、図 4 に戻り学習プログラム 2 5 1 の学習処理部 2 5 5 が、データ収集部 2 5 3 により収集された複数の作業場面における学習用データ 2 5 2 を用いて、学習器 2 5 6 に機械学習させる方法について説明する。

[0055] 学習処理部 2 5 5 は、学習器 2 5 6 と、重み更新量演算部 2 5 7 を備える。

学習器 2 5 6 は、学習用データ 2 5 2 のカメラ画像とロボット関節角度を入力すると、学習時のカメラ画像を再現（ノイズ除去等の処理を実施）した推定画像と、作業用ロボット 6 の目標関節角度である推定動作指令とを出力する。推定画像は、環境センサの出力に基づいて生成される再現信号の一例である。例えば、学習器 2 5 6 には、複数の層で構成されるニューラルネットワークを適用できる。ニューラルネットワークを構成する各ニューロンには、重みとバイアスが設定されている。複数のニューロンで一つの層が形成され、入力層と出力層との間には、中間層が設定される。

[0056] 重み更新量演算部 2 5 7 は、作業場面ごとに学習用データ 2 5 2 のカメラ画像と学習器 2 5 6 から出力される推定画像、並びに、学習用データ 2 5 2 の動作指令と学習器 2 5 6 から出力される推定動作指令をそれぞれ比較する。そして、重み更新量演算部 2 5 7 は、学習用データ 2 5 2 の内容と学習器 2 5 6 の出力が一致するように、学習器 2 5 6 の重み（ニューラルネットワークの各ニューロン間の結合度や各ニューロンの発火（活性化）閾値等の重

み)の更新量を演算する。ここでは、重みの更新量を演算する構成としているが、重みの更新量に加えてバイアスの更新量を演算する構成としてもよい。

[0057] そして、学習処理部255は、予め定められた条件に達するまで学習器256の重みを、重み更新量演算部257が演算する更新量に従い更新し続け、予め定められた条件に達した場合、その時の学習器256の重みを学習器重みデータ262として保存する。

[0058] ここで、図6を参照して学習処理部255が学習器256の重みを更新する処理の手順について説明する。

はじめに、学習処理部255は、学習器256の重みを初期化する(S11)。続いて、学習処理部255は、重み更新量演算部257により学習器256の出力と教師データとの誤差を演算する(S12)。具体的には、重み更新量演算部257は、学習器256が出力する推定画像と学習用データのカメラ画像との誤差、及び、学習器256が出力する推定動作指令と学習用データの動作指令との誤差を演算し、処理をステップS13に進める。

[0059] 次に、学習処理部255は、ステップS12で重み更新量演算部257が演算した誤差が所定値以下であるか否かを判定する(S13)。そして、学習処理部255は、誤差が所定値以下である場合(S13のYES)、学習器256の推定結果が十分正しいとして処理をステップS16に進め、誤差が所定値を超える場合は(S13のNO)、処理をステップS14に進める。

[0060] 例えば、画像の誤差と動作指令の誤差とを含む誤差関数を定義し、誤差関数がゼロ又は最小となるようにニューラルネットワークの重みが決定される。あるいは、カメラ画像の学習と動作指令の学習を別々に行ってもよく、学習(誤差算出、重み決定)の方法は種々の方法が考えられる。

[0061] 判定ステップS13がNO判定の場合、学習処理部255は、後述するステップS15での学習器256の重みの更新を所定回数実行したか否かを判定する(S14)。そして、学習処理部255は、学習器256の重みを所

定回数更新した場合は（Ｓ１４のＹＥＳ）、学習器２５６の重みの更新が収束しているとして処理をステップＳ１６に進める。また、学習処理部２５５は、学習器２５６の重みを所定回数更新していない場合は（Ｓ１４のＮＯ）、処理をステップＳ１５に進める。

[0062] 次いで、判定ステップＳ１４がＮＯ判定の場合、学習処理部２５５は、ステップＳ１２で重み更新量演算部２５７により演算された誤差の大きさに基づいて学習器２５６の重みの更新量を演算する。そして、学習処理部２５５は、重み更新量演算部２５７が演算した学習器２５６の重み更新量に従い学習器２５６の重みを更新し（Ｓ１５）、ＲＡＭに記録している更新回数を１つ増やす。ステップＳ１５の処理後、学習処理部２５５は、処理をステップＳ１２に戻し、更新処理を繰り返すことで学習器２５６を最適化する。

[0063] 判定ステップＳ１３がＹＥＳ判定の場合、又は判定ステップＳ１４がＹＥＳ判定の場合は、学習処理部２５５は、学習器２５６（ニューラルネットワーク）の重みを学習器重みデータ２６２として記憶装置２４に保存して（Ｓ１６）、一連の処理を終了する。

[0064] なお、図４ではニューラルネットワークは単純な多層パーセプトロン（MLP:Multi Layer Perceptron）を図示しているが、異なるネットワークを用いてもよく、例えば畳み込みネットワーク（CNN:Convolutional Neural Network）や再帰型ネットワーク（RNN:Recurrent Neural Network）等を用いる構成にしてもよく、さらにこれらのネットワークを組み合わせた構成としてもよい。また、学習器２５６の学習方法は、ニューラルネットワークを用いた深層学習による機械学習に限らず、他の学習方法であってもよい。

[0065] 上述したように、学習器２５６は、作業対象物４の状態を写したカメラ画像と作業用ロボット６の状態であるロボット関節角度とを入力したときの、作業用ロボット６の動作指令を学習し、推定動作指令として出力する。ニューラルネットワークが適用された学習器２５６では、各ニューロンが結合されることで、カメラ画像の情報とロボット関節角度の情報が結びつき、結果として作業対象物４の状態に対する作業用ロボット６の動作を紐づけて学習

する。このため、後述する学習器演算プログラム 261 の実行時に、カメラ画像が学習用データ 252 を取得した時のカメラ画像と異なる状況では作業用ロボット 6 の動作が正しく実行されなくなる。

[0066] 本実施形態では、学習器 256 は、推定動作指令と同時にカメラ画像を再現した推定画像を出力するよう学習するが、上述したように各ニューロンの結合により、学習器 256 に入力されるカメラ画像と作業用ロボット 6 の動作が紐づけられて学習される。すなわち、学習器 256 は、推定動作指令と推定画像もまた紐づくように学習する。そのため、推定画像がカメラ画像と一致しているときは、推定動作指令も学習用データ 252 の動作指令と一致すると判断することができる。

[0067] また、学習器 256 は、ある作業場面について複数の学習用データ 252 のカメラ画像と推定画像が一致するように学習するため、カメラ画像のノイズが平滑化された推定画像を出力するよう学習する。そのため、学習器 256 が学習する推定画像は、瞬間的な外乱が除かれた作業対象物 4 の状態のみを反映した画像となる。

[0068] [動作指令を生成する方法]

次に、学習型制御装置 2 がロボット装置 1 の動作指令を生成する方法について図 7 ～図 9 を用いて説明する。

[0069] 図 7 は、ロボット制御システム 100 において、学習型制御装置 2 が実行する学習器演算プログラム 261 のソフトウェア構成の例を示す模式図である。図 7 に示すように、学習型制御装置 2 は、制御装置 21 の CPU が記憶装置 24 に記憶された学習器演算プログラム 261 を RAM に展開し実行する。学習器演算プログラム 261 は、制御装置 21 の RAM に展開されて CPU により実行されるときに、演算処理部 263、環境条件一致度演算部 265、制御量調整部 266、停止指令出力部 267、及び出力切替部 268 をソフトウェアモジュールとして備えるように構成される。

[0070] 演算処理部 263 は、通信インタフェース 22 を介してカメラ画像とロボット関節角度が入力されると、そのカメラ画像を再現した推定画像と、作業

用ロボット6の目標関節角度を推定した推定動作指令とを出力する学習器264を備える。学習器264には、学習器256と同様にニューラルネットワークを適用することができる。演算処理部263は、入力装置23を介してユーザーからロボット装置1の動作開始の指示があると、図4の学習プログラム251によって生成された学習器重みデータ262の重み値を学習器264に適用する。学習器264は、カメラ画像とロボット関節角度とに基づいて演算処理（推論）を行い、推定動作指令を生成する。そして、演算処理部263は、学習器264が推論した推定動作指令を、作業用ロボット6の制御信号として出力切替部268に出力するとともに、推定画像を環境条件一致度演算部265に出力する。

[0071] 環境条件一致度演算部265は、カメラ8のカメラ画像に基づいて、学習器256がロボット装置1の動作指令を機械学習した時のロボット装置1の環境条件と、ロボット装置1の現在の環境条件との一致度を演算し、演算結果を制御量調整部266へ出力する。

[0072] 制御量調整部266（調整部の一例）は、環境条件一致度演算部265の演算結果に応じて、ロボット装置1の動作指令の内容、及び／又はカメラ8の設定を調整し、調整結果を通信インタフェース22を介してロボット制御装置5へ出力する。また、制御量調整部266は、学習器256が出力するカメラ8のカメラ画像を再現した推定画像と、カメラ8の現在のカメラ画像との差分に基づいて、出力切替部268に切替信号を出力する。

[0073] 出力切替部268は、制御量調整部266の切替信号に基づいて、学習器264が推定する動作指令（推定動作指令）と、停止指令出力部267が出力する停止指令のいずれかを、ロボット動作指令として通信インタフェース22を介してロボット制御装置5へ出力する。

[0074] （環境条件の一致度に基づく制御量の調整）

図8は、ロボット制御システム100において、学習器演算プログラム261がロボット装置1の環境条件の一致度を演算して制御量を調整する方法（演算工程、調整工程）の手順例を示すフローチャートである。

図9は、ロボット制御システム100において、環境条件一致度演算部265がロボット装置1の環境条件の一致度を演算する方法を示す概略図である。図9には、搬入トレイ32にバラ積みされた作業対象物4の画像が記載されている。

[0075] 図8のすべての処理ステップは、学習型制御装置2において予め定められたサンプリングタイミング毎に実行される。また、制御装置21のRAMには、ステップS22、及びステップS27、S28のそれぞれで設定された照明装置7の照明光の光束補正量が保存される。制御装置21は、後述するロボット装置1の環境条件としてロボット装置1の作業位置周辺の明るさ（照度）を調整する際に、RAMに保存された照明光の光束補正量を呼び出す。

[0076] 図8において、はじめに学習器演算プログラム261の制御量調整部266は、作業用ロボット6への動作指令が停止指令出力部267の出力となるように、出力切替部268に切替指示を出力し、作業用ロボット6を停止させる（S21）。後述するステップS22乃至ステップS29で変更する照明装置7の明るさ調整が完了するまでは、学習器264の推定動作指令が不適切なために作業用ロボット6が不適切に動作してしまう。これを防ぐために、学習器演算プログラム261は、通信インタフェース22に停止指令を出力して作業用ロボット6を停止させておく。

[0077] 次いで、制御量調整部266は、照明装置7の照明光の光束を現在より予め定められた量だけ明るくするように、光束変更量を正に設定する（S22）。例えば、正の光束変更量に基づいて照明装置7に対する印加電圧を所定量大きな値に設定することで、照明装置7の照明光が明るくなる。照明装置7の照明光の光束と印加電圧との関係は、相関式又は参照テーブルの形で予めROM又は記憶装置24に記憶されている。

[0078] 次いで、環境条件一致度演算部265は、カメラ8から取得したカメラ画像と学習器264が出力する推定画像との誤差を演算する（S23）。例えば、学習器264に適用される学習器重みデータ262を機械学習した時の

