

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B1)

(11) 特許番号

特許第6688517号
(P6688517)

(45) 発行日 令和2年4月28日(2020.4.28)

(24) 登録日 令和2年4月8日(2020.4.8)

(51) Int.CI.

F 1

B 25 J 13/08 (2006.01)
G 06 T 7/80 (2017.01)B 25 J 13/08
G 06 T 7/80

A

請求項の数 22 外国語出願 (全 46 頁)

(21) 出願番号 特願2019-126578 (P2019-126578)

(22) 出願日 令和1年7月8日(2019.7.8)

審査請求日 令和1年7月10日(2019.7.10)

(31) 優先権主張番号 16/369,630

(32) 優先日 平成31年3月29日(2019.3.29)

(33) 優先権主張国・地域又は機関

米国(US)

早期審査対象出願

(73) 特許権者 515182347

株式会社M U J I N

東京都江東区辰巳3-8-5

(74) 代理人 100079108

弁理士 稲葉 良幸

(74) 代理人 100109346

弁理士 大貫 敏史

(74) 代理人 100117189

弁理士 江口 昭彦

(74) 代理人 100134120

弁理士 内藤 和彦

(74) 代理人 100134371

弁理士 中塚 隆志

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】ロボット制御のためのカメラキャリブレーションを検証及び更新する方法及び制御システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

ロボット制御システムであって、
 ベースと、その上に配置される検証記号を備えるロボットアームとを有するロボットと
 通信し、カメラ視野を有するカメラと通信するように構成された通信インターフェースと
 、
 制御回路と、
 を備え、

該制御回路は、前記ロボット及び前記カメラと通信する際に、

第1のカメラキャリブレーションを実行し、前記カメラと関連付けられるカメラキャリブレーション情報を特定することと、

前記第1のカメラキャリブレーション中又は後に、前記検証記号を前記カメラ視野内の位置に動かすように、前記ロボットアームを制御する第1の動作コマンドを出力することであって、該第1の動作コマンドは、前記通信インターフェースを介して前記ロボットに出力され、該位置は前記第1のカメラキャリブレーションの検証のための1つ以上の参照箇所のうちの参照箇所である、第1の動作コマンドを出力することと、

前記通信インターフェースを介して、前記カメラから前記検証記号の画像を受信することであって、前記カメラは、前記参照箇所において前記検証記号の該画像を取り込むように構成され、該画像は前記検証のための参照画像である、前記検証記号の画像を受信することと、

10

20

前記検証記号に関する参照画像座標を特定することであって、該参照画像座標は前記参照画像内に前記検証記号が現れる座標である、参照画像座標を特定することと、

前記カメラキャリブレーション情報に基づいて、前記ロボットアームが、前記ロボットアームによって到達可能であるコンベヤベルト上の物体と相互作用するロボット操作を実行するように前記ロボットアームの動作を制御する第2の動作コマンドを出力することであって、該第2の動作コマンドは、前記カメラキャリブレーション情報に基づき、かつ、前記通信インターフェースを介して前記ロボットに出力される、第2の動作コマンドを出力することと、

前記コンベヤベルト上に物体が存在しないことを検出するか、又は前記ロボットと、前記コンベヤベルト上の最も近い物体との間の距離が規定された距離閾値を超えることを検出することによって、前記ロボット操作中に休止期間を検出することと、

前記休止期間中に前記検証記号を少なくとも前記参照箇所に動かすように前記ロボットアームを制御する第3の動作コマンドを出力することであって、該第3の動作コマンドは、前記通信インターフェースを介して前記ロボットに出力される、第3の動作コマンドを出力することと、

前記休止期間中に前記通信インターフェースを介して、前記カメラから前記検証記号の更なる画像を受信することであって、前記カメラは、少なくとも前記参照箇所において前記検証記号の該更なる画像を取り込むように構成され、該更なる画像は前記検証のための検証画像である、前記検証記号の更なる画像を受信することと、

前記検証のために使用される検証画像座標を特定することであって、該検証画像座標は前記検証画像内に前記検証記号が現れる座標である、検証画像座標を特定することと、

前記参照画像座標と前記検証画像座標との間の偏差量に基づいて、偏差パラメーター値を特定することであって、前記参照画像座標及び前記検証画像座標はいずれも前記参照箇所に関連付けられ、該偏差パラメーター値は、前記第1のカメラキャリブレーション以降の前記カメラの変化、又は前記第1のカメラキャリブレーション以降の前記カメラと前記ロボットとの間の関係の変化を示す、偏差パラメーター値を特定することと、

前記偏差パラメーター値が規定された閾値を超えるか否かを判断することと、

前記偏差パラメーター値が前記規定された閾値を超えると判断することに応答して、第2のカメラキャリブレーションを実行し、更新されたカメラキャリブレーション情報を特定することと、

を行うように構成される、ロボット制御システム。

【請求項2】

前記制御回路は、前記偏差パラメーター値が前記規定された閾値を超えないと判断することに応答して、前記通信インターフェースを介して、前記ロボットに第4の動作コマンドを出力することによって、更なるカメラキャリブレーションを実行することなく、前記休止期間後に前記ロボット操作を継続するように、前記ロボットを制御するように構成される、請求項1に記載のロボット制御システム。

【請求項3】

前記1つ以上の参照箇所は、複数の参照画像座標にそれぞれ対応する複数の参照箇所であり、前記参照画像座標は該複数の参照画像座標のうちの1つであり、

前記制御回路は、前記複数の参照箇所にそれぞれ対応する複数の検証画像座標を特定するように更に構成され、前記検証画像座標は該複数の検証画像座標のうちの1つであり、

前記偏差パラメーター値は、前記複数の参照箇所に関する前記複数の参照画像座標と前記複数の検証画像座標との間のそれぞれの偏差量に基づき、前記それぞれの偏差量のうちの各偏差量は、(a)前記複数の参照箇所のそれぞれの参照箇所に対応する参照画像座標と、(b)同じ参照箇所に対応する検証画像座標との間の偏差量である、請求項1に記載のロボット制御システム。

【請求項4】

前記複数の検証画像座標は、複数の検証画像内に前記検証記号が現れるそれぞれの座標であり、前記検証画像は前記複数の検証画像のうちの1つであり、前記制御回路は、前記

10

20

30

40

50

休止期間内に前記複数の検証画像の全てを取り込むように、前記カメラを制御するように構成される、請求項3に記載のロボット制御システム。

【請求項5】

ロボット制御システムであって、

ベースと、その上に配置される検証記号を備えるロボットアームとを有するロボットと通信し、カメラ視野を有するカメラと通信するように構成される通信インターフェースと

、
制御回路と、
を備え、

該制御回路は、前記ロボット及び前記カメラと通信する際に、

10

第1のカメラキャリブレーションを実行し、前記カメラと関連付けられるカメラキャリブレーション情報を特定することと、

前記第1のカメラキャリブレーション中又は後に、前記検証記号を前記カメラ視野内の複数の位置に動かすように、前記ロボットアームを制御する第1の組の1つ以上の動作コマンドを出力することであって、該第1の組の1つ以上の動作コマンドは、前記通信インターフェースを介して前記ロボットに出力され、該複数の位置は前記第1のカメラキャリブレーションの検証のための複数の参照箇所である、第1の組の1つ以上の動作コマンドを出力することと、

前記通信インターフェースを介して、前記カメラから前記検証記号の複数の画像を受信することであって、前記検証記号の該複数の画像は、それぞれ、前記検証記号が前記複数の参照箇所にあるときに前記カメラによって取り込まれ、該複数の画像は前記検証のための複数の参照画像である、前記検証記号の複数の画像を受信することと、

20

前記検証記号に関する複数の参照画像座標を特定することであって、該複数の参照画像座標は、前記複数の参照箇所に対応し、かつ、前記複数の参照画像内に前記検証記号が現れるそれぞれの座標である、複数の参照画像座標を特定することと、

前記カメラキャリブレーション情報に基づいて、ロボット操作を実行するように前記ロボットアームの動作を制御する第2の組の1つ以上の動作コマンドを出力することであって、該第2の組の1つ以上の動作コマンドは、前記カメラキャリブレーション情報に基づき、かつ、前記通信インターフェースを介して前記ロボットに出力される、第2の組の1つ以上の動作コマンドを出力することと、

30

前記ロボット操作中に複数の異なる休止期間を検出することと、

前記複数の異なる休止期間中に前記検証記号を少なくとも前記複数の参照箇所に動かすように前記ロボットアームを制御する第3の組の1つ以上の動作コマンドを出力することであって、該第3の組の1つ以上の動作コマンドは、前記通信インターフェースを介して前記ロボットに出力される、第3の組の1つ以上の動作コマンドを出力することと、

前記複数の異なる休止期間中に前記通信インターフェースを介して、前記カメラから前記検証記号の複数の更なる画像を受信することであって、該複数の更なる画像は、それぞれ、前記検証記号が少なくとも前記複数の参照箇所にあるときに前記カメラによって取り込まれ、該複数の更なる画像は、それぞれ、前記検証のための複数の検証画像である、前記検証記号の複数の更なる画像を受信することと、

40

前記検証のために使用される複数の検証画像座標を特定することであって、該複数の検証画像座標は、前記複数の検証画像内に前記検証記号が現れるそれぞれの座標である、複数の検証画像座標を特定することと、

前記複数の参照画像座標と前記複数の検証画像座標との間のそれぞれの偏差量に基づいて、偏差パラメーター値を特定することであって、前記複数の参照画像座標及び前記複数の検証画像座標は前記複数の参照箇所に関連付けられ、該それぞれの偏差量の各偏差量は、(a)前記複数の参照箇所のそれぞれの参照箇所に対応する参照画像座標と、(b)同じ参照箇所に対応する検証画像座標との間の偏差量であり、該偏差パラメーター値は、前記第1のカメラキャリブレーション以降の前記カメラの変化、又は前記第1のカメラキャリブレーション以降の前記カメラと前記ロボットとの間の関係の変化を示す、偏差パラ

50

メーター値を特定することと、

前記偏差パラメーター値が規定された閾値を超えるか否かを判断することと、

前記偏差パラメーター値が前記規定された閾値を超えると判断することに応答して、

第2のカメラキャリブレーションを実行し、更新されたカメラキャリブレーション情報を特定することと、

を行うように構成される、ロボット制御システム。

【請求項 6】

前記検証記号は第1の色を有する第1の領域と第2の色を有する第2の領域とを含み、前記第1の領域の面積と前記第2の領域の面積との比は規定され、規定された比として前記ロボット制御システムの記憶デバイス上に記憶される、請求項1に記載のロボット制御システム。10

【請求項 7】

前記制御回路は、前記規定された比に基づいて、前記参照画像又は前記検証画像内の前記検証記号を識別するように構成される、請求項6に記載のロボット制御システム。

【請求項 8】

前記ロボットアームは、その上に配置されるキャリブレーションパターンを有し、前記参照画像は前記検証記号及び該キャリブレーションパターンを含み、

前記制御回路は、前記参照画像の部分が、前記第1の色を有する第1の画像領域を有するか、及び前記第2の色を有する第2の画像領域を有するかを判断し、且つ前記第1の画像領域の面積と前記第2の画像領域の面積との比が前記規定された比に等しいか否かを判断することによって、前記参照画像の該部分が前記検証記号であるか、又は前記キャリブレーションパターンであるかを判断するように構成される、請求項7に記載のロボット制御システム。20

【請求項 9】

前記検証記号は、互いに同心である第1の形状及び第2の形状を含み、前記第1の形状及び前記第2の形状のそれぞれ中心は実質的に同じ位置にある、請求項1に記載のロボット制御システム。

【請求項 10】

前記制御回路は、

前記参照画像内の前記第1の形状の中心の第1の座標を特定することと、30

前記参照画像内の前記第2の形状の中心の第2の座標を特定することと、

前記参照画像内の前記第1の座標及び前記第2の座標の平均として前記参照画像座標を特定することと、

によって前記参照画像座標を特定するように構成され、

前記制御回路は、

前記検証画像内の前記第1の形状の中心の第1の座標を特定することと、

前記検証画像内の前記第2の形状の中心の第2の座標を特定することと、

前記検証画像内の前記第1の座標及び前記第2の座標の平均として前記検証画像座標を特定することと、

によって、前記検証画像座標を特定するように構成される、請求項9に記載のロボット制御システム。40

【請求項 11】

前記制御回路は、円形リングを識別することによって前記参照画像又は前記検証画像内の前記検証記号を識別するように構成され、前記検証記号は前記円形リングとして形成される、請求項1に記載のロボット制御システム。

【請求項 12】

前記制御回路は、

前記ロボットが位置する環境の温度を特定し、

測定された前記温度に基づいて、前記規定された閾値又は前記カメラキャリブレーション情報のうちの少なくとも一方を調整する、50

ように更に構成される、請求項 1 に記載のロボット制御システム。

【請求項 1 3】

前記制御回路は、

前記温度が規定範囲外にあるときに、前記規定された閾値を第 1 の値を有するように設定することと、

前記温度が前記規定範囲内にあるときに、前記閾値を前記第 1 の値より低い第 2 の値を有するように設定することと、

によって、前記温度に基づいて、前記規定された閾値を調整するように構成される、請求項 1 2 に記載のロボット制御システム。

【請求項 1 4】

10

ロボット制御システムであって、

ベースと、その上に配置される検証記号を備えるロボットアームとを有するロボットと通信し、カメラ視野を有するカメラと通信するように構成される通信インターフェースと

、
制御回路と、
を備え、

該制御回路は、前記ロボット及び前記カメラと通信する際に、

第 1 のカメラキャリブレーションを実行し、前記カメラと関連付けられるカメラキャリブレーション情報を特定することと、

前記第 1 のカメラキャリブレーション中又は後に、前記検証記号を前記カメラ視野内の複数の位置に動かすように、前記ロボットアームを制御する第 1 の組の 1 つ以上の動作コマンドを出力することであって、該第 1 の組の 1 つ以上の動作コマンドは、前記通信インターフェースを介して前記ロボットに出力され、該複数の位置は前記第 1 のカメラキャリブレーションの検証のための複数の参照箇所であり、該複数の参照箇所は、前記カメラに対して凹形である仮想球の表面上に配置される、第 1 の組の 1 つ以上の動作コマンドを出力することと、