カメラ 8 が取得するカメラ画像の環境条件が、図 9 上段に示す画像 1 m 1 のような環境条件（周囲が明るい条件）の場合、学習器 2 6 4 が出力する推定画像は図 9 上段の画像 1 m 1 と同様に明るい画像になる。一方で、学習器 2 5 6 が機械学習した時の作業対象物 4 周辺が暗い場合、カメラ 8 が取得するカメラ画像は図 9 中段の画像 1 m 2 のように少し暗い画像になる。

[0079] 本実施形態では、このような環境条件下であっても、ニューラルネットワークは機械学習したカメラ画像を再現するように推定するため、学習器 2 6 4 が出力する推定画像は、図 9 上段の画像 1 m 1 と同様に明るい画像になる。

[0080] ここで、図 9 上段に示すような画像 1 m 1 に相当する推定画像と図 9 中段に示すような実際のカメラ画像（画像 1 m 2）の差分を取ると、図 9 下段のような差分画像 1 m d になる。差分がない場合は全体（すべての画素）が黒の画像となる。しかし、現在の環境条件が、学習器 2 5 6 が機械学習した時の環境条件と異なると、図 9 下段に示すように、環境条件の差分が画像として現れる。環境条件一致度演算部 2 6 5 は、図 9 下段に示すような差分画像 1 m d における各画素の出力値（誤差量）の合計を、カメラ画像と推定画像の誤差として演算し出力する。差分画像 1 m d における各画素の出力値の合計が小さいほど、カメラ画像と推定画像の一致度が高い。

[0081] 図 8 に戻って説明を続ける。次いで、制御量調整部 2 6 6 は、ステップ S 2 3 で環境条件一致度演算部 2 6 5 が演算した誤差が所定値以下であるか否かを判定する（S 2 4）。そして、誤差が所定値以下である場合には（S 2 4 の Y E S）、制御量調整部 2 6 6 は、推定動作指令を生成時の環境条件が学習器 2 6 4 に適用される学習器重みデータ 2 6 2 を機械学習した時とほぼ同一であると判断して、処理をステップ S 3 0 に進める。一方、誤差が所定値を超える場合には（S 2 4 の N O）、制御量調整部 2 6 6 は、学習器 2 5 6 が機械学習した時と学習器 2 6 4 が推論する時とで環境条件が同一ではないとして、処理をステップ S 2 5 に進める。

[0082] 判定ステップ S 2 4 が N O 判定の場合、制御量調整部 2 6 6 は、ステップ

S 2 3で演算した誤差が、それ以前（例えば前回のサンプリングタイミング）に演算した誤差よりも拡大したか否かを判定する（S 2 5）。そして、誤差が拡大した場合には（S 2 5のYES）、制御量調整部2 6 6は、ステップS 2 2で設定した光束変更量を照明装置7に適用したこと（照明装置7を明るくする又は暗くする）によって、現在の環境条件が学習器重みデータ2 6 2を機械学習した時の環境条件から乖離したと判断し、処理をステップS 2 6に進める。一方、ステップS 2 2で設定した光束変更量で誤差が拡大しない場合には（S 2 5のNO）、制御量調整部2 6 6は、処理をステップS 2 9に進める。

[0083] 判定ステップS 2 5がYES判定の場合、制御量調整部2 6 6は、光束変更量が正か否か、すなわち照明光を明るくする方向又は暗くする方向に補正していたかを判定する（S 2 6）。そして、光束変更量が正である場合には（S 2 6のYES）、制御量調整部2 6 6は、光束変更量を負、すなわち予め定められた光束変更量だけ照明装置7の照明光を暗くするように設定する（S 2 7）。

[0084] 一方、光束変更量が負である場合には（S 2 6のNO）、制御量調整部2 6 6は、光束変更量を正、すなわち予め定められた光束変更量だけ照明装置7の照明光を明るくするように設定する（S 2 8）。ステップS 2 7又はS 2 8の処理後、制御量調整部2 6 6は、処理をステップS 2 9に進める。

[0085] 次いで、制御量調整部2 6 6は、ステップS 2 2，S 2 7又はS 2 8で設定した光束変更量の分だけ照明装置7の照明光の明るさが変化するように、通信インタフェース2 2を介してロボット制御装置5に光束変更指令を出力する（S 2 9）。ステップS 2 9の処理後、制御量調整部2 6 6は、処理をステップS 2 3に戻し、現在の環境条件と学習器2 5 6が機械学習した時の環境条件が一致するように照明装置7の明暗の調整を継続する。

[0086] 判定ステップS 2 4においてカメラ画像と推定画像との誤差が所定値以下の場合（S 2 4のYES）、現在の環境条件が学習器2 6 4に適用される学習器重みデータ2 6 2を機械学習した時とほぼ同一であると判断できる。そ

ここで、カメラ画像と推定画像との誤差が所定値以下の場合には、制御量調整部266は、ロボット装置1への動作指令として学習器264の推定動作指令が出力されるように切替信号を設定し、出力切替部268へ切替指示を出力して一連の処理を終了する(S30)。

[0087] 学習型制御装置2は、通信インタフェース22を介して調整後のロボット装置1の動作指令をロボット制御装置5へ出力する。ロボット制御装置5は、学習型制御装置2から受信した調整後のロボット装置1の動作指令に基づいて、ロボット装置1の制御指令を生成し、制御インタフェース53を介してロボット装置1へ出力する。ロボット装置1は、ロボット制御装置5から受信した、調整後の動作指令に基づいて生成された制御指令に従って動作する(動作工程)。

[0088] 上述したように、学習器264を構成するニューラルネットワークの各ニューロンの結合によって、カメラ画像、ロボット関節角度、推定画像、及び推定動作指令は相互に紐づいている。このため、学習器264が出力する推定画像がカメラ画像と一致している(誤差が所定値以下である)場合は、学習器264が出力する推定動作指令の内容は学習用データ252の動作指令と同様であると判断できる。一方で、学習器264の推定画像がカメラ画像と一致していない場合は、学習器264の推定動作指令の内容は学習用データ252の動作指令と同様ではないと判断できる。この場合、学習型制御装置2が、学習器256の学習時の環境条件と現在の環境条件が一致するように、照明装置7の照明光の明るさを変更することで、作業用ロボット6が正しく動作するようになる。

[0089] また、学習用データ252を取得した際のカメラ画像を記憶しておき、そのカメラ画像と現在のカメラ画像を比較する場合、瞬間的な外乱(ノイズ等)により偶然、両画像の誤差が小さくなることがある。しかし、上述したように学習器264が出力する推定画像は、瞬間的な外乱が除かれた作業対象物4の状態のみを反映した画像となるため、瞬間的な外乱の影響を受けない。そのため、現在のカメラ画像(環境条件)が学習器256の学習時の推定

画像（環境条件）と一致する場合、環境条件一致度演算部 265 は、より精度よく、推定動作指令の内容が学習用データ 252 の動作指令と同様であると判断できる。

[0090] ただし、上述した実施形態では、学習器 256 が学習時のカメラ 8 のカメラ画像に基づいて推定画像を出力する例を説明したが、学習時の環境を表す情報（特徴情報）は学習器 256 が出力する推定画像に限らない。例えば、学習時の環境を表す情報として、学習時にカメラ 8 で得られるカメラ画像又は後述する測距装置の測距データを用いてもよい。すなわち、環境条件一致度演算部 265 は、学習器 264（学習済みモデル）がロボット装置 1 の動作指令を学習した時の環境センサ（カメラ 8、測距装置）の出力と、環境センサの現在の出力とを比較し、学習時のロボット装置 1 の環境条件と、ロボット装置 1 の現在の環境条件との一致度を演算する構成としてもよい。例えば、学習時の環境を表す情報としてカメラ画像を使用する場合、複数のカメラ画像の各画素の情報に基づいて、複数のカメラ画像の中から複数のカメラ画像の平均に最も近いカメラ画像や、複数のカメラ画像の中央値に相当するカメラ画像を使用することができる。

[0091] このように構成した場合でも、学習型制御装置 2 は、現在の環境条件を学習時の環境条件と一致させるように動作指令の内容、及び／又は環境センサの設定を調整することが可能である。これにより、環境センサの出力に応じてロボット装置 1 の動作指令を生成するように機械学習した学習済みモデルの動作指令の推論精度が向上し、学習型制御装置 2 はロボット装置に適切な動作指令を出力することができる。

[0092] なお、図 8 のステップ S 22、S 27 又は S 28 で設定する光束変更量の大きさは固定値ではなく、例えばカメラ画像と推定画像の誤差の大きさに比例して光束変更量の大きさを設定するように構成してもよい。また、制御量調整部 266 は、照明装置 7 による照明光の明るさを物理的に変更する指令を出力することで、カメラ 8 の取得画像の明暗（明度）や色彩（彩度）を調整するが、他の方法でもよい。例えば、制御量調整部 266 は、カメラ 8 の

設定値をソフトウェアにより変更し、カメラ 8 の取得画像の画質（明暗や色彩）を調整するように構成してもよい。

[0093] また、制御量調整部 266 が出力する指令は、照明装置 7 の照明光の明暗の変更指令（変更量）だけでなく、照明装置 7 の位置を変更する照明装置移動機構 13 の移動量や、カメラ 8 の位置を変更するカメラ移動機構 14 の移動量であってもよい。この場合、制御量調整部 266 が、推定画像とカメラ画像との誤差の大きさの勾配を用いて、照明装置移動機構 13 又はカメラ移動機構 14 の移動方向と移動量を指令する構成としてもよい。

[0094] また、制御量調整部 266 がカメラ移動機構 14 に指令を出して、作業対象物 4 からカメラ 8 までの距離を物理的に変更する構成に限定されない。例えば、制御量調整部 266 は、カメラ 8 のズーム機能（ズームイン又はズームアウト）の設定、すなわち、光学系の焦点距離を変更することで、カメラ画像に写る作業対象物 4 の大きさを調整するようにしてもよい。あるいは、カメラ移動機構 14 によるカメラ 8 の移動量変更とカメラ 8 のズーム機能の設定変更を併用してもよい。

[0095] また、上述した要素（制御量）の変更量は、図 8 に示す方法で調整するだけでなく、変更量を学習及び演算するための学習器を学習器 264 とは別に用意してもよい。例えば、制御量調整部 266 が内部に学習器（図示略）を備え、学習器に学習用データ 252 と変更量との関係を学習させ、学習器の学習結果を用いて、光束補正量、照明装置移動機構 13 によるカメラ 8 の移動量、又はカメラ設定値を調整するように構成してもよい。また、制御量調整部 266 内部の学習器によって、カメラ移動機構 14 によるカメラ 8 の移動量やカメラ 8 の遠近設定（拡大／縮小）を調整するように構成してもよい。

[0096] また、図 8 のステップ S 23、S 24 に示したカメラ画像と推定画像との誤差の大きさの判定は、作業用ロボット 6 の動作前に実行する構成に限定されない。例えば、ステップ S 30 で出力切替部 268 の出力を学習器 264 側に切り替えた後、定期的にステップ S 23～S 29 の処理を行うように構

成し、作業用ロボット6の動作中も環境条件を変更するように構成してもよい。

[0097] なお、ロボット装置1の環境条件を計測する環境センサとしてカメラ8に限らず、光学や電波を利用した測距装置を用いてもよい。例えば、レーザーを利用するL I D A R (Light Detection and Ranging、Laser Imaging Detection and Ranging)を用いて、作業対象物4やその周囲の物体の形状(反射信号)を計測することで環境条件を測定するように構成してもよい。作業対象物4の周囲の物体の形状とは、例えば、作業対象物4を収納するトレイ、搬送ラインなどの形状である。環境センサに測距装置を用いる場合、学習器256、264は、測距装置が物体に投光して受信した反射信号(測距データ)に所定の外乱除去処理(ノイズ除去等)を行った推定測距データを、再現信号として出力する。測距データは、物体から得られる反射信号と当該反射信号が得られた位置とが対応づけられた点群データである。

[0098] また、本実施形態では、ロボット本体として作業用ロボット6を例に挙げたが、ロボット本体はサービスを提供する移動可能な自立型ロボットであってもよい。自立型ロボットは、環境センサを備える。また、自立型ロボットでは、周辺機器は自立型ロボット自身に取り付けられている。なお、環境センサは、自立型ロボットが移動する環境(建物)に設置されていてもよい。

[0099] 以上のとおり、第1の実施形態に係るロボット制御システム(ロボット制御システム100)は、ロボット装置(ロボット装置1)と、ロボット装置の環境条件を取得する環境センサ(カメラ8、測距装置)と、環境センサの出力に対応するロボット装置の動作指令を生成するための機械学習を行った学習済みモデル(学習器264)に環境センサの現在の出力を入力して、学習済みモデルから出力される環境センサの現在の出力に対応したロボット装置の動作指令を生成し、ロボット装置の動作を制御する制御装置(学習型制御装置2)と、を備えるロボット制御システムである。

上記制御装置は、環境センサの現在の出力に基づいて、学習済みモデルがロボット装置の動作指令を機械学習した時のロボット装置の環境条件と、ロ

ロボット装置の現在の環境条件との一致度を演算する環境条件一致度演算部（環境条件一致度演算部 265）と、環境条件一致度演算部の演算結果に基づいて、ロボット装置の動作指令の内容、及び／又は環境センサの設定を調整する調整部（制御量調整部 266）と、を備えて構成される。

[0100] 上記のように構成された第 1 の実施形態に係るロボット制御システムでは、制御装置の調整部が、ロボット装置の動作指令を生成する学習済みモデルが機械学習した時の環境条件と、現在の環境条件とを比較して、双方の環境条件の一致度（差分）を演算する。そして、制御装置の調整部は、一致度の演算結果に基づいて、現在の環境条件と学習時の環境条件の誤差が所定値以下となるようにロボット装置の動作指令の内容、及び／又は環境センサの設定を調整する。これにより、現在の環境センサの出力に応じてロボット装置の動作指令を生成するように機械学習した学習済みモデルの推論精度を向上させ、ロボット装置に適切な動作指令を出力することができる。それゆえ、学習済みモデルを用いたロボット装置の現在の環境条件が、学習時の環境条件と異なっていることを検知した場合に、ロボット装置が適切に作業を実行することができる。

[0101] また、上記の構成により、同一の作業内容（例えば、あるトレイにバラ積みされた作業対象物 4 を把持する作業）で環境条件が異なる作業場面における学習モデル（学習器 256）の機械学習が不要となり、少ない作業場面による機械学習でロボット装置を制御できるようになる。このため、学習モデルの機械学習に要する手間を削減することができる。

[0102] さらに、本実施形態に係るロボット制御システム（ロボット制御システム 100）において、学習済みモデル（学習器 264）は、環境センサ（カメラ 8、測距装置）の出力に対応するロボット装置の動作指令に加えて、環境センサの出力の再現信号（推定画像、推定測距データ）を生成するように機械学習を行った学習済みモデルであって、環境センサの現在の出力が入力されると、環境センサの現在の出力に対応したロボット装置（ロボット装置 1）の動作指令と、学習時の環境センサの出力の再現信号と、を生成するよう

に構成される。

そして、環境条件一致度演算部（環境条件一致度演算部 265）は、学習済みモデルが出力する学習時の環境センサの出力の再現信号と、環境センサの現在の出力との差分を、環境条件の一致度として演算する。

また、調整部（制御量調整部 266）は、学習済みモデルが出力する学習時の環境センサの出力の再現信号と、環境センサの現在の出力との差分が予め定められた所定値以下になるように、ロボット装置の動作指令の内容、及び／又は環境センサの設定を調整する。

[0103] 上記のように構成されたロボット制御システムでは、学習済みモデルは、環境センサの出力に対応するロボット装置の動作指令に加えて、環境センサの出力の再現信号を生成するよう学習している。再現信号は、瞬間的な外乱が除去された信号であるため、学習済みモデルは、環境センサの出力に基づいて、瞬間的な外乱が除かれた作業対象物の状態のみを反映した情報を出力する。それゆえ、環境条件一致度演算部は、より精度よく、学習時のロボット装置の環境条件とロボット装置の現在の環境条件との一致度を演算することができる。

[0104] また、本実施形態に係るロボット制御システム（ロボット制御システム 100）では、ロボット装置（ロボット装置 1）は、ロボット本体（作業用ロボット 6）と、当該ロボット本体又はその周辺に配置された周辺機器とを有し、周辺機器は、ロボット装置内部又は当該ロボット装置周辺の照度を変更する機器（照明装置 7）であり、環境センサ（カメラ 8）は、ロボット装置が扱う作業対象物を含む光学像の画像信号を得る機能と、当該画像信号に基づく撮影画像（カメラ画像）の明度若しくは彩度、又は撮影画像に写る作業対象物の大きさを変更（画質変更、光学系の焦点距離変更）する機能とを有するように構成される。

そして、環境条件一致度演算部（環境条件一致度演算部 265）は、学習時の環境センサの出力の再現信号として学習済みモデル（学習器 264）が学習時の複数の画像信号から推定した推定画像と、環境センサの現在の出力

としての撮影画像（カメラ画像）とを比較し、推定画像と撮影画像との明度、彩度、又は撮影画像に写る作業対象物の大きさの差分を演算する。

また、調整部（制御量調整部 266）は、推定画像と撮影画像との明度、彩度、又は撮影画像に写る作業対象物の大きさの差分が所定値以下となるように、周辺機器に対する動作指令の内容、及び／又は環境センサの設定を調整する。

[0105] 上記のように構成されたロボット制御システムによれば、学習済みモデルで生成された学習時の推定画像と、環境センサの現在の撮影画像との明度、彩度、又は撮影画像に写る作業対象物の大きさの差分が所定値以下となるように、周辺機器に対する動作指令の内容、及び／又は環境センサの設定が調整される。したがって、作業時における環境センサの撮影画像の明度、彩度、又は撮影画像に写る作業対象物の大きさが、学習時の内容と一致する方向に変更される。このため、学習済みモデルの動作指令の推論精度が向上し、制御装置（学習型制御装置 2）は周辺機器に対して適切な動作指令を出力、及び／又は環境センサを適切に設定することができる。

[0106] また、本実施形態に係るロボット制御システム（ロボット制御システム 100）では、ロボット装置（ロボット装置 1）は、ロボット本体（作業用ロボット 6）と、当該ロボット本体又はその周辺に配置された周辺機器とを有し、周辺機器は、ロボット装置内部又は当該ロボット装置周辺の照度を変更する機器（照明装置 7）の位置を変更する第 1 の移動機構（照明装置移動機構 13）、又は、環境センサ（カメラ 8）の位置を変更する第 2 の移動機構（カメラ移動機構 14）であり、環境センサ（カメラ 8）は、ロボット装置が扱う作業対象物を含む光学像の画像信号を得る機能を有するように構成される。

そして、環境条件一致度演算部（環境条件一致度演算部 265）は、学習時の環境センサの出力の再現信号として学習済みモデル（学習器 264）が学習時の複数の画像信号（学習用データ 252）から推定した推定画像と、環境センサの現在の出力として画像信号に基づく撮影画像（カメラ画像）と

を比較し、推定画像と撮影画像との明度若しくは彩度の差分、又は作業対象物とロボット装置との位置関係の差分を演算する。

また、調整部（制御量調整部 266）は、推定画像と撮影画像との明度若しくは彩度の差分、又は作業対象物とロボット装置との位置関係の差分が所定値以下となるように、周辺機器に対する動作指令の内容を調整する。

[0107] 上記構成のロボット制御システムによれば、学習済みモデルで生成された学習時の推定画像と、環境センサの現在の撮影画像との明度若しくは彩度の差分、又は作業対象物とロボット装置との位置関係の差分が所定値以下となるように、周辺機器に対する動作指令の内容が調整される。したがって、作業時における環境センサの撮影画像の明度若しくは彩度、又は作業対象物とロボット装置との位置関係が、学習時の内容と一致する方向に変更される。このため、学習済みモデルの動作指令の推論精度が向上し、制御装置（学習型制御装置 2）は周辺機器に対して適切な動作指令を出力することができる。

[0108] <第 2 の実施形態>

本発明の第 2 の実施形態として、現在の環境条件と学習時の環境条件の一致度に応じて、ロボット制御システムが制御内容を調整する方法について、図 10 及び図 11 を用いて説明する。

[0109] 図 3 に示したような工程では、現場の制約により搬送ラインの配置が変更されることがある。例えば、搬入ライン 31 と搬出トレイライン 33 の配置が図 3 と入れ替わっている場合（搬入ライン 31 が作業用ロボット 6 の前方、搬出トレイライン 33 が作業用ロボット 6 の左方にある場合）を考える。このとき、作業用ロボット 6 は、搬入ライン 31 上の搬入トレイ 32 にバラ積みされた作業対象物 4 を作業用ロボット 6 の前方で把持する。そして、作業用ロボット 6 は、作業用ロボット 6 の左方に搬出される搬出トレイ 35 に作業対象物 4 を整列して配置し、搬出トレイ 35 を作業用ロボット 6 の左方から作業用ロボット 6 の右方にある搬出ライン 34 に運搬する。

[0110] このような工程に対応できるように、図 4 ～図 6 で示した動作指令の機械

学習において、作業用ロボット 6 の左方で作業対象物 4 を把持する動作と、作業用ロボット 6 の前方で作業対象物 4 を把持する動作で、別々に学習用データ 2 5 2 を取得し、それぞれで学習器 2 5 6 の重みを機械学習する。このように機械学習する理由は、動作が大きく異なる作業を 1 つの学習器 2 5 6 に機械学習させると、ニューラルネットワークの構成が高次（ニューロン数や中間層の層数が多数）になるからである。ニューラルネットワークの構成が高次になるほどロバスト性がなくなり、学習器 2 5 6 が適切な動作指令を出力できなくなる可能性がある。

[0111] ニューラルネットワークは、その構成が高次になると過学習（教師データのみ適合）しやすいと言われている。また、作業の動作が大きく異なる場合、すべての動作に対して平均的な動作指令を出力することも懸念される。そのため、それぞれの動作毎に学習器 2 5 6 を機械学習し、得られた複数の学習器重みデータ 2 6 2 を現在の環境条件に応じて適切に切り替えられることが望ましい。

[0112] [学習器の切替方法]

次に、第 2 の実施形態に係るロボット制御システム 1 0 0 において、学習型制御装置 2 が機械学習した複数の学習器から一つの学習器を選択して切り替える方法について図 1 0 及び図 1 1 を用いて説明する。

[0113] 図 1 0 は、学習型制御装置 2 が実行する学習器演算プログラムのソフトウェア構成の例を示す模式図である。

図 1 1 は、機械学習した複数の学習器から学習器演算プログラムが一つの学習器を選択する方法の手順例を示すフローチャートである。

[0114] 図 1 0 に示す学習器演算プログラム 2 6 1 A は、図 7 の学習器演算プログラム 2 6 1 と比べて、複数の学習器が用意された演算処理部 2 6 3 A を備える点で異なる。図 1 0 では、異なる複数の学習器が示されている。以下では、2 つの学習器について、それぞれに適用された学習器重みデータごとに符号を変えて記載している。