前記通信インターフェースを介して、前記カメラから前記検証記号の画像を受信することであって、該画像は、前記検証記号が前記複数の参照箇所うちの参照箇所にある間に前記カメラによって取り込まれ、該画像は前記検証のための参照画像である、前記検証記号の画像を受信することと、

前記検証記号に関する参照画像座標を特定することであって、該参照画像座標は、前記参照画像内に前記検証記号が現れる座標である、参照画像座標を特定することと、

前記カメラキャリブレーション情報に基づいて、ロボット操作を実行するように前記ロボットアームの動作を制御する第 2 の組の 1 つ以上の動作コマンドを出力することであって、該第 2 の組の 1 つ以上の動作コマンドは、前記カメラキャリブレーション情報に基づき、かつ、前記通信インターフェースを介して前記ロボットに出力される、第 2 の組の 1 つ以上の動作コマンドを出力することと、

前記ロボット操作中に休止期間を検出することと、

前記休止期間中に前記検証記号を少なくとも前記参照箇所に動かすように前記ロボットアームを制御する第 3 の組の 1 つ以上の動作コマンドを出力することであって、該第 3 の組の 1 つ以上の動作コマンドは、前記通信インターフェースを介して前記ロボットに出力される、第 3 の組の 1 つ以上の動作コマンドを出力することと、

前記休止期間中に前記通信インターフェースを介して、前記カメラから前記検証記号の更なる画像を受信することであって、該更なる画像は、前記検証記号が少なくとも前記参照箇所にあるときに前記カメラによって取り込まれ、該更なる画像は、前記検証のための検証画像である、前記検証記号の更なる画像を受信することと、

前記検証のために使用される検証画像座標を特定することであって、該検証画像座標は、前記検証画像内に前記検証記号が現れる座標である、検証画像座標を特定することと、

前記参照画像座標と前記検証画像座標との間の偏差量に基づいて、偏差パラメーター

10

20

30

40

50

値を特定することであって、前記参照画像座標及び前記検証画像座標はいずれも前記参照箇所に関連付けられ、該偏差パラメーター値は、前記第1のカメラキャリブレーション以降の前記カメラの変化、又は前記第1のカメラキャリブレーション以降の前記カメラと前記ロボットとの間の関係の変化を示す、偏差パラメーター値を特定することと、

前記偏差パラメーター値が規定された閾値を超えるか否かを判断することと、

前記偏差パラメーター値が前記規定された閾値を超えると判断することに応答して、第2のカメラキャリブレーションを実行し、更新されたカメラキャリブレーション情報を特定することと、

を行うように構成される、ロボット制御システム。

【請求項15】

前記制御回路は、前記複数の参照箇所の各参照箇所において前記検証記号が前記球の前記表面に対して接線方向に向くように動かすために、前記ロボットアームを制御するよう更に構成される、請求項14に記載のロボット制御システム。

【請求項16】

前記制御回路は、前記検証記号が前記参照箇所に動かされるときに、前記カメラの真正面を向くように前記検証記号を動かすために、前記ロボットアームを制御するよう構成される、請求項1に記載のロボット制御システム。

【請求項17】

ロボット制御のためにカメラキャリブレーション検証を実行する方法であって、該方法は、

ロボット制御システムによって、第1のカメラキャリブレーションを実行し、カメラキャリブレーション情報を特定することであって、該ロボット制御システムは、ベースと、その上に配置される検証記号を備えるロボットアームとを有するロボットと通信し、カメラ視野を有し、該カメラキャリブレーション情報に関連付けられるカメラと通信するよう構成される通信インターフェースを備える、第1のカメラキャリブレーションを実行することと、

前記ロボット制御システムによって、前記通信インターフェースに第1の動作コマンドを出力することであって、前記通信インターフェースは、前記ロボットアームが、前記第1のカメラキャリブレーション中又は後に、前記検証記号を前記カメラ視野内の位置に動かすように、前記ロボットに該第1の動作コマンドを通信するように構成され、該位置は前記第1のカメラキャリブレーションの検証のための1つ以上の参照箇所のうちの参照箇所である、第1の動作コマンドを出力することと、

前記ロボット制御システムによって、前記通信インターフェースから、前記検証記号の画像を受信することであって、前記通信インターフェースは、前記カメラから該画像を受信するように構成され、前記カメラは前記参照箇所において前記検証記号の該画像を取り込むように構成され、該画像は前記検証のための参照画像である、前記検証記号の画像を受信することと、

前記ロボット制御システムによって、前記検証記号に関する参照画像座標を特定することであって、該参照画像座標は前記参照画像内に前記検証記号が現れる座標である、参照画像座標を特定することと、

前記ロボット制御システムによって、前記通信インターフェースに、前記カメラキャリブレーション情報に基づく第2の動作コマンドを出力することであって、前記通信インターフェースは、前記ロボットアームを動かして、前記ロボットアームが、前記ロボットアームによって到達可能であるコンベヤベルト上の物体と相互作用するロボット操作を実行するように、前記ロボットに該第2の動作コマンドを通信するように構成される、第2の動作コマンドを出力することと、

前記ロボット制御システムによって、前記コンベヤベルト上に物体が存在しないことを検出するか、又は前記ロボットと、前記コンベヤベルト上の最も近い物体との間の距離が規定された距離閾値を超えることを検出することにより、前記ロボット操作中に休止期間を検出することと、

10

20

30

40

50

前記ロボット制御システムによって、前記通信インターフェースに第3の動作コマンドを出力することであって、前記通信インターフェースは、前記休止期間中に前記ロボットアームが前記検証記号を少なくとも前記参照箇所に動かすように、前記ロボットに該第3の動作コマンドを通信するように構成される、第3の動作コマンドを出力することと、

前記ロボット制御システムによって、前記通信インターフェースから、前記検証記号の更なる画像を受信することであって、前記通信インターフェースは、前記カメラから該更なる画像を受信するように構成され、前記カメラは前記休止期間中に少なくとも前記参照箇所において前記検証記号の該更なる画像を取り込むように構成され、該更なる画像は前記検証のための検証画像である、前記検証記号の更なる画像を受信することと、

前記ロボット制御システムによって、前記検証のために使用される検証画像座標を特定することであって、該検証画像座標は、前記検証画像内に前記検証記号が現れる座標である、検証画像座標を特定することと、

前記ロボット制御システムによって、前記参照画像座標と前記検証画像座標との間の偏差量に基づいて、偏差パラメーター値を特定することであって、前記参照画像座標及び前記検証画像座標はいずれも前記参照箇所に関連付けられ、該偏差パラメーター値は、前記通信インターフェースが通信するように構成される前記カメラの前記第1のカメラキャリブレーション以降の変化、又は前記通信インターフェースが通信するように構成される前記カメラと前記ロボットとの間の関係の前記第1のカメラキャリブレーション以降の変化を示す、偏差パラメーター値を特定することと、

前記ロボット制御システムによって、前記偏差パラメーター値が規定された閾値を超えるか否かを判断することと、

前記ロボット制御システムによって、前記偏差パラメーター値が前記規定された閾値を超えると判断することに応答して、第2のカメラキャリブレーションを実行し、更新されたカメラキャリブレーション情報を特定することと、
を含む、方法。

【請求項 18】

非一時的コンピューター可読媒体であって、ロボット制御システムの制御回路によって実行されるときに、前記制御回路に、

第1のカメラキャリブレーションを実行させ、カメラキャリブレーション情報を特定させる命令であって、前記ロボット制御システムは、ベースと、その上に配置される検証記号を備えるロボットアームとを有するロボットと通信し、カメラ視野を有し、該カメラキャリブレーション情報に関連付けられるカメラと通信するように構成される通信インターフェースを備える、命令と、

前記通信インターフェースに第1の動作コマンドを出力させる命令であって、前記通信インターフェースは、前記ロボットアームが、前記第1のカメラキャリブレーション中又は後に、前記検証記号を前記カメラ視野内の位置に動かすように、前記ロボットに前記第1の動作コマンドを通信するように構成され、該位置は前記第1のカメラキャリブレーションの検証のための1つ以上の参照箇所のうちの参照箇所である、命令と、

前記通信インターフェースから、前記検証記号の画像を受信させる命令であって、前記通信インターフェースは前記カメラから該画像を受信するように構成され、前記カメラは前記検証記号の該画像を前記参照箇所において取り込むように構成され、該画像は前記検証のための参照画像である、命令と、

前記検証記号に関する参照画像座標を特定させる命令であって、該参照画像座標は、前記参照画像内に前記検証記号が現れる座標である、命令と、

前記通信インターフェースに、前記カメラキャリブレーション情報を基づく第2の動作コマンドを出力させる命令であって、前記通信インターフェースは、前記ロボットアームを動かして、前記ロボットアームが、前記ロボットアームによって到達可能であるコンベヤベルト上の物体と相互作用するロボット操作を実行するように、前記ロボットに該第2の動作コマンドを通信するように構成される、命令と、

前記コンベヤベルト上に物体が存在しないことを検出するか、又は前記ロボットと、前

10

20

30

40

50

記コンベヤベルト上の最も近い物体との間の距離が規定された距離閾値を超えることを検出することにより、前記ロボット操作中に休止期間を検出させる命令と、

前記通信インターフェースに第3の動作コマンドを出力させる命令であって、前記通信インターフェースは、前記ロボットアームが前記休止期間中に前記検証記号を少なくとも前記参照箇所に動かすように、前記ロボットに該第3の動作コマンドを通信するように構成される、命令と、

前記通信インターフェースから、前記検証記号の更なる画像を受信させる命令であって、前記通信インターフェースは、前記カメラから該更なる画像を受信するように構成され、前記カメラは前記休止期間中に少なくとも前記参照箇所において前記検証記号の該更なる画像を取り込むように構成され、該更なる画像は前記検証のための検証画像である、命令と、10

前記検証のために使用される検証画像座標を特定させる命令であって、該検証画像座標は、前記検証画像内に前記検証記号が現れる座標である、命令と、

前記参照画像座標と前記検証画像座標との間の偏差量に基づいて偏差パラメーター値を特定させる命令であって、前記参照画像座標及び前記検証画像座標はいずれも前記参照箇所に関連付けられ、該偏差パラメーター値は、前記通信インターフェースが通信するように構成される前記カメラの前記第1のカメラキャリブレーション以降の変化、又は前記通信インターフェースが通信するように構成される前記カメラと前記ロボットとの間の関係の前記第1のカメラキャリブレーション以降の変化を示す、命令と、

前記偏差パラメーター値が規定された閾値を超えるか否かを判断させる命令と、20

前記偏差パラメーター値が前記規定された閾値を超えると判断することに応答して、第2のカメラキャリブレーションを実行させ、更新されたカメラキャリブレーション情報を特定させる命令と、

を記憶している、非一時的コンピューター可読媒体。

【請求項19】

ロボット制御のためにカメラキャリブレーション検証を実行する方法であって、該方法は、

ロボット制御システムによって、第1のカメラキャリブレーションを実行し、カメラキャリブレーション情報を特定することであって、該ロボット制御システムは、ベースと、その上に配置される検証記号を備えるロボットアームとを有するロボットと通信し、カメラ視野を有し、該カメラキャリブレーション情報に関連付けられるカメラと通信するように構成される通信インターフェースを備える、第1のカメラキャリブレーションを実行することと、30

前記ロボット制御システムによって、第1の組の1つ以上の動作コマンドを前記通信インターフェースに出力することであって、前記通信インターフェースは、前記ロボットアームが、前記第1のカメラキャリブレーション中又は後に、前記検証記号を前記カメラ視野内の複数の位置に動かすように、前記ロボットに該第1の組の1つ以上の動作コマンドを通信するように構成され、該複数の位置は前記第1のカメラキャリブレーションの検証のための複数の参照箇所である、第1の組の1つ以上の動作コマンドを出力することと、

前記ロボット制御システムによって、前記通信インターフェースから、前記検証記号の複数の画像を受信することであって、前記通信インターフェースは、前記カメラから該複数の画像を受信するように構成され、前記検証記号の該複数の画像は、それぞれ、前記検証記号が前記複数の参照箇所にあるときに前記カメラによって取り込まれ、該複数の画像は前記検証のための複数の参照画像である、前記検証記号の複数の画像を受信することと、40

前記ロボット制御システムによって、前記検証記号に関する複数の参照画像座標を特定することであって、該複数の参照画像座標は、前記複数の参照箇所に対応し、かつ、前記複数の参照画像内に前記検証記号が現れるそれぞれの座標である、参照画像座標を特定することと、

前記ロボット制御システムによって、前記通信インターフェースに、前記カメラキャリ

10

20

30

40

50

プレーション情報に基づく第2の組の1つ以上の動作コマンドを出力することであって、前記通信インターフェースは、前記ロボットアームを動かして、ロボット操作を実行するように、前記ロボットに該第2の組の1つ以上の動作コマンドを通信するように構成される、第2の組の1つ以上の動作コマンドを出力することと、