[0115] 演算処理部 2 6 3 A は、学習器重みデータ 2 6 2 a を学習器 2 6 4 a に適

用し、学習器重みデータ 262b を学習器 264b に適用する。それぞれの学習器 264a, 264b は、通信インタフェース 22 を介して複数のカメラ画像とロボット関節角度を入力すると、複数のカメラ画像を再現した推定画像と、作業用ロボット 6 の推定動作指令とを出力するように構成されている。学習器 264a, 264b については、学習器 264 と同様にニューラルネットワークを用いて構成することができる

[0116] ここで、図 11 を参照して機械学習した複数の学習器 264a, 264b から学習器演算プログラム 261A が一つの学習器を選択する方法の手順例について説明する。図 11 において、はじめに制御量調整部 266 は、作業用ロボット 6 への動作指令が停止指令出力部 267 の出力となるように、出力切替部 268 に切替指示を出力する (S41)。

[0117] 次に、環境条件一致度演算部 265 は、各学習器 264a, 264b が出力する推定画像とカメラ画像の誤差をそれぞれ演算する (S42)。例えば、先述したように作業用ロボット 6 の左方でバラ積みされた作業対象物 4 を把持する動作についての学習結果を適用した学習器が学習器 264a、作業用ロボット 6 の前方でバラ積みされた作業対象物 4 を把持する動作についての学習結果を適用した学習器が学習器 264b とする。

[0118] この場合、図 3 に示した環境では、学習器 264a が出力する推定画像とカメラ 8a のカメラ画像の誤差は小さくなるが、学習器 264b が出力する推定画像とカメラ 8a のカメラ画像の誤差は大きくなる。他方で、図 3 における搬入ライン 31 と搬出トレイライン 33 の配置が入れ替わっている環境では、学習器 264a が出力する推定画像とカメラ 8b のカメラ画像の誤差は大きくなるが、学習器 264b が出力する推定画像とカメラ 8b のカメラ画像の誤差は小さくなる。

[0119] 制御量調整部 266 は、作業用ロボット 6 への動作指令がステップ S42 で演算した各学習器 264a, 264b におけるカメラ画像と推定画像の誤差が最も小さい学習器の出力となるように設定し、出力切替部 268 に切替指示を出力して一連の処理を終了する (S43)。例えば、図 3 に示した環

境では、制御量調整部 266 は、出力切替部 268 の出力が学習器 264 a の出力となるように、出力切替部 268 のスイッチを切り替える。また、図 3 における搬入ライン 31 と搬出トレイライン 33 の配置が入れ替わっている環境では、制御量調整部 266 は、出力切替部 268 の出力が学習器 264 b の出力となるように、出力切替部 268 のスイッチを切り替える。

[0120] なお、学習用データ 252 の収集、及び学習器 264 に適用させる学習器重みデータ 262 の機械学習は、作業対象物 4 の位置や姿勢の違い以外の環境条件に基づいて別々に実施させるように構成してもよい。例えば、照明装置 7 の照明光の明るさを調整し、明るい環境と暗い環境の双方で学習用データ 252 を収集し、機械学習して得られた 2 つの学習器重みデータ 262 を用いるように構成してもよい。また、作業対象物 4 の種類（色、形状等）の違い毎に学習用データ 252 を収集し、作業対象物 4 の種類に応じて機械学習して得られた学習器重みデータ 262 を用いるように構成してもよい。

[0121] また、制御量調整部 266 の調整内容は、学習器 264 a, 264 b の切替えに限定されるものではない。例えば、学習器 264 a, 264 b の切替えと併せて、図 7 に図示したように照明装置 7 の照明光の明るさを変更するように調整してもよい。このように、作業用ロボット 6 の周辺機器への動作指令を調整しつつ、環境条件が最も一致する学習器を選択するように構成してもよい。

[0122] このように、ロボット制御システム 100 は、複数の環境条件において機械学習した複数の学習器を有し、各学習器が機械学習した時の環境条件と現在の環境条件とを比較し、複数の学習器の中から最も環境条件が一致している学習器を選択するように制御する。これにより、現在の環境に最も適したロボット装置 1 の動作指令、及び／又は環境センサの設定を出力することができ、ロボット装置 1 に適切な動作を実行させることができる。

[0123] 以上のとおり、第 2 の実施形態に係るロボット制御システム（ロボット制御システム 100）では、制御装置（学習型制御装置 2）は、異なる環境条件ごとに環境センサ（カメラ 8、測距装置）の出力に対応するロボット装置

（ロボット装置１）の動作指令を生成するための機械学習を行った複数の学習済みモデル（学習器２６４ａ～２６４ｂ）を備えるように構成される。

そして、環境条件一致度演算部（環境条件一致度演算部２６５）は、学習時の環境センサの出力に基づく複数の学習済みモデルの出力と、環境センサの現在の出力とを比較し、複数の学習済みモデルが機械学習を行った時のロボット装置の環境条件と、ロボット装置の現在の環境条件との一致度を演算する。

また、調整部（制御量調整部２６６）は、環境条件一致度演算部の演算結果に基づいて、複数の学習済みモデルの中から、環境条件の一致度が最も高い学習済みモデルから出力される動作指令がロボット装置へ送信されるように制御する。

[0124] 上記のように構成された第２の実施形態に係るロボット制御システムによれば、複数の学習済みモデルの中から現在の環境条件にもっとも近い学習済みモデルで生成される動作指令を用いて、ロボット装置の動作を制御することができる。したがって、ロボット制御システムは、現在の環境条件にもっとも近い学習済みモデルを用いて、ロボット装置に対して適切に動作を実行させることができる。このため、ロボット装置の作業精度が向上する。

[0125] ＜第３の実施形態＞

本発明の第３の実施形態として、過去に機械学習した複数の学習器に対して、新たに取得する学習用データの環境条件を自動で分類する方法について、図１２を参照して説明する。

[0126] 図１２は、第３の実施形態に係るロボット制御システムにおいて、学習型制御装置が実行する学習プログラム及び学習器演算プログラムのソフトウェア構成の例を示す模式図である。図１２に示す学習型制御装置２Ｂは、環境条件ラベル付加部２５８が追加された学習プログラム２５１Ｂと、学習器演算プログラム２６１Ｂを備える。学習型制御装置２Ｂのその他の構成は、学習型制御装置２と同様の構成を採用できる。

[0127] 図１２に示すように、学習器演算プログラム２６１Ｂでは、学習器２６４

a～264cに適用される各学習器重みデータ262a～262cのそれぞれには、予め固有情報（ラベル）が付加されている。例えば、固有情報は、ロボット装置1の固有番号や環境条件を表す情報が記録されたメタデータ等である。図12では、固有情報を「環境（1）」～「環境（3）」と示す。学習器重みデータ262a～262c、及び学習器264a～264cについてそれぞれを区別しない場合には、学習器重みデータ262、及び学習器264と記載する。学習器演算プログラム261Bの制御量調整部266、停止指令出力部267、及び出力切替部268については、詳細な説明の記載を省略する。

[0128] そして、学習プログラム251Bが学習用データ252を収集する際に、並行して学習器演算プログラム261Bが実行される。学習器演算プログラム261Bは、固有情報が付加されている学習器重みデータ262a～262cを適用した学習器264a～264cの各々を演算し、各学習器264a～264cで再現される複数の推定画像を環境条件一致度演算部265に出力する。

[0129] 環境条件一致度演算部265は、各学習器264a～264cが機械学習した時における環境条件と、データ収集部253Bが収集している学習用データ252の環境条件との一致度を演算し、最も環境条件が一致している学習器重みデータ262を特定する。そして、環境条件一致度演算部265は、特定した学習器重みデータ262の固有情報をデータ収集部253の環境条件ラベル付加部258に出力する。例えば、図12に示すように、環境条件一致度演算部265は、「環境（1）」～「環境（3）」の固有情報を付加された3つの学習器重みデータ262a～262cそれぞれの推定画像と現在のカメラ画像とを比較する。そして、環境条件一致度演算部265は、最も環境条件が一致していた推定画像に対応する学習器重みデータが学習器重みデータ262aであると判断した場合には、学習器重みデータ262aの固有情報「環境（1）」を出力する。

[0130] 学習プログラム251Bの環境条件ラベル付加部258は、収集した学習

用データ 252 を記憶装置 24 に記録する際に、環境条件一致度演算部 265 が出力した固有情報（ラベル）を学習用データ 252 に付加する。

[0131] 学習処理部 255 は、新たに記録された学習用データ 252の中から同一の固有情報を有する複数の学習用データ 252 Bを用いて、再度、学習器 256（図 4）の学習を行い、その固有情報に対応する学習器重みデータ 262 を更新する。例えば、図 12 に示したように、「環境（1）」の固有情報が付加された複数の学習用データ 252 Bを用いて、再度学習器 256 を機械学習させ、得られた学習器 256 の重みを「環境（1）」の固有情報が付加された学習器重みデータ 262 a に適用する。

[0132] このようにすることで、過去に機械学習した複数の学習器 264 に対して、新たに取得する学習用データ 252 の環境条件を自動で分類できるようになり、環境条件の分類に要する手間を削減できる。

[0133] また、追加した学習用データ 252 で再度学習器 256 を機械学習して学習器重みデータ 262 を更新させることで、学習器 264 の推論精度が向上し、さらにロボット装置 1 を適切に動作させることができる。なお、このように得られた学習用データ 252 や学習器重みデータ 262 を、ネットワーク 3 を介して、他の現場における学習型制御装置と共有するように構成してもよい。

[0134] 初期には、ユーザーが入力装置 23 により、学習器 256 により機械学習した時のロボット装置 1 の固有情報を、学習器重みデータ 262 に紐づけて記憶装置 24 に記録する。あるいは、ロボット装置 1 の固有情報を学習型制御装置 2 B に予め登録しておき、学習処理部 255 が学習器 256 により機械学習した時に作成した学習器重みデータ 262 と固有情報を紐づけて記憶装置 24 に記録してもよい。ある程度の分量の学習器重みデータ 262 が作成されたら本実施形態の固有情報を用いた方法により学習用データの分類を自動化することで、効率よく学習器重みデータ 262 を更新することができる。

[0135] さらに、本発明は上述した各実施形態に限られるものではなく、請求の範

図に記載した本発明の要旨を逸脱しない限りにおいて、その他種々の応用例、変形例を取り得ることは勿論である。

[0136] 例えば、上述した各実施形態は本発明を分かりやすく説明するためにロボット制御システムの構成を詳細かつ具体的に説明したものであり、必ずしも説明したすべての構成要素を備えるものに限定されない。また、ある実施形態の構成の一部を他の実施形態の構成要素に置き換えることが可能である。また、ある実施形態の構成に他の実施形態の構成要素を加えることも可能である。また、各実施形態の構成の一部について、他の構成要素の追加又は置換、削除をすることも可能である。

[0137] また、上記の各構成、機能、処理部等は、それらの一部又は全部を、例えば集積回路で設計するなどによりハードウェアで実現してもよい。ハードウェアとして、FPGA (Field Programmable Gate Array) やASIC (Application Specific Integrated Circuit) などを用いてもよい。

符号の説明

[0138] 1…ロボット装置、 2, 2B…学習型制御装置、 4…作業対象物、 5…ロボット制御装置、 6…作業用ロボット (ロボット本体)、 7, 7a, 7b…照明装置 (周辺機器)、 8, 8a, 8b…カメラ (周辺機器、環境センサ)、 10…ロボットアーム、 11…角度計、 12…エンドエフェクタ、 13…照明装置移動機構 (周辺機器)、 14…カメラ移動機構 (周辺機器)、 21…制御装置、 51…制御装置、 100…ロボット制御システム、 251, 251B…学習プログラム、 252, 252B…学習用データ、 253, 253B…データ収集部、 254…収集期間判定部、 255…学習処理部、 256…学習器、 257…重み更新量演算部、 258…環境条件ラベル付加部、 261, 261A, 261B…学習器演算プログラム、 262, 262a~262b…学習器重みデータ、 263, 263A…演算処理部、 264, 264a~264b…学習器、 265…環境条件一致度演算部、 266…制御量調整部、 267…停止指令出力部、 268…出力切替部、 521…制御プログラ

△

請求の範囲

[請求項1]

ロボット装置と、
前記ロボット装置の環境条件を取得する環境センサと、
前記環境センサの出力に対応する前記ロボット装置の動作指令を生成するための機械学習を行った学習済みモデルに前記環境センサの現在の出力を入力して、前記学習済みモデルから出力される前記環境センサの現在の出力に対応した前記ロボット装置の動作指令を生成し、
前記ロボット装置の動作を制御する制御装置と、
を備えるロボット制御システムであって、
前記制御装置は、
前記環境センサの現在の出力に基づいて、前記学習済みモデルが前記ロボット装置の動作指令を機械学習した時の前記ロボット装置の環境条件と、前記ロボット装置の現在の環境条件との一致度を演算する環境条件一致度演算部と、
前記環境条件一致度演算部の演算結果に基づいて、前記ロボット装置の動作指令の内容、及び／又は前記環境センサの設定を調整する調整部と、を備える
ロボット制御システム。

[請求項2]

前記学習済みモデルは、前記環境センサの出力に対応する前記ロボット装置の動作指令に加えて、前記環境センサの出力の再現信号を生成するように機械学習を行った学習済みモデルであって、前記環境センサの現在の出力が入力されると、前記環境センサの現在の出力に対応した前記ロボット装置の動作指令と、学習時の前記環境センサの出力の前記再現信号と、を生成し、
前記環境条件一致度演算部は、前記学習済みモデルが出力する学習時の前記環境センサの出力の前記再現信号と、前記環境センサの現在の出力との差分を、前記環境条件の一致度として演算し、
前記調整部は、前記学習済みモデルが出力する学習時の前記環境セ

ンサの出力の前記再現信号と、前記環境センサの現在の出力との差分が予め定められた所定値以下になるように、前記ロボット装置の動作指令の内容、及び／又は前記環境センサの設定を調整する

請求項 1 に記載のロボット制御システム。

[請求項3]

前記ロボット装置は、ロボット本体と、前記ロボット本体又はその周辺に配置された周辺機器と、を有し、

前記周辺機器は、前記ロボット装置内部又は当該ロボット装置周辺の照度を変更する機器であり、

前記環境センサは、前記ロボット装置が扱う作業対象物を含む光学像の画像信号を得る機能と、前記画像信号に基づく撮影画像の明度若しくは彩度、又は前記撮影画像に写る前記作業対象物の大きさを変更する機能と、を有し、

前記環境条件一致度演算部は、学習時の前記環境センサの出力の前記再現信号として前記学習済みモデルが学習時の複数の前記画像信号から推定した推定画像と、前記環境センサの現在の出力としての前記撮影画像とを比較し、前記推定画像と前記撮影画像との明度、彩度、又は前記撮影画像に写る前記作業対象物の大きさの差分を演算し、

前記調整部は、前記推定画像と前記撮影画像との明度、彩度、又は前記撮影画像に写る前記作業対象物の大きさの差分が所定値以下となるように、前記周辺機器に対する動作指令の内容、及び／又は前記環境センサの設定を調整する

請求項 2 に記載のロボット制御システム。

[請求項4]

前記ロボット装置は、ロボット本体と、前記ロボット本体又はその周辺に配置された周辺機器と、を有し、

前記周辺機器は、前記ロボット装置内部又は当該ロボット装置周辺の照度を変更する機器の位置を変更する第 1 の移動機構、又は、前記環境センサの位置を変更する第 2 の移動機構であり、

前記環境センサは、前記ロボット装置が扱う作業対象物を含む光学

像の画像信号を得る機能を有し、

前記環境条件一致度演算部は、学習時の前記環境センサの出力の前記再現信号として前記学習済みモデルが学習時の複数の前記画像信号から推定した推定画像と、前記環境センサの現在の出力として前記画像信号に基づく撮影画像とを比較し、前記推定画像と前記撮影画像との明度若しくは彩度の差分、又は前記作業対象物と前記ロボット装置との位置関係の差分を演算し、

前記調整部は、前記推定画像と前記撮影画像との明度若しくは彩度の差分、又は前記作業対象物と前記ロボット装置との位置関係の差分が所定値以下となるように、前記周辺機器に対する動作指令の内容を調整する

請求項 2 に記載のロボット制御システム。

[請求項5]

前記制御装置は、

異なる環境条件ごとに前記環境センサの出力に対応する前記ロボット装置の動作指令を生成するための機械学習を行った複数の前記学習済みモデルを備え、

前記環境条件一致度演算部は、学習時の前記環境センサの出力に基づく複数の前記学習済みモデルの出力と、前記環境センサの現在の出力とを比較し、複数の前記学習済みモデルが機械学習を行った時の前記ロボット装置の環境条件と、前記ロボット装置の現在の環境条件との一致度を演算し、

前記調整部は、前記環境条件一致度演算部の演算結果に基づいて、複数の前記学習済みモデルの中から、前記環境条件の一致度が最も高い学習済みモデルから出力される動作指令が前記ロボット装置へ送信されるように制御する

請求項 1 に記載のロボット制御システム。

[請求項6]

前記環境条件一致度演算部は、

前記学習済みモデルが前記ロボット装置の動作指令を機械学習した

時の前記環境センサの出力と、前記環境センサの現在の出力とを比較し、学習時の前記ロボット装置の環境条件と、前記ロボット装置の現在の環境条件との一致度を演算する

請求項 1 に記載のロボット制御システム。

[請求項7]

ロボット装置の環境条件を取得する環境センサの出力に対応する、前記ロボット装置の動作指令を生成するための機械学習を行った学習済みモデルに前記環境センサの現在の出力を入力して、当該学習済みモデルから出力される前記環境センサの現在の出力に対応した前記ロボット装置の動作指令を生成し、前記ロボット装置の動作を制御する制御装置、を備えるロボット制御システムであって、

前記制御装置は、

前記環境センサの現在の出力に基づいて、前記学習済みモデルが前記ロボット装置の動作指令を機械学習した時の前記ロボット装置の環境条件と、前記ロボット装置の現在の環境条件との一致度を演算する環境条件一致度演算部と、

前記環境条件一致度演算部の演算結果に基づいて、前記ロボット装置の動作指令の内容、及び／又は前記環境センサの設定を調整する調整部と、を備える

ロボット制御システム。

[請求項8]

ロボット装置と、

前記ロボット装置の環境条件を取得する環境センサと、

前記環境センサの出力に対応する前記ロボット装置の動作指令を生成するための機械学習を行った学習済みモデルに前記環境センサの現在の出力を入力して、当該学習済みモデルから出力される前記環境センサの現在の出力に対応した前記ロボット装置の動作指令を生成し、前記ロボット装置の動作を制御する制御装置と、

を備えるロボット制御システムのロボット制御方法であって、

前記制御装置が、前記環境センサの現在の出力に基づいて、前記学

習済みモデルが前記ロボット装置の動作指令を機械学習した時の前記ロボット装置の環境条件と、前記ロボット装置の現在の環境条件との一致度を演算する演算工程と、

前記制御装置が、前記環境条件の一致度の演算結果に基づいて、前記ロボット装置の動作指令の内容、及び／又は前記環境センサの設定を調整する調整工程と、

前記ロボット装置が、前記調整工程で調整された前記ロボット装置の動作指令、及び／又は前記環境センサの設定に基づいて、動作する動作工程と、を含む

ロボット制御方法。

[請求項9]

ロボット装置の環境条件を取得する環境センサの出力に対応する、前記ロボット装置の動作指令を生成するための機械学習を行った学習済みモデルに前記環境センサの現在の出力を入力して、当該学習済みモデルから出力される前記環境センサの現在の出力に対応した前記ロボット装置の動作指令を生成し、前記ロボット装置の動作を制御する制御装置、を備えるロボット制御システムのロボット制御方法であって、

前記制御装置が、前記環境センサの現在の出力に基づいて、前記学習済みモデルが前記ロボット装置の動作指令を機械学習した時の前記ロボット装置の環境条件と、前記ロボット装置の現在の環境条件との一致度を演算する演算工程と、

前記制御装置が、前記環境条件の一致度の演算結果に基づいて、前記ロボット装置の動作指令の内容、及び／又は前記環境センサの設定を調整する調整工程と、を含む

ロボット制御方法。

[請求項10]

ロボット装置の環境条件を取得する環境センサの出力に対応する、前記ロボット装置の動作指令を生成するための機械学習を行った学習済みモデルに前記環境センサの現在の出力を入力して、当該学習済み

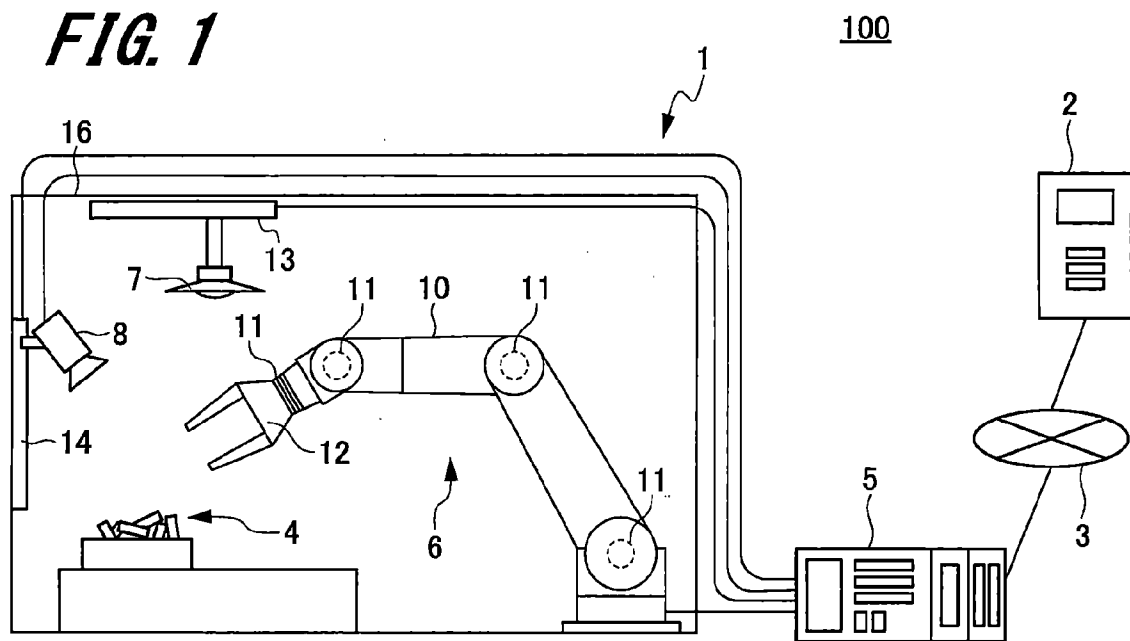
モデルから出力される前記環境センサの現在の出力に対応した前記ロボット装置の動作指令を生成し、前記ロボット装置の動作を制御する制御装置が備えるコンピュータに、

前記環境センサの現在の出力に基づいて、前記学習済みモデルが前記ロボット装置の動作指令を機械学習した時の前記ロボット装置の環境条件と、前記ロボット装置の現在の環境条件との一致度を演算する手順と、