前記ロボット制御システムによって、前記ロボット操作中に複数の異なる休止期間を検出することと、

前記ロボット制御システムによって、前記通信インターフェースに第3の組の1つ以上の動作コマンドを出力することであって、前記通信インターフェースは、前記複数の異なる休止期間中に前記ロボットアームが前記検証記号を少なくとも前記複数の参照箇所に動かすように、前記ロボットに該第3の組の1つ以上の動作コマンドを通信するように構成される、第3の組の1つ以上の動作コマンドを出力することと、

前記ロボット制御システムによって、前記通信インターフェースから、前記検証記号の複数の更なる画像を受信することであって、前記通信インターフェースは、前記カメラから該複数の更なる画像を受信するように構成され、該複数の更なる画像は、前記複数の異なる休止期間中に、それぞれ、前記検証記号が少なくとも前記複数の参照箇所にあるときに前記カメラによって取り込まれ、該複数の更なる画像は、前記検証のための複数の検証画像である、前記検証記号の複数の更なる画像を受信することと、

前記ロボット制御システムによって、前記検証のために使用される複数の検証画像座標を特定することであって、該複数の検証画像座標は、前記複数の検証画像内に前記検証記号が現れるそれぞれの座標である、複数の検証画像座標を特定することと、

前記ロボット制御システムによって、前記複数の参照画像座標と前記複数の検証画像座標との間のそれぞれの偏差量に基づいて、偏差パラメーター値を特定することであって、前記複数の参照画像座標及び前記複数の検証画像座標は前記複数の参照箇所に関連付けられ、該それぞれの偏差量の各偏差量は、(a)前記複数の参照箇所のそれぞれの参照箇所に対応する参照画像座標と、(b)同じ参照箇所に対応する検証画像座標との間の偏差量であり、該偏差パラメーター値は、前記通信インターフェースが通信するように構成される前記カメラの前記第1のカメラキャリブレーション以降の変化、又は前記通信インターフェースが通信するように構成される前記カメラと前記ロボットとの間の関係の前記第1のカメラキャリブレーション以降の変化を示す、偏差パラメーター値を特定することと、

前記ロボット制御システムによって、前記偏差パラメーター値が規定された閾値を超えるか否かを判断することと、

前記ロボット制御システムによって、前記偏差パラメーター値が前記規定された閾値を超えると判断することに応答して、第2のカメラキャリブレーションを実行し、更新されたカメラキャリブレーション情報を特定することと、

を含む、方法。

【請求項20】

非一時的コンピューター可読媒体であって、ロボット制御システムの制御回路によって実行されるときに、前記制御回路に、

第1のカメラキャリブレーションを実行させ、カメラキャリブレーション情報を特定させる命令であって、前記ロボット制御システムは、ベースと、その上に配置される検証記号を備えるロボットアームとを有するロボットと通信し、カメラ視野を有し、該カメラキャリブレーション情報を関連付けられるカメラと通信するように構成される通信インターフェースを備える、命令と、

前記通信インターフェースに第1の組の1つ以上の動作コマンドを出力させる命令であって、前記通信インターフェースは、前記ロボットアームが、前記第1のカメラキャリブレーション中又は後に、前記検証記号を前記カメラ視野内の複数の位置に動かすように、前記ロボットに前記第1の組の1つ以上の動作コマンドを通信するように構成され、該複数の位置は前記第1のカメラキャリブレーションの検証のための複数の参照箇所である、命令と、

前記通信インターフェースから、前記検証記号の複数の画像を受信させる命令であって、

10

20

30

40

50

、前記通信インターフェースは前記カメラから該複数の画像を受信するように構成され、前記検証記号の該複数の画像は、それぞれ、前記検証記号が前記複数の参照箇所にあるときに前記カメラによって取り込まれ、該複数の画像は前記検証のための複数の参照画像である、命令と、

前記検証記号に関する複数の参照画像座標を特定させる命令であって、該複数の参照画像座標は、前記複数の参照箇所に対応し、かつ、前記複数の参照画像内に前記検証記号が現れるそれぞれの座標である、命令と、

前記通信インターフェースに、前記カメラキャリブレーション情報に基づく第2の組の1つ以上の動作コマンドを出力させる命令であって、前記通信インターフェースは、前記ロボットアームを動かして、ロボット操作を実行するように、前記ロボットに該第2の組の1つ以上の動作コマンドを通信するように構成される、命令と、 10

前記ロボット操作中に複数の異なる休止期間を検出させる命令と、

前記通信インターフェースに第3の組の1つ以上の動作コマンドを出力させる命令であって、前記通信インターフェースは、前記複数の異なる休止期間中に前記ロボットアームが前記検証記号を少なくとも前記複数の参照箇所に動かすように、前記ロボットに該第3の組の1つ以上の動作コマンドを通信するように構成される、命令と、

前記通信インターフェースから、前記検証記号の複数の更なる画像を受信させる命令であって、前記通信インターフェースは、前記カメラから該複数の更なる画像を受信するように構成され、該複数の更なる画像は、前記複数の異なる休止期間中に、それぞれ、前記検証記号が少なくとも前記複数の参照箇所にあるときに前記カメラによって取り込まれ、該複数の更なる画像は、前記検証のための複数の検証画像である、命令と、 20

前記検証のために使用される複数の検証画像座標を特定させる命令であって、該複数の検証画像座標は、前記複数の検証画像内に前記検証記号が現れるそれぞれの座標である、命令と、

前記複数の参照画像座標と前記複数の検証画像座標との間のそれぞれの偏差量に基づいて、偏差パラメーター値を特定させる命令であって、前記複数の参照画像座標及び前記複数の検証画像座標は前記複数の参照箇所に関連付けられ、該それぞれの偏差量の各偏差量は、(a)前記複数の参照箇所のそれぞれの参照箇所に対応する参照画像座標と、(b)同じ参照箇所に対応する検証画像座標との間の偏差量であり、該偏差パラメーター値は、前記通信インターフェースが通信するように構成される前記カメラの前記第1のカメラキャリブレーション以降の変化、又は前記通信インターフェースが通信するように構成される前記カメラと前記ロボットとの間の関係の前記第1のカメラキャリブレーション以降の変化を示す、命令と、 30

前記偏差パラメーター値が規定された閾値を超えるか否かを判断させる命令と、

前記偏差パラメーター値が前記規定された閾値を超えると判断することに応答して、第2のカメラキャリブレーションを実行させ、更新されたカメラキャリブレーション情報を特定させる命令と、

を記憶している、非一時的コンピューター可読媒体。

【請求項21】

ロボット制御のためにカメラキャリブレーション検証を実行する方法であって、該方法は、 40

ロボット制御システムによって、第1のカメラキャリブレーションを実行し、カメラキャリブレーション情報を特定することであって、該ロボット制御システムは、ベースと、その上に配置される検証記号を備えるロボットアームとを有するロボットと通信し、カメラ視野を有し、該カメラキャリブレーション情報を関連付けられるカメラと通信するように構成される通信インターフェースを備える、第1のカメラキャリブレーションを実行することと、

前記ロボット制御システムによって、前記通信インターフェースに第1の組の1つ以上の動作コマンドを出力することであって、前記通信インターフェースは、前記ロボットアームが、前記第1のカメラキャリブレーション中又は後に、前記検証記号を前記カメラ視 50

野内の複数の位置に動かすように、前記ロボットに該第1の組の1つ以上の動作コマンドを通信するように構成され、該複数の位置は前記第1のカメラキャリブレーションの検証のための複数の参照箇所であり、該複数の参照箇所は、前記カメラに対して凹形である仮想球の表面上に配置される、第1の組の1つ以上の動作コマンドを出力することと、

前記ロボット制御システムによって、前記通信インターフェースから、前記検証記号の画像を受信することであって、前記通信インターフェースは、前記カメラから該画像を受信するように構成され、該画像は、前記検証記号が前記複数の参照箇所うちの参照箇所にある間に前記カメラによって取り込まれ、該画像は前記検証のための参照画像である、前記検証記号の画像を受信することと、

前記ロボット制御システムによって、前記検証記号に関する参照画像座標を特定することであって、該参照画像座標は前記参照画像内に前記検証記号が現れる座標である、参照画像座標を特定することと、 10

前記ロボット制御システムによって、前記通信インターフェースに、前記カメラキャリブレーション情報に基づく第2の組の1つ以上の動作コマンドを出力することであって、前記通信インターフェースは、前記ロボットアームを動かして、ロボット操作を実行するよう、前記ロボットに該第2の組の1つ以上の動作コマンドを通信するように構成される、第2の組の1つ以上の動作コマンドを出力することと、

前記ロボット制御システムによって、前記ロボット操作中に休止期間を検出することと、

前記ロボット制御システムによって、前記通信インターフェースに第3の組の1つ以上の動作コマンドを出力することであって、前記通信インターフェースは、前記休止期間中に前記ロボットアームが前記検証記号を少なくとも前記参照箇所に動かすように、前記ロボットに該第3の組の1つ以上の動作コマンドを通信するように構成される、第3の組の1つ以上の動作コマンドを出力することと、 20

前記ロボット制御システムによって、前記通信インターフェースから、前記検証記号の更なる画像を受信することであって、前記通信インターフェースは、前記カメラから該更なる画像を受信するように構成され、該更なる画像は、前記休止期間中に前記検証記号が少なくとも前記参照箇所にあるときに前記カメラによって取り込まれ、該更なる画像は、前記検証のための検証画像である、前記検証記号の更なる画像を受信することと、

前記ロボット制御システムによって、前記検証のために使用される検証画像座標を特定することであって、該検証画像座標は、前記検証画像内に前記検証記号が現れる座標である、検証画像座標を特定することと、 30

前記ロボット制御システムによって、前記参照画像座標と前記検証画像座標との間の偏差量に基づいて、偏差パラメーター値を特定することであって、前記参照画像座標及び前記検証画像座標はいずれも前記参照箇所に関連付けられ、該偏差パラメーター値は、前記通信インターフェースが通信するように構成される前記カメラの前記第1のカメラキャリブレーション以降の変化、又は前記通信インターフェースが通信するように構成される前記カメラと前記ロボットとの間の関係の前記第1のカメラキャリブレーション以降の変化を示す、偏差パラメーター値を特定することと、

前記ロボット制御システムによって、前記偏差パラメーター値が規定された閾値を超えるか否かを判断することと、 40

前記ロボット制御システムによって、前記偏差パラメーター値が前記規定された閾値を超えると判断することに応答して、第2のカメラキャリブレーションを実行し、更新されたカメラキャリブレーション情報を特定することと、
を含む、方法。

【請求項 22】

非一時的コンピューター可読媒体であって、ロボット制御システムの制御回路によって実行されるときに、前記制御回路に、

第1のカメラキャリブレーションを実行させ、カメラキャリブレーション情報を特定させる命令であって、前記ロボット制御システムは、ベースと、その上に配置される検証記 50

号を備えるロボットアームとを有するロボットと通信し、カメラ視野を有し、該カメラキャリブレーション情報に関連付けられるカメラと通信するように構成される通信インターフェースを備える、命令と、

前記通信インターフェースに第1の組の1つ以上の動作コマンドを出力させる命令であって、前記通信インターフェースは、前記ロボットアームが、前記第1のカメラキャリブレーション中又は後に、前記検証記号を前記カメラ視野内の複数の位置に動かすように、前記ロボットに前記第1の組の1つ以上の動作コマンドを通信するように構成され、該複数の位置は前記第1のカメラキャリブレーションの検証のための複数の参照箇所であり、該複数の参照箇所は、前記カメラに対して凹形である仮想球の表面上に配置される、命令と、

10

前記通信インターフェースから、前記検証記号の画像を受信させる命令であって、前記通信インターフェースは前記カメラから該画像を受信するように構成され、該画像は、前記検証記号が前記複数の参照箇所うちの参照箇所にある間に前記カメラによって取り込まれ、該画像は前記検証のための参照画像である、命令と、

前記検証記号に関する参照画像座標を特定させる命令であって、該参照画像座標は、前記参照画像内に前記検証記号が現れる座標である、命令と、

前記通信インターフェースに、前記カメラキャリブレーション情報に基づく第2の組の1つ以上の動作コマンドを出力させる命令であって、前記通信インターフェースは、前記ロボットアームを動かして、ロボット操作を実行するように、前記ロボットに該第2の組の1つ以上の動作コマンドを通信するように構成される、命令と、

20

前記ロボット操作中に休止期間を検出させる命令と、

前記通信インターフェースに第3の組の1つ以上の動作コマンドを出力させる命令であって、前記通信インターフェースは、前記ロボットアームが前記休止期間中に前記検証記号を少なくとも前記参照箇所に動かすように、前記ロボットに該第3の組の1つ以上の動作コマンドを通信するように構成される、命令と、

前記通信インターフェースから、前記検証記号の更なる画像を受信させる命令であって、前記通信インターフェースは、前記カメラから該更なる画像を受信するように構成され、該更なる画像は、前記休止期間中に前記検証記号が少なくとも前記参照箇所にあるときに前記カメラによって取り込まれ、該更なる画像は、前記検証のための検証画像である、命令と、

30

前記検証のために使用される検証画像座標を特定させる命令であって、該検証画像座標は、前記検証画像内に前記検証記号が現れる座標である、命令と、

前記参照画像座標と前記検証画像座標との間の偏差量に基づいて偏差パラメーター値を特定させる命令であって、前記参照画像座標及び前記検証画像座標はいずれも前記参照箇所に関連付けられ、該偏差パラメーター値は、前記通信インターフェースが通信するように構成される前記カメラの前記第1のカメラキャリブレーション以降の変化、又は前記通信インターフェースが通信するように構成される前記カメラと前記ロボットとの間の関係の前記第1のカメラキャリブレーション以降の変化を示す、命令と、

前記偏差パラメーター値が規定された閾値を超えるか否かを判断させる命令と、

前記偏差パラメーター値が前記規定された閾値を超えると判断することに応答して、第2のカメラキャリブレーションを実行させ、更新されたカメラキャリブレーション情報を特定させる命令と、

40

を記憶している、非一時的コンピューター可読媒体。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、ロボット制御のためのカメラキャリブレーションを検証及び更新する方法及び制御システムに関する。

【背景技術】

【0002】

50

自動化がより一般的になるに従い、倉庫保管及び製造環境等、より多くの環境においてロボットが使用されている。例えば、ロボットは、倉庫において物品をパレットに積むか若しくはパレットから降ろすために、又は、工場においてコンベヤベルトから物体を持ち上げるために使用される場合がある。ロボットの移動は、一定である場合があり、又は、倉庫若しくは工場においてカメラによって撮影される画像等の入力に基づく場合がある。後者の状況では、カメラの特性を求めるために、かつ、カメラとロボットが位置する環境との関係を求めるために、キャリブレーション（較正）が行われる場合がある。キャリブレーションは、カメラキャリブレーションと呼ばれる場合があり、カメラによって取り込まれた画像に基づいてロボットを制御するために使用されるカメラキャリブレーション情報を生成することができる。いくつかの実施態様では、カメラキャリブレーションは、人による手動操作を必要とする場合があり、人は、ロボットの移動を手動で制御するか、又は、カメラを手動で制御して、ロボットの画像を取り込むことができる。10

【発明の概要】

【0003】

本明細書における実施形態の一態様は、ロボット制御のためのカメラキャリブレーション検証を実行することに関する。カメラキャリブレーション検証は、通信インターフェース及び制御回路を備えるロボット制御システムによって実行することができる。通信インターフェースは、ベースと、その上に検証記号 (verification symbol) が配置されるロボットアームとを有するロボットと通信し、カメラ視野を有するカメラと通信するように構成することができる。ロボット制御システムの制御回路は、a) 第1のカメラキャリブレーションを実行し、カメラキャリブレーション情報を特定することと、b) 通信インターフェースに第1の動作コマンドを出力することであって、通信インターフェースは、第1のカメラキャリブレーション中又は後に、ロボットアームが検証記号をカメラ視野内の位置に動かすように、ロボットに第1の動作コマンドを通信するように構成され、その位置は第1のカメラキャリブレーションを検証するための1つ以上の参照箇所のうちの参照箇所である、第1の動作コマンドを出力することと、c) 通信インターフェースを介して、カメラから検証記号の画像を受信することであって、カメラは参照箇所において検証記号の画像を取り込むように構成され、画像は検証のための参照画像である、検証記号の画像を受信することと、d) 検証記号のための参照画像座標を特定することであって、参照画像座標は参照画像内に参照記号が現れる座標である、参照画像座標を特定することと、e) 通信インターフェースに、カメラキャリブレーション情報に基づく第2の動作コマンドを出力することであって、通信インターフェースは、ロボットアームを動かし、ロボット動作を実行するように、ロボットに第2の動作コマンドを通信するように構成される、第2の動作コマンドを出力することによって、カメラキャリブレーション検証を実行するように構成することができる。20

【0004】

一実施形態において、制御回路は、f) ロボット操作中に休止期間を検出することと、g) 通信インターフェースに第3の動作コマンドを出力することであって、通信インターフェースは、休止期間中にロボットアームが検証記号を少なくとも参照箇所に動かすように、ロボットに第3の動作コマンドを通信するように構成される、第3の動作コマンドを出力することと、h) 通信インターフェースを介して、カメラから検証記号の更なる画像を受信することであって、カメラは休止期間中に少なくとも参照箇所において検証記号の更なる画像を取り込むように構成され、更なる画像は検証のための検証画像である、検証記号の更なる画像を受信することと、i) 検証のために使用される検証画像座標を特定することであって、検証画像座標は検証画像内に検証記号が現れる座標である、検証画像座標を特定することと、j) 参照画像座標と検証画像座標との間の偏差量に基づいて、偏差パラメーター値を特定することであって、参照画像座標及び検証画像座標はいずれも参照箇所に関連付けられ、偏差パラメーター値は、通信インターフェースが通信するように構成されるカメラの第1のカメラキャリブレーション以降の変化、又は通信インターフェースが通信するように構成されるカメラとロボットとの間の関係の第1のカメラキャリブレーションを特定することと、k) 偏差パラメーター値を用いて、検証記号の位置を算出することと、l) 検証記号の位置を算出した結果をもとに、ロボットアームを動かし、ロボット動作を実行するように構成される。30

JP 6688517 B1 2020.4.28

ーション以降の変化を示す、偏差パラメーター値を特定することと、k) 偏差パラメーター値が規定された閾値を超えるか否かを判断することと、l) 偏差パラメーター値が規定された閾値を超えると判断することに応答して、第2のカメラキャリブレーションを実行し、更新されたカメラキャリブレーション情報を特定することによって、カメラキャリブレーション検証を更に実行するように構成される。

【0005】

本発明の上述の特徴、目的、及び利点、並びに他の特徴、目的、及び利点は、添付の図面に示されるような本発明の実施形態の以下の説明から明らかであろう。本明細書に組み込まれるとともに本明細書の一部をなす添付の図面は更に、本発明の原理を説明するとともに、当業者が本発明を実施及び使用することを可能にする役割を果たす。図面は一定縮尺ではない。10

【図面の簡単な説明】

【0006】

【図1A】本明細書の実施形態による、カメラキャリブレーションの検証が実行されるシステムのブロック図である。

【図1B】本明細書の実施形態による、カメラキャリブレーションの検証が実行されるシステムのブロック図である。

【図1C】本明細書の一実施形態による、カメラキャリブレーションの検証を実行するよう構成されるロボット制御システムのブロック図である。

【図1D】本明細書の一実施形態による、カメラキャリブレーションが実行されるカメラのブロック図である。20

【図2】本明細書の一実施形態による、カメラキャリブレーションから得られるカメラキャリブレーション情報に基づいて制御されるロボットを例示するシステムを示す図である。

【図3】本明細書の一実施形態による、カメラキャリブレーションを実行するシステムを示す図である。

【図4A】本明細書の一実施形態による、カメラキャリブレーションの検証を実行する方法を例示するフロー図である。

【図4B】本明細書の一実施形態による、カメラキャリブレーションの検証を実行する方法を例示するフロー図である。30

【図5A】本明細書の一実施形態による、検証記号がロボット上に配置され、カメラキャリブレーションの検証を実行するために検証記号が使用されるシステムを示す図である。

【図5B】本明細書の一実施形態による、検証記号がロボット上に配置され、カメラキャリブレーションの検証を実行するために検証記号が使用されるシステムを示す図である。

【図5C】本明細書の一実施形態による、例示的な検証記号を示す図である。

【図6A】本明細書の一実施形態による、検証記号のそれぞれの画像が取り込まれる参照箇所の例を示す図である。

【図6B】本明細書の一実施形態による、検証記号のそれぞれの画像が取り込まれる参照箇所の例を示す図である。

【図7A】本明細書の一実施形態による、参照画像座標を特定する一例を示す図である。

【図7B】本明細書の一実施形態による、検証画像座標を特定する一例を示す図である。

【図8】本明細書の一実施形態による、カメラキャリブレーションの検証のための例示的なタイムラインを示す図である。

【図9】本明細書の一実施形態による、カメラキャリブレーションの検証を実行する例示的な方法を示すフロー図である。

【発明を実施するための形態】

【0007】

以下の詳細な説明は、本質的に単に例示のものであり、本発明又は本発明の用途及び使用を限定することを意図するものではない。さらに、前出の技術分野、背景技術、発明の概要又は以下の詳細な説明において提示されるいかなる明示された又は暗示された理論に50

よっても限定する意図はない。

【0008】

本明細書に記載する実施形態は、倉庫、製造工場において、又は他の何らかの環境において使用されるロボット等、ロボットを制御するために使用されるカメラのキャリブレーションを検証及び／又は更新することに関する。キャリブレーションは、カメラキャリブレーションと呼ばれる場合があり、例えば、ロボット制御システム（ロボットコントローラーとも呼ぶ）が、カメラによって取り込まれる（例えば、撮影される）画像に基づいてロボットを制御するロボット制御システムの能力を促進するカメラキャリブレーション情報を生成するために実施することができる。例えば、ロボットは、倉庫において包装品を持ち上げるために使用される場合があり、そこでは、ロボットのロボットアーム又は他の構成要素の配置は、カメラによって取り込まれる包装品の画像に基づくことができる。その場合、カメラキャリブレーション情報は、例えば、ロボットのロボットアームに対する包装品の位置及び向きを求めるために、包装品の画像とともに使用することができる。カメラキャリブレーションは、カメラの固有パラメーター（内部パラメーターと呼ばれる場合もある）のそれぞれの推定値を特定することと、カメラとその外部環境との間の関係の推定値を特定することとを含むことができる。カメラの固有パラメーターは、行列、ベクトル又はスカラー値等の1つ以上のパラメーター値を有することができる。さらに、固有パラメーターの例は、射影行列及びひずみパラメーターを含む。一例において、カメラキャリブレーションは、外部環境内の或る定位置（fixed position）に対するカメラの位置を特定することを含むことができ、それは、カメラと外部環境内の定位置との間の関係を表す変換関数（transformation function）として表すことができる。場合によっては、カメラキャリブレーションは、キャリブレーションパターンの助けを借りて実行することができ、キャリブレーションパターンは、キャリブレーションパターン上の規定された位置に配置されるパターン要素を有することができる。カメラはキャリブレーションパターンのパターン要素の画像（キャリブレーション画像とも呼ばれる）を取り込むことができ、カメラキャリブレーションは、パターン要素の画像をパターン要素の規定された位置と比較することに基づいて実行することができる。カメラキャリブレーションは、2019年3月7日に出願の「METHOD AND DEVICE FOR PERFORMING AUTOMATIC CAMERA CALIBRATION FOR ROBOT CONTROL」と題する米国特許出願第16/295,940号（整理番号MJ0021U.S1）においてより詳細に論じられており、その内容全体が引用することにより本明細書の一部をなす。

【0009】

上記で言及されたように、本開示の一態様は、早期の時点において実行されたカメラキャリブレーションが後の時点において依然として正確であることを検証することに関する。早期の時点において実行されるカメラキャリブレーションは、カメラの固有パラメーター、又はその時点におけるカメラとその外部環境との間の関係等の、その時点のカメラの特性を反映するカメラキャリブレーション情報を生成することができる。場合によっては、カメラの特性が経時的に変化する場合があるため、早期のカメラキャリブレーションは経時的に精度を維持できなくなる場合がある。第1の例において、カメラの固有パラメーターが経時的に変化する場合がある。そのような変化は、例えば、温度変化によって引き起こされる場合があり、温度変化が、カメラのハウジング及び／又はレンズの形状を変更する。第2の例において、カメラとその外部環境との間の関係が経時的に変化する場合がある。例えば、カメラが、例えば、ロボットのベース、又は倉庫内の位置に対して位置又は向きを変える場合がある。そのような変化は、例えば、カメラを搭載するために使用される任意の構成要素を膨張又は収縮させる温度変化、カメラに衝突する人又は他の物体、カメラの外部環境（例えば、倉庫）内の振動、カメラの自らの重量に起因する力（すなわち、重力によって）、又は何らかの他の要因によって引き起こされる場合がある。これらの変化によって、カメラキャリブレーション情報が古くなる場合があり、このカメラキャリブレーション情報を用いて、後の時点においてロボットアーム又はロボットの他の構成要素を位置決めする結果として、誤差が生じる恐れがある。言い換えると、カメラに関連

付けられる特性が経時的に変化しているが、そのような変化を反映するようにカメラキャリブレーション情報が更新されない場合には、ロボットは、古くなったか、又は別の事情で不正確なカメラキャリブレーション情報に基づいて動作する場合があり、それにより、ロボットの動作に望ましくない誤差を引き起こす恐れがある。カメラの1つ以上の特性に変化が生じる場合がある可能性に対処するために、ロボット制御システムが、カメラキャリブレーションからのカメラキャリブレーション情報がもはや十分に正確でない時点を検出する検証を自動的に実行することができる。そのような条件を検出することにより、カメラの特性の変化に関する指標 (indication) を与えることができる。その検証が、カメラキャリブレーション情報がもはや十分に正確でないことを検出する場合には、ロボット制御システムは、カメラキャリブレーションを再び実行して、カメラのより最新の単数又は複数の特性を反映することができる、更新されたカメラキャリブレーション情報を特定することができる。更新されたカメラキャリブレーション情報を用いて、ロボットアームの配置、又はロボットの動作の何らかの他の態様を制御することができる。したがって、カメラキャリブレーションの自動検証及び／又はカメラキャリブレーションの更新を実行して、カメラに関連付けられる1つ以上の特性についての正確な情報に基づいてロボットが動作するのを確実にする。