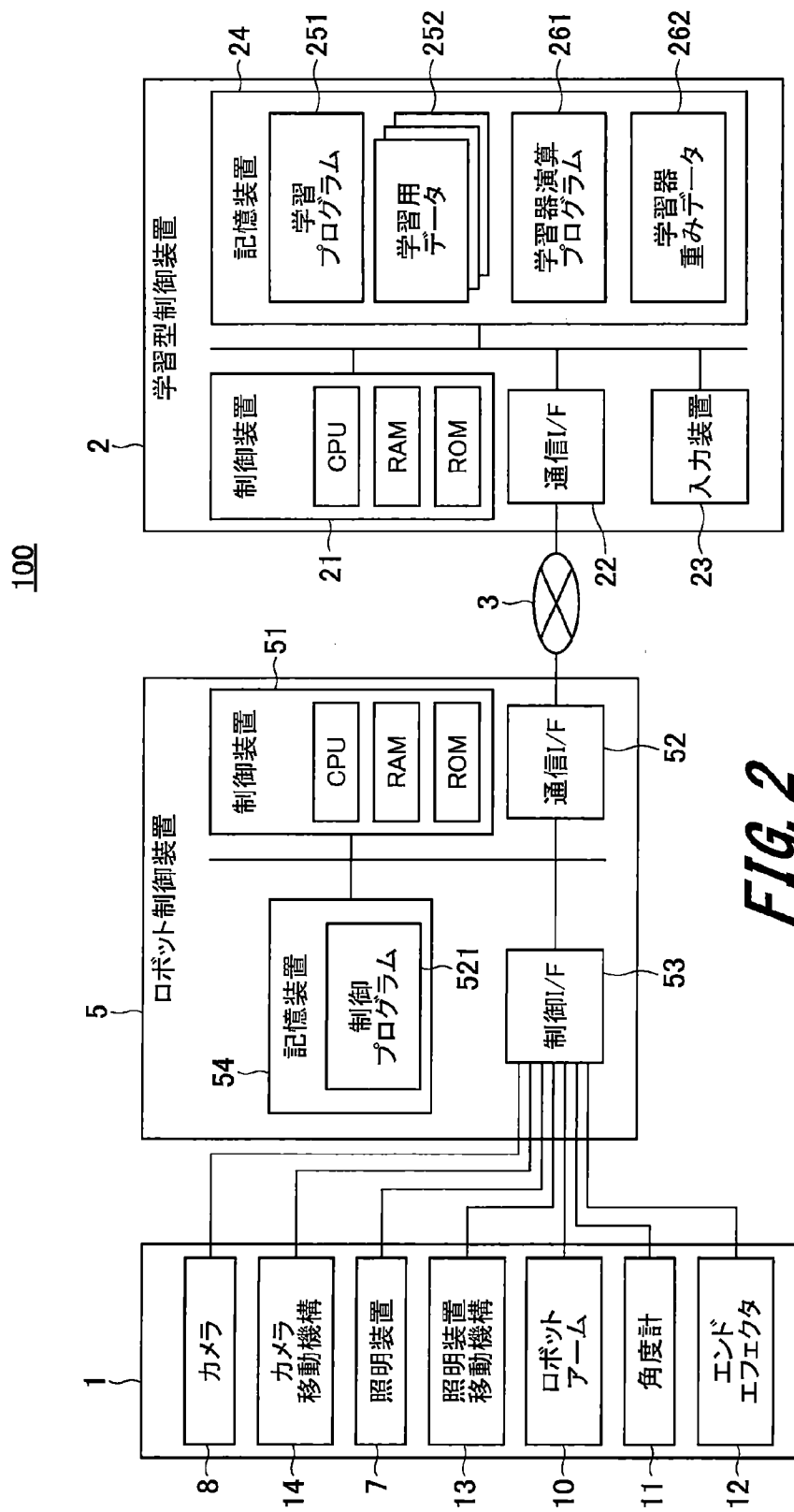
前記環境条件の一致度の演算結果に基づいて、前記ロボット装置の動作指令の内容、及び／又は前記環境センサの設定を調整する手順と、

を実行させるためのプログラム。

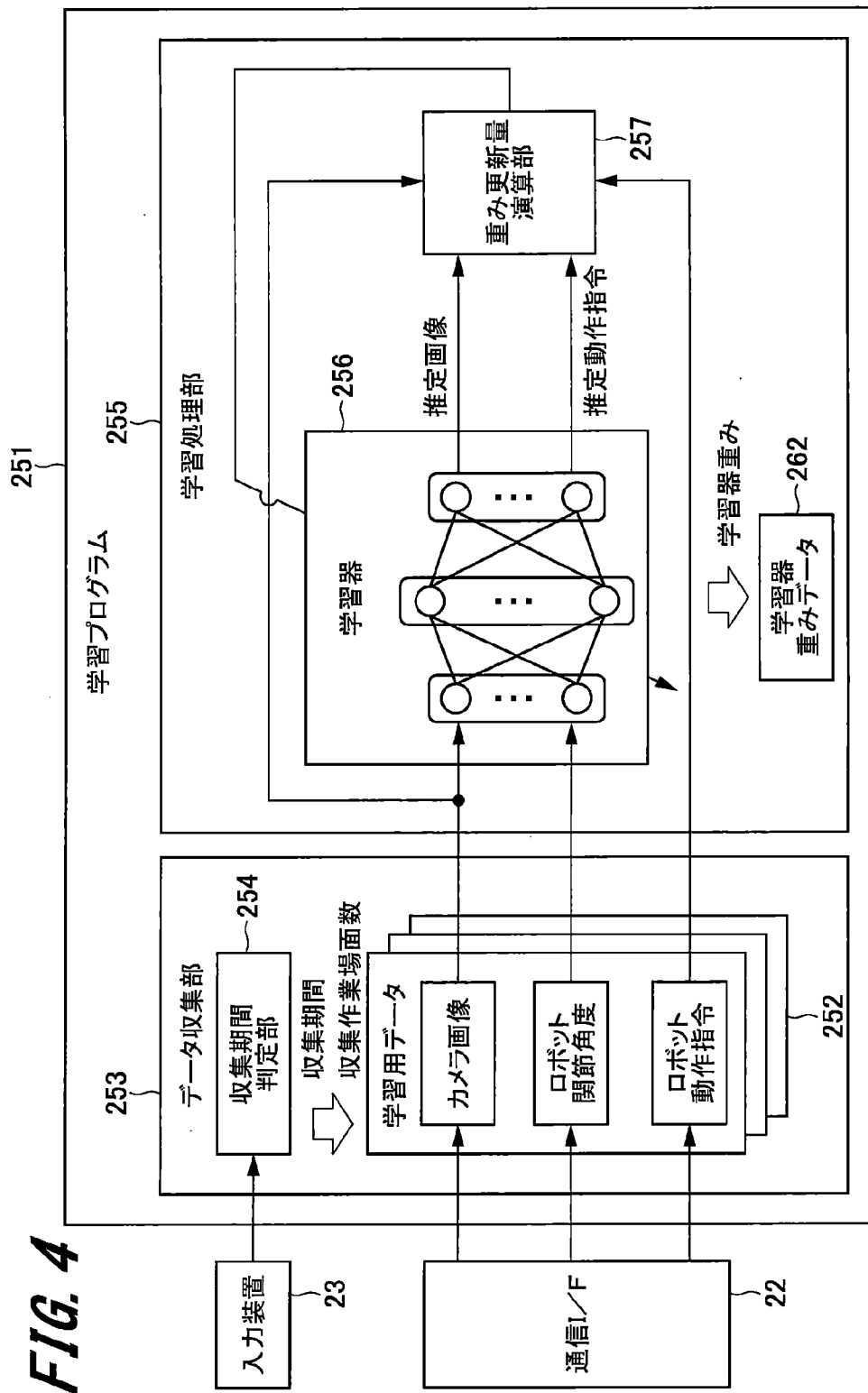
[図1]



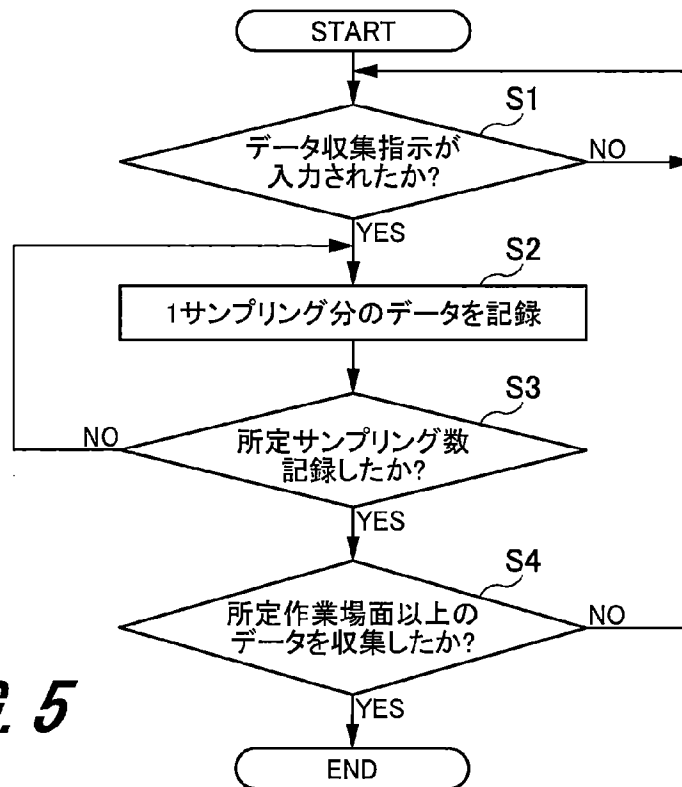
[図2]



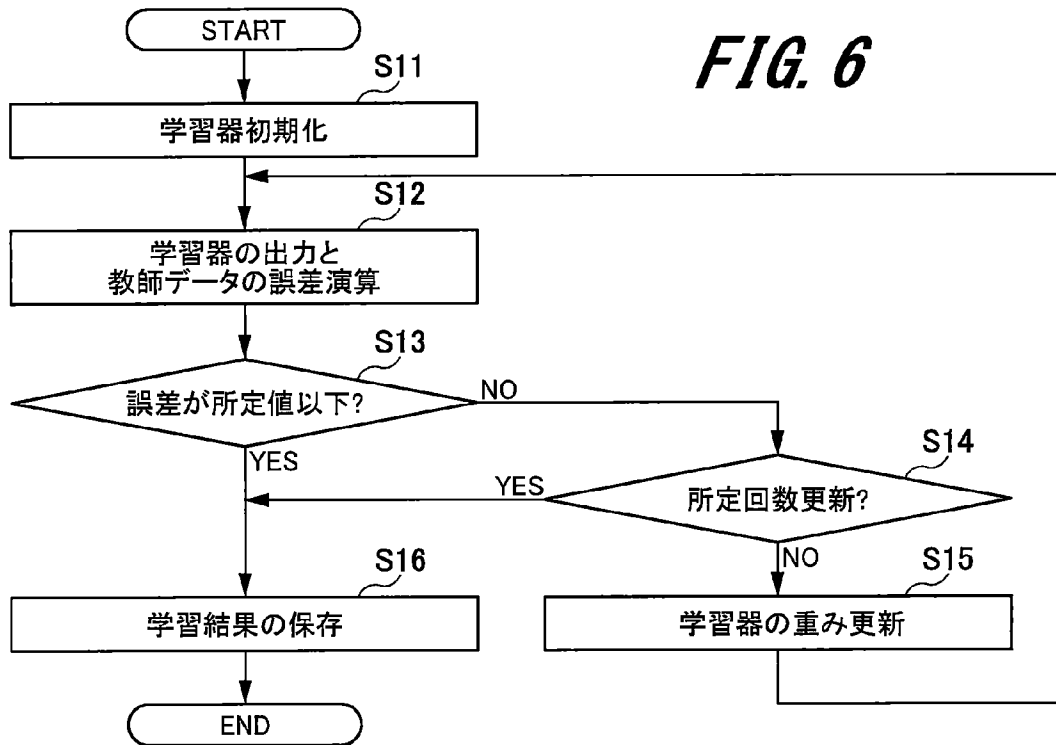
[図4]