【0010】

本明細書の実施形態の一態様は、カメラによって取り込まれた参照画像とカメラによって取り込まれた検証画像とを比較することによってカメラに関するカメラキャリブレーションを検証することに関する。場合によっては、参照画像は、物体が早期の時点において特定の位置にあるときに取り込まれた物体の画像とすることができる、検証画像は、同じ位置において後の時点において取り込まれたその物体の画像とすることができる。検証は、偏差が或る特定の閾値を超えるか否か等の、参照画像と検証画像との間の偏差が大きすぎるか否かを判断することができる。いくつかの実施態様において、物体は検証記号とすることができる。より具体的には、ロボットアーム又はロボットの他の構成要素が、カメラキャリブレーションを検証するために使用される検証記号を有することができる。参照画像及び検証画像はいずれも、検証記号を取り込むか、又は別 の方法で含むことができ、ロボット制御システムは、参照画像内の検証記号の外観を検証画像内の検証記号の外観と比較することによって2つの画像を比較することができる。例えば、ロボット制御システムが、特定の時点においてカメラキャリブレーション情報を生成するカメラキャリブレーションを実行した後に、ロボット制御システムは、検証記号をカメラの視野（カメラのカメラ視野とも呼ばれる）内の1組の所定の位置まで動かすように、ロボットアームを（例えば、動作コマンドを介して）制御することができ、これらの位置は、検証のための1組の参照箇所として使用することができる。カメラは、1組の参照箇所において、検証記号のそれぞれの参照画像を取り込むことができる。場合によっては、参照画像は、カメラキャリブレーションが実行された直後に取り込むことができる。ロボットアームの動作、又はより具体的には、ロボットアームを動かすために使用される動作コマンドは、実行されたばかりのカメラキャリブレーションからのカメラキャリブレーション情報に基づくことができるか、又はカメラキャリブレーション情報から独立していることができる。場合によっては、参照画像は、ロボットがロボット操作（robot operation）を開始する前に取り込むことができる。参照画像が取り込まれた後に、ロボットは、作業を実行するためにロボット操作を開始する準備ができたと見なすことができ、ロボット制御システムは、例えば、カメラによって次に取り込まれる画像に基づいて、ロボットアームの位置決めを制御することができる。

【0011】

上記で言及されたように、参照画像は、次に取り込まれる検証画像と比較することができる。一実施形態において、検証画像は、ロボット制御システムによって検出される1つ以上の休止期間中に取り込むことができる。より具体的には、ロボット操作が開始すると、ロボットはロボット作業（robot task）を実行し始めることができる（例えば、荷物又は他の物体との相互作用による）。ロボットがロボット操作を実行しているとき、ロボッ

10

20

30

40

50

ト制御システムは、ロボットに関する1つ以上の休止期間を検出することができる。場合によっては、休止期間は、ロボット操作中にロボットがロボット作業を実行していない期間とすることができます。場合によっては、ロボット制御システムは、ロボットが相互作用する必要がある物体を検出するか、又は別の方法で予測するのに基づいて、ロボット操作をスケジューリングすることができ、ロボットが相互作用する必要がある物体が存在しないことを検出するか、又は別の方法で予測するのに基づいて、休止期間を検出することができる。

【0012】

休止期間（複数の場合もある）中に、ロボット制御システムは、ロボットアーム又はロボットの他の構成要素を（例えば、動作コマンドを介して）参照箇所まで動かし、各参照箇所において、それぞれの検証画像を（例えば、カメラコマンドを介して）取り込むように制御することができる。ロボットが、その上に配置される検証記号を有する場合、ロボット制御システムは、より具体的には、検証記号を参照箇所まで動かし、検証画像を取り込むようにロボットアームを制御することができる。その後、ロボット制御システムは、それぞれの参照箇所においてそれぞれの検証画像が対応する参照画像からどれだけ外れるかを判断することができる。場合によっては、検証画像とそれぞれの参照画像との間の偏差は、偏差パラメーターとして表すことができる。偏差パラメーターの値（偏差パラメーター値とも呼ばれる）が偏差パラメーターに関して規定された閾値（規定された偏差閾値と呼ばれる場合もある）を超える場合には、ロボット制御システムは、更なるカメラキャリブレーションを実行して、カメラに関する更新されたカメラキャリブレーション情報を特定することができる。偏差パラメーターの値が規定された偏差閾値を超えるとき、この条件は、古いカメラキャリブレーション情報を使用すると、結果としてロボット操作に望ましくない量の誤差が生じる恐れがあることを示すことができる。したがって、場合によつては、更なるキャリブレーションが実行される間、ロボット操作は中断又は中止される場合がある（中断は別の休止期間と見なすことができる）。更なるキャリブレーションが完了した後に、新たな1組の参照画像を取り込むことができ、更新されたカメラキャリブレーション情報を用いてロボット操作を継続することができる。後続の休止期間（複数の場合もある）中に、新たな1組の検証画像を取り込むことができ、ロボット制御システムは、新たな1組の参照画像を新たな1組の検証画像と比較することによって、更なるカメラキャリブレーションの検証を実行することができる。

【0013】

上記で言及されたように、偏差パラメーターの値が規定された偏差閾値を超えるとき、ロボット制御システムは、更なるカメラキャリブレーションを実行することができる。偏差パラメーターの値が偏差閾値を超えない場合には、ロボット制御システムが更なるキャリブレーションを実行することなく、休止期間後にロボット操作を継続することができる。このシナリオにおいて、カメラは、後続の休止期間（複数の場合もある）中にそれぞれの参照箇所において新たな1組の検証画像を取り込むことができる。新たな1組の検証画像が取り込まれると、ロボット制御システムは、それぞれの参照箇所において新たな1組の検証画像がそれとの間の偏差を特定することによって、カメラキャリブレーションの検証を再び実行することができる。

【0014】

上記で言及されたように、ロボットアームは、その上に配置される、リングパターン等の検証記号を有することができ、検証記号は、参照画像及び検証画像によって取り込まれる場合があるか、又は別の方法でそれらの画像内に含まれる場合がある。一実施形態において、ロボット制御システムは、参照画像内に検証記号が現れるそれぞれの位置に基づいて、かつ検証画像内に検証記号が現れるそれぞれの位置に基づいて、参照画像とそれぞれの検証画像との間の偏差を特定することができる。例えば、ロボット制御システムは、参照箇所ごとに参照画像座標を特定することができる。特定の箇所に関する参照画像座標は、検証記号がその参照箇所に配置されたときに取り込まれた参照画像内に検証記号が現れる座標とすることができます。より具体的には、参照画像座標は特定の参照箇所に関連付け

10

20

30

40

50

ることができ、その参照箇所に検証記号が配置されたときにカメラによって取り込まれた参照画像内に検証記号が現れる画像座標を指すことができる。上記の例において、画像座標は、ピクセル座標等の、画像内の座標を指す場合がある。ロボット制御システムが、その後、特定の参照箇所に検証記号を再び配置し、対応する検証画像を取得すると、ロボット制御システムは、検証画像座標を特定することができる。また、検証画像座標も参照箇所に関連付けることができ、検証記号が参照箇所に配置されたときにカメラによって取り込まれた検証画像内に検証記号が現れる画像座標（例えば、ピクセル座標）を指すことができる。ロボット制御システムは、特定の参照箇所に関連付けられる参照画像座標を、同じ参照箇所に関連付けられる検証画像座標と比較することができる。この比較は、検証画像及び参照画像が取り込まれた参照箇所ごとに行うことができる。

10

【0015】

一例において、参照画像内に検証記号が現れる参照画像座標は、参照画像内の検証記号の中心の座標とすることができる（参照画像内の検証記号の中心座標とも呼ばれる）。同様に、検証画像内に検証記号が現れる検証画像座標は、検証画像内の検証記号の中心の座標とすることができる（検証画像内の検証記号の中心座標とも呼ばれる）。対応する検証画像が取り込まれたときにロボットアーム及び／又は検証記号が位置した参照箇所ごとに、ロボット制御システムは、参照箇所に関連付けられる参照画像座標と、同じ参照箇所に関連付けられる検証画像座標との間の偏差を特定することができる。ロボットアーム及び／又は検証記号が複数の参照箇所に配置されてきた場合には、ロボット制御システムは、複数の参照箇所に関して、それぞれの参照画像座標とそれぞれの検証画像座標との間のそれぞれの偏差量を特定することができる。ロボット制御システムは更に、参照箇所ごとの参照画像座標とそれぞれの検証画像座標との間のそれぞれの偏差量に基づいて、偏差パラメーターの値を特定することができる。

20

【0016】

一例において、検証記号内の複数の形状のそれぞれの中心が同じ、又は実質的に同じ位置にあるように、検証記号は互いに同心である複数の形状を含むことができる。例えば、検証記号は、2つ以上の同心円を含むリングパターンとすることができる。場合によっては、検証記号の参照画像座標が参照画像内の検証記号の中心座標である場合には、ロボット制御システムは、参照画像内の複数の形状のそれぞれの中心座標に基づいて、検証記号の中心座標を特定することができ、特定の形状の中心座標は、その形状の中心の座標である。検証記号がリングパターンである場合には、参照画像内のリングパターンを形成する第1の円の中心座標と、リングパターンを形成する第2の円の中心座標との平均として、参照画像内のリングパターンの中心座標を特定することができる。同様に、検証画像内の検証記号の中心座標は、検証画像内の検証記号を形成する複数の形状のそれぞれの中心座標に基づいて特定することができる。場合によっては、複数の形状を用いて、検証記号を形成することにより、検証の精度を改善することができる。例えば、1つの画像内の複数の形状のそれぞれの中心座標を用いて、検証記号の中心座標を特定することにより、画像ノイズに対する検証のロバストネスを改善することができる。より具体的には、検証記号の画像が画像ノイズを含む場合には、画像ノイズによって、ロボット制御システムが検証記号の特定の形状の中心座標を検出する精度が低下する場合がある。しかしながら、その形状の中心座標が別の形状の中心座標と平均され、検証記号の中心座標が特定される場合には、平均した中心座標は、画像ノイズの影響を低減することができる。結果として、検証記号の中心座標を特定する際の精度を改善することができる。

30

【0017】

一例において、検証記号はそれぞれ色が異なる複数の領域を有することができ、複数の領域のそれぞれの面積が、識別できる規定された比を有することができる。例えば、検証記号は、第1の色（例えば、黒）を有する第1の領域と、第2の色（例えば、白）を有する第2の領域とを有することができ、第1の領域の面積と第2の領域の面積との比が規定されるか、又は別の方法で既知である。識別できる比は、画像がキャリブレーションパターンのドット等の他の特徴を取り込むか、又は別の方法で含む場合には特に、画像内の検

40

50

証記号を識別するのを容易にすることができます。例えば、検証記号を動かしているロボットアームが、ロボットアーム上に配置されるキャリブレーションパターンを有する場合もある。ロボット制御システムは、その比を用いて、検証記号と、キャリブレーションパターンのドットとを区別することができる。より具体的には、検証記号の複数の領域の面積の比が識別できる比として規定されるので、ロボット制御システムは、規定された比に基づいて、画像内の検証記号を識別することができる。画像内に現れる検証記号の識別中に、ロボット制御システムは、規定された比に基づいて、検証記号と、キャリブレーションパターン又は他の特徴とを区別することができる。場合によっては、検証記号は、それぞれ異なる色の複数の領域を有し、複数の領域のそれぞれの面積間に規定された比を有する画像の部分として、その画像内で識別することができる。ロボット制御システム又は他のシステム若しくはデバイスが、画像の特定の部分が、それぞれ色が異なる複数の領域を有しないと判断する場合には、又は複数の領域のそれぞれの面積が規定された比とは異なる比を有すると判断する場合には、ロボット制御システムは、画像の部分が検証記号でないと判断することができる。10

【0018】

一例において、ロボット制御システムは、ロボットの周囲の温度に基づいて、検証を実行することができる。例えば、ロボット制御システムは、温度に基づいて、規定された偏差閾値を調整する（すなわち、偏差閾値に関する新たな値を規定する）ことができる。例えば、或る材料が温度の影響を受けやすい場合があり、及び／又は温度に応じて膨張／収縮する場合があるので、温度はカメラ内、及び／又はロボット内の種々の部品に影響を及ぼす場合がある。温度の変化によって、カメラの固有パラメーター（複数の場合もある）が変化する場合があり、及び／又はカメラとその外部環境との間の関係が変化する場合がある。一実施形態において、偏差閾値は、温度が規定範囲外にあるときに第1の値を有するように設定することができ、一方、偏差閾値は、温度が規定範囲内にあるときに、第1の値より低い第2の値を有するように設定することができる。例えば、温度が規定された正常動作温度範囲内（例えば、室温の10度以内に）あるとき、偏差閾値は、第1の値とすることができる。温度が正常動作温度範囲外にあるとき、偏差閾値は、第1の値より低い第2の値を有することができる。正常動作温度範囲外の温度では、カメラに、又はカメラと外部環境との関係に変化が生じる可能性が高くなる場合があり、それゆえ、古いカメラキャリブレーション情報でロボットを動作させる際に誤差が生じる可能性が高くなる場合があるので、温度が正常動作範囲外にあるときに、更なるカメラキャリブレーションをより容易にトリガーするために、第2の値は第1の値より低くすることができる。20

【0019】

一実施形態において、カメラキャリブレーションの検証は、単一の参照箇所にのみ頼る場合がある。代替的には、カメラキャリブレーションの検証は、複数の参照箇所に頼ることができる。参照箇所は、カメラ視野内の任意の位置とすることができますか、又は特定の規定された位置とすることができます。例えば、参照箇所は、カメラに対して凹形である少なくとも1つの仮想球の表面上の位置として規定することができる。このシナリオにおける各参照箇所において、検証記号が、カメラに面するときに少なくとも1つの仮想球の表面に対して接線方向に位置決めされるように、検証記号を位置決めするようにロボットアームを制御することができる。この位置決めによれば、検証記号をカメラによって真正面から、より良好に撮影できるか、又は別の方法で取り込めるようになる場合がある（検証記号がカメラの真正面を向く）ので、検証記号の画像が、検証記号の斜視図ではなく、平面図に近くなる。例えば、検証記号がリングパターンである場合には、リングパターンを仮想球の表面に対して接線方向に位置決めすることによって、結果として生じるリングパターン画像が、橢円形に見えるのではなく、依然として円形に見えるようにすることができる。結果として生じる画像は、（リングパターンが画像内で橢円形に見えるシナリオに対して）少ない射影ひずみを示す場合があるか、又は全く射影ひずみを示さない場合がある。射影ひずみがないことは、リングパターンの中心座標の正確な特定を助長することができる。場合によっては、参照箇所は、カメラに対して全て凹形である複数の仮想球の中304050

に分割することができる。複数の仮想球は共通の中心を共有することができ、異なるサイズとすることができる、それにより、各仮想球は、カメラからそれぞれ異なる距離を有する球面を有する。場合によっては、カメラは、全ての仮想球のための共通の中心とすることができます。

【 0 0 2 0 】

図 1 A は、自動カメラキャリブレーション及びカメラキャリブレーションの自動検証を実行するロボット運用システム 100 (システム 100 とも呼ばれる) のブロック図を示す。ロボット運用システム 100 は、ロボット 150 と、ロボット制御システム 110 (ロボットコントローラーとも呼ばれる) と、カメラ 170 とを含む。一実施形態において、システム 100 は倉庫内に、製造工場内に、又は他の施設内に位置することができる。
ロボット制御システム 110 は、後に更に詳細に論じられるカメラキャリブレーションを実行し、カメラキャリブレーション情報を特定するように構成することができ、カメラキャリブレーション情報は、倉庫内で荷物を持ち上げる等のロボット操作を実行するようにロボット 150 を制御するために後に使用される。ロボット制御システム 110 は、同じく後に更に詳細に論じられるカメラキャリブレーション検証を実行し、カメラキャリブレーション情報が依然として十分に正確であるか否かを検証するように更に構成することができる。場合によっては、ロボット制御システム 110 は、カメラキャリブレーションを実行し、カメラキャリブレーション情報に基づいて、ロボット操作を実行するように、ロボット 150 を制御するように構成される。場合によっては、ロボット制御システム 110 は、ロボット 150 及びカメラ 170 と通信する単一のデバイス (例えば、単一のコンソール又は単一のコンピューター) を形成することができる。場合によっては、ロボット制御システム 110 は複数のデバイスを含むことができる。

10

20

【 0 0 2 1 】

場合によっては、ロボット制御システム 110 は、カメラキャリブレーション及び / 又はカメラキャリブレーションの検証を実行する専用システムとすることができる、最新のカメラキャリブレーション情報を別の制御システム (別のコントローラーとも呼ばれる、図示せず) に通信することができ、その後、別の制御システムが、最新のカメラキャリブレーション情報に基づいて、ロボット操作を実行するように、ロボット 150 を制御する。ロボット 150 は、カメラ 170 によって取り込まれた画像に基づいて、かつカメラキャリブレーション情報に基づいて位置決めすることができる。より具体的には、ロボット制御システム 110 は、一実施形態において、画像に基づいて、かつカメラキャリブレーション情報に基づいて、動作コマンドを生成し、動作コマンドをロボット 150 に通信し、そのロボットアームの動作を制御するように構成することができる。場合によっては、ロボット制御システム 110 は、ロボット操作時の休止期間中にカメラキャリブレーションの検証を実行するように構成される。場合によっては、ロボット制御システム 110 は、ロボット 150 でロボット操作を実行している間に検証を実行するように構成される。

30

【 0 0 2 2 】

一実施形態において、ロボット制御システム 110 は、有線通信又はワイヤレス通信を介して、ロボット 150 及びカメラ 170 と通信するように構成することができる。例えば、ロボット制御システム 110 は、RS - 232 インターフェース、ユニバーサルシリアルバス (USB) インターフェース、イーサネット (登録商標) インターフェース、Bluetooth (登録商標) インターフェース、IEEE 802.11 インターフェース又はその任意の組み合わせを介して、ロボット 150 及び / 又はカメラ 170 と通信するように構成することができる。一実施形態において、ロボット制御システム 110 は、ペリフェラルコンポーネントインターフェース (PCI) バス等のローカルコンピューターバスを介して、ロボット 150 及び / 又はカメラ 170 と通信するように構成することができる。

40

【 0 0 2 3 】

一実施形態において、ロボット制御システム 110 は、ロボット 150 とは別に存在することができ、上記で論じられたワイヤレス接続又は有線接続を介して、ロボットと通信

50

することができる。例えば、ロボット制御システム 110 は、有線接続又はワイヤレス接続を介してロボット 150 及びカメラ 170 と通信するように構成されるスタンドアローンコンピューターとすることができます。一実施形態において、ロボット制御システム 110 は、ロボット 150 と一体の構成要素とすることができます、上記で論じられたローカルコンピューターバスを介して、ロボット 150 の他の構成要素と通信することができる。場合によっては、ロボット制御システム 110 は、ロボット 150 のみを制御する専用制御システム（専用コントローラーとも呼ばれる）とすることができます。他の場合には、ロボット制御システム 110 は、ロボット 150 を含む、複数のロボットを制御するように構成することができる。一実施形態において、ロボット制御システム 110、ロボット 150 及びカメラ 170 は同じ施設（例えば、倉庫）内に位置する。一実施形態において、ロボット制御システム 110 は、ロボット 150 及びカメラ 170 から遠隔とすることができます、ネットワーク通信（例えば、ローカルエリアネットワーク（LAN）接続）を介して、ロボット 150 及びカメラ 170 と通信するように構成することができる。10

【 0 0 2 4 】

一実施形態において、ロボット制御システム 110 は、カメラ 170 から、ロボット 150 上（例えば、ロボットのロボットアーム上）に配置されるキャリブレーションパターン 160 及び / 又は検証記号 165 の画像を読み出す（retrieve）か、又は別の方法で受信するように構成することができます。場合によっては、ロボット制御システム 110 は、そのような画像を取り込むように、カメラ 170 を制御するように構成することができます。例えば、ロボット制御システム 110 は、カメラ 170 にカメラ 170 の視野（カメラ視野とも呼ばれる）の画像を取り込ませるカメラコマンドを生成し、有線接続又はワイヤレス接続を介して、カメラコマンドをカメラ 170 に通信するように構成することができます。同じコマンドによって、カメラ 170 に、ロボット制御システム 110、又はより一般的には、ロボット制御システム 110 によってアクセス可能な記憶デバイスに画像を通信させることもできる。代替的には、ロボット制御システム 110 は、カメラコマンドを受信すると、カメラ 170 が取り込んだ画像（複数の場合もある）をロボット制御システム 110 に通信する別のカメラコマンドを生成することができます。一実施形態において、カメラ 170 は、ロボット制御システム 110 からのカメラコマンドを必要とすることなく、定期的に、又は規定されたトリガー条件に応答して、自らのカメラ視野内の画像を自動的に取り込むことができる。そのような実施形態において、カメラ 170 は、ロボット制御システム 110 からのカメラコマンドを用いることなく、ロボット制御システム 110 に、又はより一般的にはロボット制御システム 110 によってアクセス可能な記憶デバイスに画像を自動的に通信するように構成することもできる。20

【 0 0 2 5 】

一実施形態において、ロボット制御システム 110 は、ロボット制御システム 110 によって生成され、有線接続又はワイヤレス接続を介してロボット 150 に通信される動作コマンドを介して、ロボット 150 の動作を制御するように構成することができます。ロボット 150 は、ロボット 150 上にキャリブレーションパターン 160 及び検証記号 165 の一方又は両方を有するように構成することができます。例えば、図 1B は、図 1A のキャリブレーションパターン 160 が存在しない場合の、ロボット 150 上に検証記号 165 が配置されるロボット運用システム 100A を示す。一例において、検証記号 165 は、ロボット 150 の一部とすることができます、ロボット 150 上に永久に配置することができます。例えば、検証記号 165 は、ロボット 150 上に永久に塗布することができるか、又はロボット 150 に永久に取り付けられるステッカー又はボードの一部とすることができます。別の例において、検証記号 165 は、ロボット 150 に着脱可能である別の構成要素とすることができます。検証記号 165 は、ロボット 150 上に永久に配置することができるか、又はロボット 150 に着脱可能である別の構成要素とすることができます。40

【 0 0 2 6 】

一実施形態において、ロボット 150 を制御するためにシステム 100 において使用される唯一の画像が、カメラ 170 によって取り込まれた画像である場合がある。別の実施50

形態において、システム 100 は、複数のカメラを含むことができ、ロボット 150 は、複数のカメラからの画像によって制御することができる。

【 0 0 2 7 】

図 1 B は、ロボット制御システム 110 がユーザーインターフェースデバイス 180 と通信する実施形態を更に示す。ユーザーインターフェースデバイス 180 は、ロボット 150 が位置する倉庫にいる従業員等の、ロボット 150 の運用者とのインターフェースを構成することができる。ユーザーインターフェースデバイス 180 は、ロボット 150 の運用に関連する情報を表示するユーザーインターフェースを提供する、例えば、タブレットコンピューター又はデスクトップコンピューターを含むことができる。上記で言及されたように、ロボット制御システム 110 は、偏差パラメーター値が規定された偏差閾値を超える時点を検出するように構成することができる。一実施形態において、ユーザーインターフェースデバイス 180 は、偏差パラメーター値が規定された偏差閾値を超えることを運用者に通知する警報又は他の警告を与えることができる。
10

【 0 0 2 8 】

図 1 C は、ロボット制御システム 110 のブロック図を示す。ブロック図に示されるように、ロボット制御システム 110 は、制御回路 111 と、通信インターフェース 113 と、非一時的コンピューター可読媒体 115（例えば、メモリ）とを含む。一実施形態において、制御回路 111 は 1 つ以上のプロセッサ、プログラマブル論理回路（PLC）又はプログラマブル論理アレイ（PLA）、フィールドプログラマブルゲートアレイ（FPGA）、特定用途向け集積回路（ASIC）、又は任意の他の制御回路を含むことができる。
20

【 0 0 2 9 】

一実施形態において、通信インターフェース 113 は、図 1 A 又は図 1 B のカメラ 170 及び図 1 A 又は図 1 B のロボット 150 と通信するように構成される 1 つ以上の構成要素を含むことができる。例えば、通信インターフェース 113 は、有線プロトコル又はワイヤレスプロトコルを介して通信を実行するように構成される通信回路を含むことができる。一例として、通信回路は、RS-232 ポートコントローラー、USB コントローラー、イーサネットコントローラー、Blue tooth（登録商標）コントローラー、PCI バスコントローラー、任意の他の通信回路、又はその組み合わせを含むことができる。
30
一実施形態において、制御回路 111 は、動作コマンド（例えば、モーター動作コマンド）を生成し、動作コマンドを通信インターフェース 113 に出力するように構成することができる。この実施形態において、通信インターフェース 113 は、ロボット 150 のロボットアーム又は他の構成要素の動作を制御するために、動作コマンドをロボット 150 に通信するように構成することができる。一実施形態において、制御回路 111 は、カメラコマンドを生成し、カメラコマンド（例えば、画像取込コマンド）を通信インターフェース 113 に出力するように構成することができる。この実施形態において、通信インターフェース 113 は、カメラの視野内の物体の画像を撮影するか、又は別の方法で取り込むようにカメラ 170 を制御するために、カメラコマンドをカメラ 170 に通信するように構成することができる。一実施形態において、通信インターフェース 113 は、カメラ 170 から画像又は他のデータを受信するように構成することができ、制御回路 111 は、通信インターフェース 113 から画像を受信するように構成することができる。
40

【 0 0 3 0 】

一実施形態において、非一時的コンピューター可読媒体 115 はコンピューターメモリを含むことができる。コンピューターメモリは、例えば、ダイナミックランダムアクセスメモリ（DRAM）、半導体集積メモリ（solid state integrated memory）、及び／又はハードディスクドライブ（HDD）を含むことができる。場合によっては、カメラキャリブレーションは、非一時的コンピューター可読媒体 115 上に記憶されるコンピューター実行可能命令（例えば、コンピューターコード）を通して実施することができる。そのような場合に、制御回路 111 は、コンピューター実行可能命令を実行し、カメラキャリブレーションの検証（例えば、図 4 A、図 4 B 及び図 9 に示されるステップ）を実行する
50

ように構成される 1 つ以上のプロセッサを含むことができる。

【 0 0 3 1 】

図 1 D は、1 つ以上のレンズ 171 と、イメージセンサー 173 と、通信インターフェース 175 とを含むカメラ 170 のブロック図を示す。通信インターフェース 175 は、図 1 A、図 1 B 又は図 1 C のロボット制御システム 110 の図 1 C の通信インターフェース 113 に類似とすることができる。一実施形態において、1 つ以上のレンズ 171 は、カメラ 170 の外部から到来している光をイメージセンサー 173 上に合焦することができる。一実施形態において、イメージセンサー 173 は、それぞれのピクセル強度値を介して画像を表すように構成されるピクセルのアレイを含むことができる。イメージセンサー 173 は、電荷結合素子 (CCD) センサー、相補型金属酸化膜半導体 (CMOS) センサー、量子イメージセンサー (QIS : quanta image sensor) 又は任意の他のイメージセンサーを含むことができる。
10