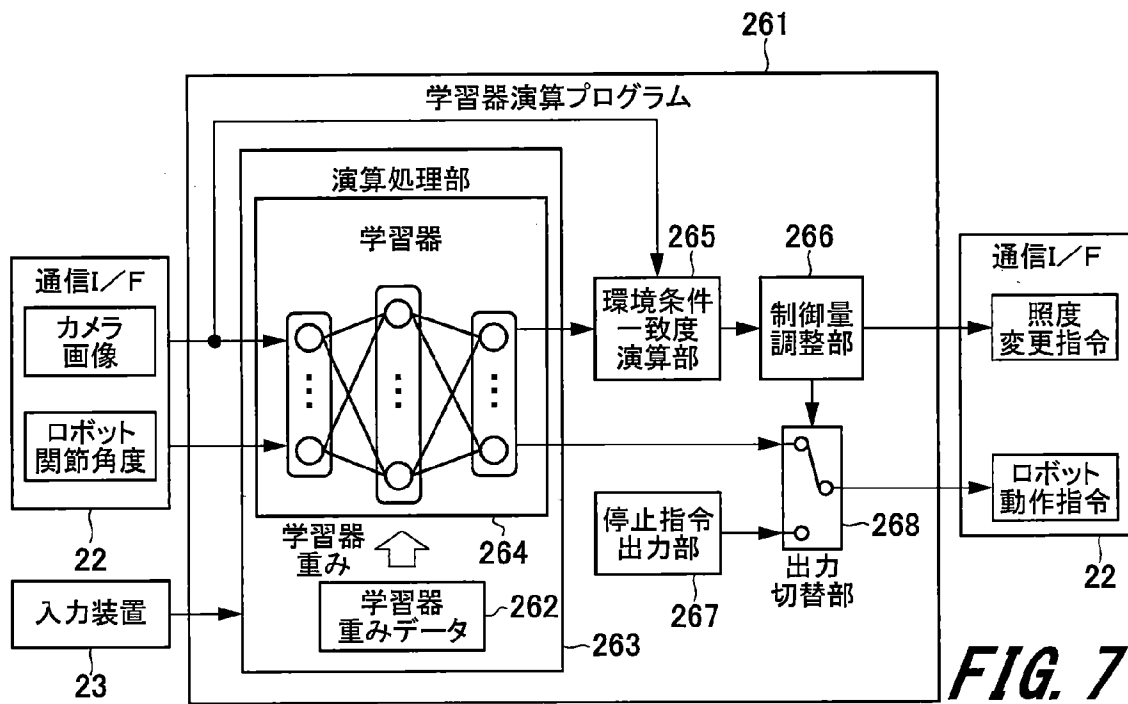
[図5]

**FIG. 5**

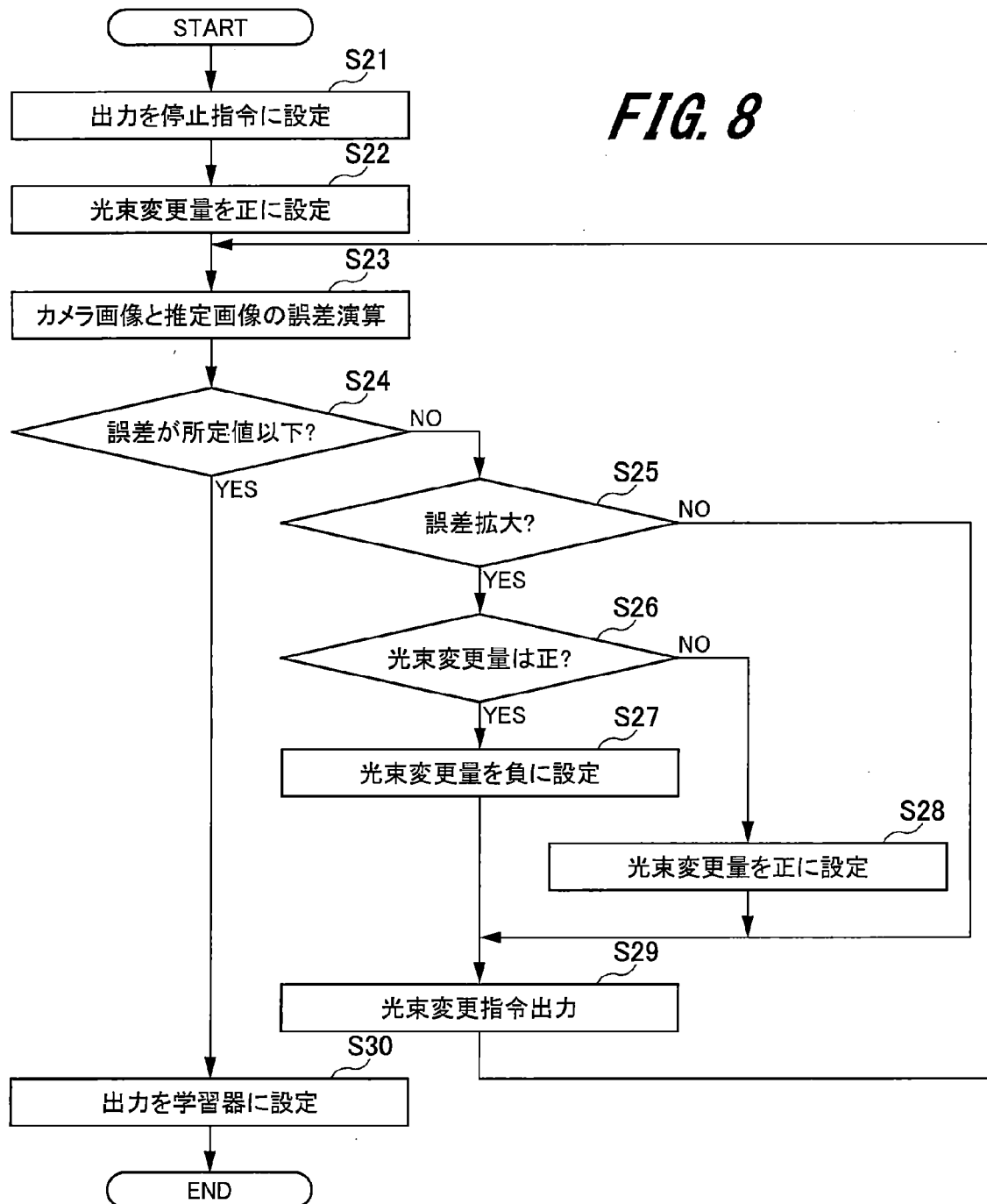
[図6]



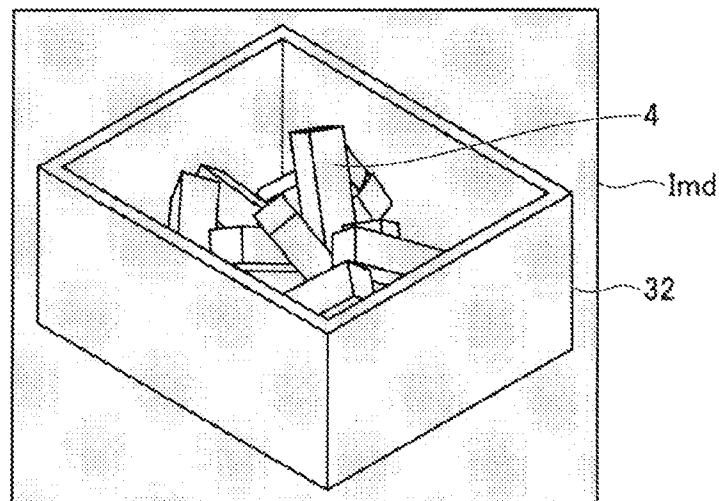
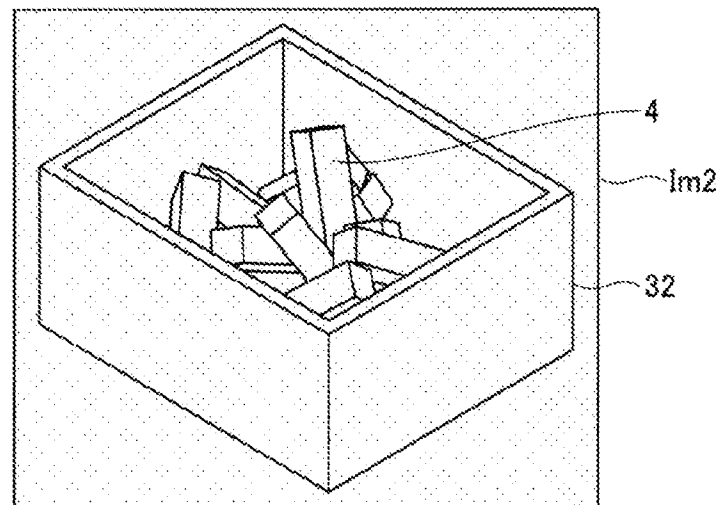
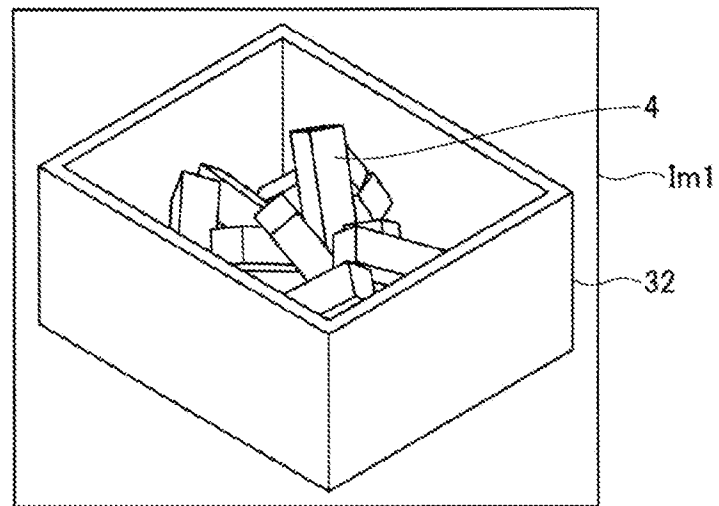
[図7]