【 0 0 3 2 】

上記で言及されたように、カメラによって取り込まれた画像に基づいて、ロボットの制御を助長するために、カメラキャリブレーションを実行することができる。例えば、図 2 はロボット運用システム 200 (システム 200 とも呼ばれる) を示しており、そのシステムでは、画像を用いて、倉庫内の物体 292 を持ち上げる操作等の、ロボット操作を実行するようにロボット 250 を制御する。より具体的には、システム 200 は、図 1 A のシステム 100 の一実施形態とることができ、カメラ 270、ロボット 250 及びロボット制御システム 110 を含む。カメラ 270 は、図 1 A、図 1 B 又は図 1 D のカメラ 170 の一実施形態とことができ、ロボット 250 は、図 1 A 又は図 1 B のロボット 150 の一実施形態とができる。カメラ 270 は、倉庫内のコンベヤベルト 293 上に配置される物体 292 (例えば、出荷するための荷物) の画像を取り込むように構成することができ、ロボット制御システム 110 は、物体 292 を持ち上げるように、ロボット 250 を制御するように構成することができる。コンベヤベルト 293 上に 1 つ以上の物体が存在するとき、ロボット制御システム 110 は、物体を持ち上げるロボット 250 の動作をスケジューリングするように構成することができる。ロボット制御システム 110 は、場合によっては、コンベヤベルト 293 上に物体が存在しない時点、又はコンベヤベルト 293 上の、ロボット 250 の届く範囲内に物体が存在しない時点を検出することによって、ロボット操作のための休止期間を検出するように構成することができる。
20

【 0 0 3 3 】

図 2 の実施形態において、ロボット 250 は、ベース 252 と、ベース 252 に対して移動可能であるロボットアームとを有することができる。より具体的には、ロボットアームは複数のリンク 254A ~ 254E と、リンク 254E に取り付けられるロボットハンド 255 とを備えることができる。複数のリンク 254A ~ 254E は互いに対して回動可能とすることができます、及び / 又は互いに対して直線的に移動可能である直動リンク (prismatic links) とすることができます。図 2 は、物体を持ち上げるために使用されるロボット 250 に関わるため、ロボットハンド 255 は、物体 292 を掴むために使用される把持部 255A 及び 255B を含むことができる。一実施形態において、ロボット制御システム 110 は、リンク 254A ~ 254E のうちの 1 つ以上を回動させる動作コマンドを通信するように構成することができる。動作コマンドは、モーター動作コマンド等のローレベルコマンド、又はハイレベルコマンドとすることができる。ロボット制御システム 110 からの動作コマンドがハイレベルコマンドである場合には、ロボット 150 は、ハイレベルコマンドをローレベルコマンドに変換するように構成することができる。
30

【 0 0 3 4 】

一実施形態において、カメラキャリブレーションから特定されるカメラキャリブレーション情報は、カメラ 270 とロボット 250 との間の関係、又はより具体的には、カメラ 270 と、ロボット 250 のベース 252 に対して静止しているワールド点 (world point) 294 との間の関係を記述する。ワールド点 294 は、ロボット 250 が位置する世
40

界又は他の環境を表すことができ、ベース 252 に対して静止している任意の仮想点 (imaginary point) とすることができる。言い換えると、カメラキャリプレーション情報は、カメラ 270 とワールド点 294 との間の関係を記述する情報を含むことができる。一実施形態において、その関係は、ワールド点 294 に対するカメラ 270 の位置と、ロボット 250 のための参照方向に対するカメラ 270 の向きとを指すことができる。カメラ 270 とワールド点 294 との間の上記の関係はカメラ - ワールド関係と呼ばれる場合があり、カメラ 270 とロボット 250 との間の関係を表すために使用することができる。場合によっては、カメラ - ワールド関係を用いて、カメラ 270 と物体 292 との間の関係（カメラ - 物体関係とも呼ばれる）、及び物体 292 とワールド点 294 との間の関係（物体 - ワールド関係とも呼ばれる）を特定することができる。カメラ - 物体関係及び物体 - ワールド関係を用いて、物体 292 を持ち上げるようにロボット 250 を制御することができる。

【 0 0 3 5 】

一実施形態において、カメラキャリプレーション情報は、カメラ270の固有パラメーターを記述することができ、固有パラメーターは、その値がカメラ270の位置及び向きから独立している任意のパラメーターとすることができます。固有パラメーターは、カメラの焦点距離、カメラのイメージセンサーのサイズ、又はカメラ270によって導入されるレンズひずみの影響等の、カメラ270の特性を特徴付けることができる。

【 0 0 3 6 】

ロボット350の一例の詳細な構造を示す一例が図3に示され、図3は、カメラ370及びロボット350と通信するロボット制御システム110を含むロボット運用システム300を示す。カメラ370は、図1A、図1B、図1D又は図2のそれぞれカメラ170/270の一実施形態とすることができます、ロボット350は、図1A、図1B又は図2のそれぞれロボット150/250の一実施形態とすることができます。カメラ370は、カメラ視野330内の画像を取り込むことができる場合がある。ロボット350は、ベース352と、ベース352に対して移動可能であるロボットアームとを含むことができる。ロボットアームは、リンク354A～354E等の1つ以上のリンクと、ロボットハンド355とを含む。一実施形態において、リンク354A～354Eは互いに回動可能に取り付けることができる。例えば、リンク354Aは、ジョイント356Aを介して、ロボットベース352に回動可能に取り付けることができる。残りのリンク354B～354Eは、ジョイント356B～356Eを介して、互いに回動可能に取り付けることができる。一実施形態において、ベース352を用いて、ロボット350を、例えば、取付フレーム又は取付面（例えば、倉庫の床）に取り付けることができる。一実施形態において、ロボット350は、リンク354A～354Eを回動させることによってロボットアームを動かすように構成される複数のモーターを含むことができる。例えば、モーターのうちの1つは、図3において破線矢印で示されるように、ジョイント356A及びベース302に対して第1のリンク354Aを回動させるように構成することができる。同様に、複数のモーターのうちの他のモーターも、リンク354B～354Eを回動させるように構成することができる。複数のモーターはロボット制御システム110によって制御する。

ことができる。図3は、第5のリンク354E上に固定されるように配置されるロボットハンド355を更に示す。ロボットハンド355は、その上にキャリブレーションパターン320を有することができ、ロボット制御システム110がカメラ370を介してキャリブレーションパターン320の画像を取り込み、キャリブレーションパターン320の取り込まれた画像に基づいて、カメラキャリブレーションを実行できるようにする。例えば、ロボット制御システム110は、キャリブレーションパターン320の画像（キャリブレーション画像とも呼ばれる）を取り込むためにカメラ370が使用されているときに、キャリブレーションパターン320がカメラ視野330内に存在することができ、カメラ370から視認可能であるように、ロボットアームを動かすことができる。カメラキャリブレーションが実行された後に、ロボットハンド355を取り外し、後に更に詳細に論じられるように、その上に配置される検証記号を有するロボットハンド等の別のロボット

ハンドと交換することができる。

【0037】

上記で言及されたように、一実施形態によれば、カメラキャリプレーション検証は、参照画像内に検証記号が現れる参照画像座標と、検証画像内に検証記号が現れる検証画像座標とを比較することを含むことができる。その比較は、検証画像座標と参照画像座標との間の偏差を特定することができ、その偏差を用いて、更なるカメラキャリプレーションを実行すべきか否かを判断することができる。検証画像は、ロボット操作の休止期間中に取り込むことができる。図4A及び図4Bは、一実施形態による、カメラキャリプレーションの検証の方法400を示すフロー図を示す。一実施形態において、方法400は、ロボット制御システム110の制御回路111によって実行することができる。上記で言及されたように、ロボット制御システム110は、図1Cの通信インターフェース113を含むことができ、通信インターフェースは、図1A又は図1Bのロボット150、及び図1A、図1B又は図1Dのカメラ170と通信するように構成される。一実施形態において、ロボットはベース（例えば、図2のベース252又は図3のベース352）と、その上に検証記号が配置されるロボットアーム（例えば、図2又は図3のロボットアーム）とを有することができ、ロボットアームはベースに対して移動可能である。
10

【0038】

方法400が実行される例示的な環境が図5A及び図5Bに示されており、その図は、カメラ570及びロボット550と通信するロボット制御システム110をそれぞれ含むロボット運用システム500/500Aを示す。カメラ570は、図1、図2又は図3のそれぞれカメラ170/270/370の一実施形態とすることができ、ロボット550は、図1A、図1B、図2又は図3のそれぞれロボット150/250/350の一実施形態とすることができる。ロボット550は、ベース552と、ベース552に対して移動可能であるロボットアームとを含むことができる。ロボットアームは、リンク554A～リンク554E等の1つ以上のリンクを含む。一実施形態において、リンク554A～554Eは互いに回動可能に取り付けることができる。例えば、リンク554Aは、ロボットベース552に回動可能に取り付けることができる。残りのリンク554B～554Eは、複数のジョイントを介して、互いに回動可能に取り付けることができる。一実施形態において、ベース552を用いて、ロボット550を、例えば、取付フレーム又は取付面（例えば、倉庫の床）に取り付けることができる。ロボット550は、図3のロボット350と同じように動作することができる。例えば、ロボット550は、互いに対してもリンク554A～554Eを回動させることによってロボットアームを動かすように構成される複数のモーターを含むことができる。ロボットアームは、リンク554Eに取り付けられるロボットハンドを更に含むことができる。例えば、図5Aは、第1のロボットハンド555、第2のロボットハンド557及び第3のロボットハンド559を示し、それぞれ第5のリンク554Eに着脱可能とすることができます。ロボットハンド555/557/559は、コンベヤベルト573から物体（例えば、582A、582B、582C）を持ち上げるように構成される、例えば、把持部又は吸引デバイスを含むことができる。ロボットハンド555/557/559が第5のリンク554Eに取り付けられるとき、その取付は混在するように行うことができる。その着脱は手動で、又は自動的に実行することができる。一例において、第5のリンク554Eは、図5A及び図5Bに示されるように、第1のロボットハンド555に取り付けることができ、ロボット制御システム110は、第5のリンク554Eに第1のロボットハンド555を解放させて、第5のリンク554Eを第2のロボットハンド557に取り付けるように、ロボット550を制御することができる。別の実施形態では、第5のリンク554Eは、ロボットハンド（例えば、ロボットハンド559）に永久に取り付けることができる。
20
30
40

【0039】

一実施形態において、ロボット550は、その上に配置される検証記号530を有することができる。場合によっては、検証記号530はロボット550上に永久に配置することができる。場合によっては、検証記号530は、リンク554A～554Eのうちの1
50

つ等のロボット 550 のロボットアーム上に、又はロボットハンド上に配置することができる。例えば、図 5A は、第 1 のロボットハンド 555 及び第 3 のロボットハンド 559 上に配置される検証記号 530 を示し、一方、図 5B は、リンク 554E 上に配置される検証記号 530 を示す。検証記号 530 は、ロボット 550 上に直接塗布することができるか、又はステッカー又は平板等を介して、ロボット 550 に取り付けることができる。図 5A に示される例において、第 2 のロボットハンド 557 又は第 3 のロボットハンド 559 はそれぞれその上に配置されるキャリブレーションパターン 520 / 527 を有するので、それらのロボットハンドを用いて、カメラキャリブレーションを実行することができる、一方、第 1 のロボットハンド 555 又は第 3 のロボットハンド 559 はそれぞれその上に配置される検証記号 530 を有するので、それらのロボットハンドを用いて、カメラキャリブレーションの検証を実行することができる。10

【0040】

図 4A に戻ると、一実施形態において、方法 400 はステップ 401 から開始することができ、そのステップでは、制御回路 111 が、第 1 のカメラキャリブレーションを実行して、カメラ（例えば、図 1、図 2、図 3 又は図 5 のそれぞれカメラ 170 / 270 / 370 / 570）に関連付けられるカメラキャリブレーション情報を特定する。より具体的には、カメラキャリブレーション情報は、カメラに関するカメラキャリブレーション値を含むことができる。この実施形態において、制御回路 111 は、キャリブレーションパターンの画像（キャリブレーション画像とも呼ばれる）に基づいて、第 1 のカメラキャリブレーションを実行することができる。20

【0041】

例えば、第 1 のカメラキャリブレーションを実行するために、図 5A のロボット 550 は、キャリブレーションパターン 520 を有する第 2 のロボットハンド 557 に、又はキャリブレーションパターン 527 を有する第 3 のロボットハンド 559 に取り付けることができる。図 3 は、第 1 のカメラキャリブレーションを実行することができる類似の環境を示す。このステップ中に、カメラキャリブレーションを実行するためにそのキャリブレーションパターン 320 が使用される第 1 のロボットハンド 555 を、第 5 のリンク 554E から取り外すことができる。第 1 のカメラキャリブレーションは、ロボット操作を開始する前に実行することができる。例えば、ロボット操作は、第 1 のロボットハンド 555 がコンベヤベルト上の第 1 の物体 582A と相互作用する等のロボット作業から開始することができる。第 1 のカメラキャリブレーション中に、ロボット 550 は第 2 のロボットハンド 557 を備えることができる。ロボット制御システム 110 は、キャリブレーションパターン 520 をカメラ 570 のカメラ視野 510 内の種々の位置に動かし、そのような位置においてキャリブレーションパターン 520 のそれぞれの画像を取り込むように、動作コマンドを介して、ロボット 550 のロボットアームを制御することができる。ロボット制御システム 110 は、キャリブレーションパターン 520 の取り込まれた画像に基づいて、第 1 のカメラキャリブレーションを実行し、カメラ 570 に関するカメラキャリブレーション情報を特定することができる。一例において、カメラキャリブレーション情報は、カメラ 570 とロボット 550 との間の関係を記述する情報を含むことができる。一例において、カメラキャリブレーション情報は、カメラ 570 の固有パラメーターを記述することができる。カメラキャリブレーションは、2019年3月7日に出願の「METHOD AND DEVICE FOR PERFORMING AUTOMATIC CAMERA CALIBRATION FOR ROBOT CONTROL」と題する米国特許出願第 16 / 295,940 号（整理番号 M J 0021 U S 1）においてより詳細に論じられており、その内容全体が引用することにより本明細書の一部をなす。