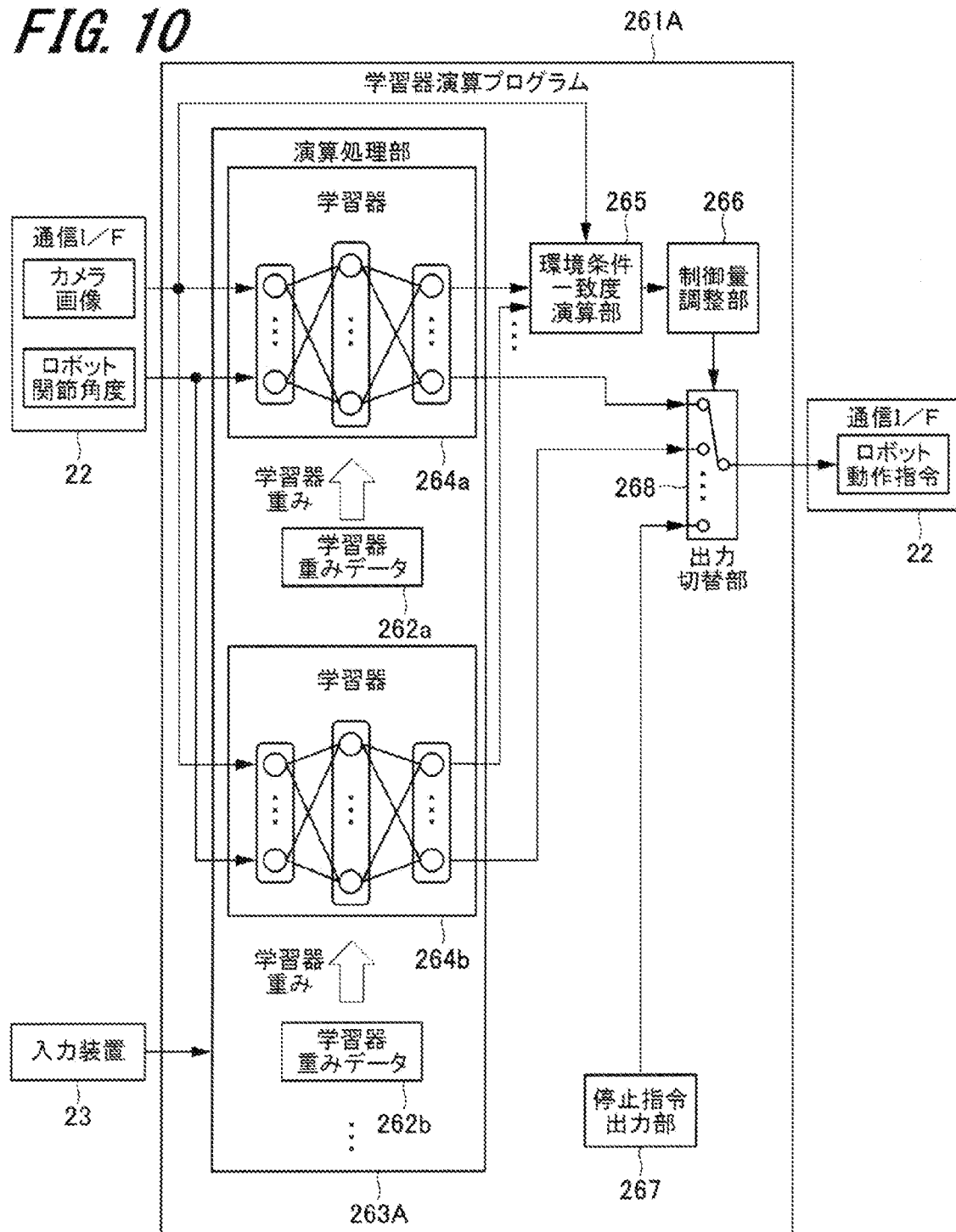
[図8]



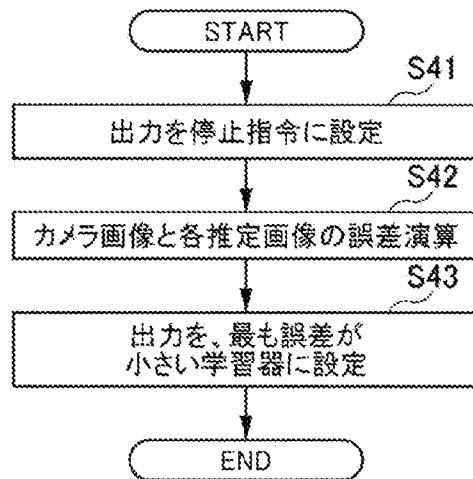
[図9]

FIG. 9

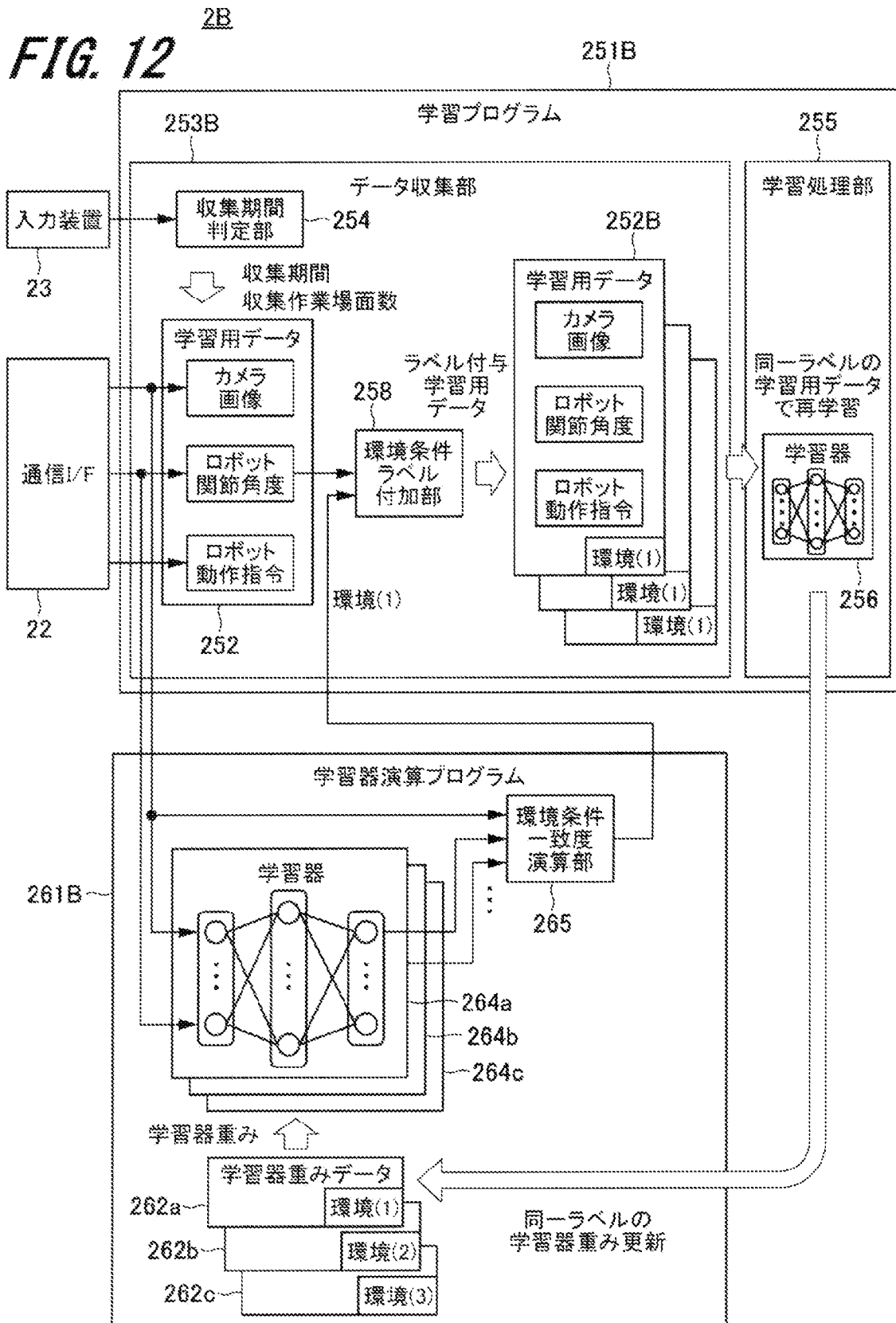
[図10]

FIG. 10

[図11]

FIG. 11

[図12]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2021/031322

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**B25J 13/00**(2006.01)i

FI: B25J13/00 Z

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

B25J1/00-21/02

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996
 Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2021
 Registered utility model specifications of Japan 1996-2021
 Published registered utility model applications of Japan 1994-2021

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2020-110894 A (EXAWIZARDS INC) 27 July 2020 (2020-07-27)	1, 5-10
A	paragraphs [0013]-[0102], [0108]-[0111], fig. 1-13	2-4
Y	JP 2006-320997 A (NIPPON TELEGR & TELEPH CORP) 30 November 2006 (2006-11-30)	1, 5-10
	paragraph [0033], fig. 1	
A	JP 2019-136807 A (FANUC LTD) 22 August 2019 (2019-08-22)	1-10
	entire text, all drawings	
A	JP 2018-136211 A (OMRON CORPORATION) 30 August 2018 (2018-08-30)	1-10
	entire text, all drawings	

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
 “E” earlier application or patent but published on or after the international filing date
 “L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
 “O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
 “P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
 “X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
 “Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
 “&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

15 October 2021

Date of mailing of the international search report

22 November 2021

Name and mailing address of the ISA/JP

Japan Patent Office (ISA/JP)
 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915
 Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2021/031322

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP	2020-110894	A	27 July 2020	JP 6632095 B1	
JP	2006-320997	A	30 November 2006	(Family: none)	
JP	2019-136807	A	22 August 2019	(Family: none)	
JP	2018-136211	A	30 August 2018	WO 2018/155018 A1 entire text, all drawings	
				CN 110140130 A	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） B25J 13/00(2006.01)i FI: B25J13/00 Z														
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC）） B25J1/00-21/02 最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922-1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971-2021年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2021年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2021年</td> </tr> </table> 国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）			日本国実用新案公報	1922-1996年	日本国公開実用新案公報	1971-2021年	日本国実用新案登録公報	1996-2021年	日本国登録実用新案公報	1994-2021年				
日本国実用新案公報	1922-1996年													
日本国公開実用新案公報	1971-2021年													
日本国実用新案登録公報	1996-2021年													
日本国登録実用新案公報	1994-2021年													
C. 関連すると認められる文献														
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号												
Y	JP 2020-110894 A（株式会社エクサウィザーズ）27.07.2020（2020-07-27） 段落 [0013] - [0102]、[0108] - [0111]、図1-13	1, 5-10												
A		2-4												
Y	JP 2006-320997 A（日本電信電話株式会社）30.11.2006（2006-11-30） 段落 [0033]、図1	1, 5-10												
A	JP 2019-136807 A（ファナック株式会社）22.08.2019（2019-08-22） 全文、全図	1-10												
A	JP 2018-136211 A（オムロン株式会社）30.08.2018（2018-08-30） 全文、全図	1-10												
☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。 ☒ パテントファミリーに関する別紙を参照。														
<table border="0"> <tr> <td>* 引用文献のカテゴリー</td> <td>“T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの</td> </tr> <tr> <td>“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの</td> <td>“X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの</td> </tr> <tr> <td>“E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの</td> <td>“Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの</td> </tr> <tr> <td>“L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）</td> <td>“&” 同一パテントファミリー文献</td> </tr> <tr> <td>“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献</td> <td></td> </tr> <tr> <td>“P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献</td> <td></td> </tr> </table>			* 引用文献のカテゴリー	“T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの	“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの	“X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの	“E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの	“Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの	“L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）	“&” 同一パテントファミリー文献	“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献		“P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献	
* 引用文献のカテゴリー	“T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの													
“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの	“X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの													
“E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの	“Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの													
“L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）	“&” 同一パテントファミリー文献													
“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献														
“P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献														
国際調査を完了した日 15.10.2021	国際調査報告の発送日 22.11.2021													
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	権限のある職員（特許庁審査官） 尾形 元 3U 4654 電話番号 03-3581-1101 内線 3364													

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2021/031322

引用文献			公表日	パテントファミリー文献			公表日
JP	2020-110894	A	27.07.2020	JP	6632095	B1	
JP	2006-320997	A	30.11.2006	(ファミリーなし)			
JP	2019-136807	A	22.08.2019	(ファミリーなし)			
JP	2018-136211	A	30.08.2018	WO	2018/155018	A1	
				全文、全図			
				CN	110140130	A	