【0042】

図 4A に戻ると、方法 400 はステップ 403 を更に含むことができ、そのステップでは、制御回路 111 が、ロボット制御システム 110 の通信インターフェース 113 に第 1 の動作コマンドを出力することによって、第 1 のカメラキャリブレーション中又は後に、検証記号（例えば、図 5 の 530）をカメラ（例えば、570）のカメラ視野（例えば40

、 510) 内の 1 つの位置に動かすようにロボットアームを制御する。通信インターフェース 113 は、ロボットアームが、第 1 のカメラキャリブレーション中又は後に、検証記号 (例えば、530) をカメラ視野 (例えば、510) 内のその位置に動かすために、ロボットに動作コマンドを通信するように構成することができる。また、動作コマンドによつて、ロボットアームは、検証記号をカメラ (例えば、570) に面するように、又はより一般的には、カメラから視認可能であるように、検証記号を向けることができる。その位置は、第 1 のカメラキャリブレーションの検証のための 1 つ以上の参照箇所のうちの 1 つの参照箇所として使用することができる。例えば、検証プロセスが経時的に検証記号の画像を取得するとき、制御回路 111 は、1 つ以上の位置を 1 つ以上の参照箇所として使用することができるよう、検証記号 (例えば、530) を同じ 1 つ以上の位置に絶えず位置決めするように、ロボットアームを制御することができる。さらに、ステップ 405 ~ 459 に関して後に説明されるように、検証プロセスは、検証記号の後の画像を、第 1 のカメラキャリブレーションが実行された直後に得られた画像等の、検証記号 (例えば、530) の 1 組の早期の画像と比較することができる。後の画像は検証画像として使用することができ、一方、後の画像が比較される画像は、参照画像として使用することができる。
10

【 0043 】

ステップ 405 において、制御回路 111 が、通信インターフェース 113 を介して、カメラ (例えば、170 / 270 / 370 / 570) から検証記号 (例えば、530) の画像を受信する (例えば、読み出す) ことができ、その画像は検証のための参照画像である。画像は、検証記号が参照箇所にあるか、又は参照箇所にあった間に、カメラによって取り込まれている場合がある。一実施形態において、最初に、通信インターフェース 113 がカメラから参照画像を受信することができ、その後、制御回路 111 が、通信インターフェース 113 から参照画像を受信することができる。一実施形態において、ステップ 405 は、制御回路 111 がカメラのためのカメラコマンドを生成することなく実行される。一実施形態において、ステップ 405 は、制御回路 111 がカメラコマンドを生成することと、通信インターフェース 113 を介してカメラにカメラコマンドを通信することとを含むことができる。カメラコマンドは、参照箇所において検証記号の画像を取り込むように、カメラを制御することができる。
20

【 0044 】

図 5A ~ 図 6B はステップ 403 及び 405 の態様を示す。図 5A の実施形態において、第 1 のカメラキャリブレーションが、例えば、第 2 のロボットハンド 557 を用いて実行された後に、第 2 のロボットハンド 557 を、その上に配置される検証記号 530 を有する第 3 のロボットハンド 559 と交換することができる。この例において、ロボット制御システム 110 は、検証記号 530 をカメラ 570 のカメラ視野 510 内の 1 つ以上の参照箇所に動かすように、ロボット 550 のロボットアームを (例えば、1 つ以上の動作コマンドを介して) 制御する。1 つ以上の参照箇所は、カメラ視野 510 内の任意の位置を含むことができるか、又は後に更に詳細に論じられるような、仮想球の表面上に配置される位置等の 1 組の 1 つ以上の特定の位置とすることができます。別の例では、図 5B の実施形態において、第 1 のカメラキャリブレーション中又は後に、ロボット制御システム 110 は、検証記号 530 をカメラ視野 510 内の 1 つ以上の参照箇所に動かすようにロボットアームを制御することができる。この例において、1 つ以上の参照箇所は、第 1 のカメラキャリブレーション中に検証記号 530 が (キャリブレーションパターン 520 とともに) 撮影された任意の位置を含むことができるか、又は第 1 のカメラキャリブレーションが実行された後に検証記号 530 が動かされた 1 組の 1 つ以上の特定の位置とすることができます。ロボット制御システム 110 は、第 1 のカメラキャリブレーションから得られるカメラキャリブレーション情報に基づいて、カメラ 570 からの指示によってこのステップにおいてロボット 550 のロボットアームの動作を制御することができるか、又はそのような指示を用いることなく動作を制御することができる。一実施形態において、参照箇所は、ローカル又はリモート記憶デバイス内に記憶され、読み出すことができる規定さ
30
40
50

れた位置とすることができます。参照箇所は、座標（例えば、直交座標）の形で、又はリンク 5 5 4 A ~ 5 5 4 E を回動させるためのモーターコマンドとして、又は何らかの他の様において記憶することができる。

【 0 0 4 5 】

一実施形態において、ロボットアームが検証記号（例えば、5 3 0）を動かす1つ以上の参照箇所は、複数の参照箇所を含むことができ、複数の参照箇所のそれぞれが、カメラに対して凹形である仮想球の表面上に配置される位置である。そのような実施形態において、制御回路 1 1 1 は、複数の参照箇所の各参照箇所において検証記号が仮想球の表面に對して接線方向に向くように動かすために、ロボットアームを制御するように更に構成することができる。例えば、図 6 A 及び図 6 B に示されるように、ロボット制御システム 1 1 0 は、検証記号 5 3 0 を参照箇所 6 1 0 A ~ 6 1 0 I に動かすように、ロボット 5 5 0 のロボットアームを制御することができ、参照箇所 6 1 0 A ~ 6 1 0 I のそれぞれにおいてそれぞれの参照画像を取り込むようにカメラ 5 7 0 を制御することができる。図 6 A 及び図 6 B の参照箇所 6 1 0 A ~ 6 1 0 I は、カメラ視野 5 1 0 内の複数の仮想球の中で分割することができる。参照箇所 6 1 0 A 及び 6 1 0 B は第 1 の仮想球 6 2 0 の第 1 の球面 6 2 1 上に配置することができ、ここで、第 1 の球面 6 2 1 はカメラ視野 5 1 0 内にある。参照箇所 6 1 0 C、6 1 0 D 及び 6 1 0 E は第 2 の仮想球 6 3 0 の第 2 の球面 6 3 1 上に配置することができ、ここで、第 2 の球面 6 3 1 はカメラ視野 5 1 0 内にある。参照箇所 6 1 0 F、6 1 0 G、6 1 0 H 及び 6 1 0 I は、第 3 の仮想球 6 4 0 の第 3 の球面 6 4 1 上に配置することができ、ここで、第 3 の球面 6 4 1 はカメラ視野 5 1 0 内にある。図 6 A 及び図 6 B に示されるように、第 1 の球面 6 2 1、第 2 の球面 6 3 1 及び第 3 の球面 6 4 1 はそれぞれ、カメラ 5 7 0 に対して凹形である。図 6 A 及び図 6 B の例は 3 つの球に基づく 3 つの球面を示すが、参照箇所を配置することができる異なる球面の数は、3つより多くすることも、少なくすることもできる。一実施形態において、カメラ 5 7 0 は、仮想球 6 2 0、6 3 0、6 4 0 のそれぞれの中心に存在することができる。

【 0 0 4 6 】

一実施形態において、図 6 A 及び図 6 B に示されるように、検証記号 5 3 0 が或る参照箇所に動かされるときに、ロボット制御システム 1 1 0 は、検証記号 5 3 0 を参照箇所が配置される球面に對して接線方向に位置決めするように、ロボット 5 5 0 のロボットアームを（例えば、動作コマンドを介して）制御することができる。例えば、図 6 B は、検証記号 5 3 0 が参照箇所 6 1 0 D の第 2 の球面 6 3 1 に對して接線方向にあることを示す。より詳細には、検証記号 5 3 0 は平面（例えば、ステッカー）上に配置することができ、検証記号 5 3 0 の平面が、参照箇所 6 1 0 D において第 2 の球面 6 3 1 に對して接線方向に向くことができる。

【 0 0 4 7 】

一実施形態において、制御回路 1 1 1 は、検証記号が参照箇所に動かされるときに、カメラの真正面を向くように検証記号（例えば、5 3 0）を動かすために、ロボットアームを制御するように構成される。例えば、図 6 A に示されるように、ロボット制御システム 1 1 0 は、検証記号 5 3 0 が参照箇所 6 1 0 D に動かされるときに、カメラ 5 7 0 の真正面を向くように検証記号 5 3 0 を動かすために、ロボット 5 5 0 のロボットアームを制御することができる。この例において、ロボット制御システム 1 1 0 は、検証記号 5 3 0 がカメラ 5 7 0 の真正面を向くように回動するように、ロボットハンド 5 5 5 を制御することができる。場合によっては、検証記号は、カメラ視野 5 1 0 において球面に對して接線方向に向くことによって、カメラ 5 7 0 の真正面を向くことができる。検証記号 5 3 0 がカメラ 5 7 0 の真正面を向くとき、カメラ 5 7 0 は、検証記号 5 3 0 を真正面から撮影できる場合があり、それにより、結果として生じる検証記号 5 3 0 の画像への斜視効果がないか、又は少ない。

【 0 0 4 8 】

一実施形態において、検証記号（例えば、5 3 0）は、第 1 の色を有する第 1 の領域と、第 2 の色を有する第 2 の領域とを含み、第 1 の領域の面積と第 2 の領域の面積との比が

10

20

30

40

50

規定され、ロボット制御システム 110 の非一時的コンピューター可読媒体（例えば、記憶デバイス）上に記憶される。そのような実施形態において、制御回路 111 は、規定された比に基づいて、参照画像又は検証画像内の検証記号を識別するように構成することができる。例えば、図 5C に示されるように、検証記号 530 は、リング状であり、第 1 の色を有する第 1 の領域 531（例えば、黒色領域）を含むことができ、第 1 の領域 531 によって包囲され、第 2 の色を有する第 2 の領域 533（例えば、白色領域）を含む。検証記号 530 内の黒色の第 1 の領域 531 の面積と白色の第 2 の領域 533 の面積との比は、識別できる規定値とすることができる。取り込まれた画像内の色を解析することによって、ロボット制御システム 110 は、その部分が円形領域を包囲するリング状領域であるか否かを判断し、リング状領域の面積と円形領域の面積との比が規定された比に一致するか否かを判断することによって、検証記号 530 に対応する画像の部分を識別できる場合がある。これにより、ロボット制御システム 110 は、検証記号 530 と画像内の取り込まれた他の特徴とを区別できるようになる場合がある。例えば、図 5A に示されるように、ロボット 550 は、キャリブレーションパターン 527 及び検証記号 530 の組み合わせを有する第 3 のロボットハンド 559 を利用するように設定することができる。この例において、参照画像は、検証記号 530 及びキャリブレーションパターン 527 の両方を示すことができる。この例において、キャリブレーションパターン 527 は、いかなるリングパターンも有しない場合があるか、又は上記で論じられた規定された比とは異なる比のリングパターンを有する場合がある。制御回路 111 は、参照画像の部分が第 1 の色を有する第 1 の画像領域を有するか、及び第 2 の色を有する第 2 の画像領域を有するかを判断し、第 1 の画像領域の面積と第 2 の画像領域の面積との比が規定された比に等しいか否かを判断することによって、参照画像のその部分が検証記号 530 であるか、キャリブレーションパターン 527 であるかを判断することができる。10

【0049】

場合によっては、ロボット制御システム 110 は、取り込まれた画像の特定の部分が第 1 の色を有する第 1 の領域を有するか、及び第 2 の色を有する第 2 の領域を有するかを判断し、第 1 の領域の面積と第 2 の領域の面積との比が規定された範囲内にあるか否かを判断することができる。一例において、規定された比が 1.5 である場合には、ロボット制御システム 110 は、特定の領域内の比が 1.4 ~ 1.6 の範囲内に入る場合に、その特定の領域が検証記号 530 に対応すると判断することができる。第 1 の領域及び第 2 の領域の 2 つの色は黒及び白には限定されず、ロボット制御システム 110 によって識別可能である任意の 2 つの異なる色とすることができます。20

【0050】

一様において、検証記号（例えば、530）は、互いに同心である第 1 の形状及び第 2 の形状を含むことができ、第 1 の形状及び第 2 の形状のそれぞれの中心が実質的に同じ位置にある。例えば、検証記号は円形リングとして形成することができ、円形リングは、互いに同心である第 1 の円及び第 2 の円を含む。より具体的には、図 5C に示されるように、検証記号 530 は、第 1 の形状 535（例えば、外円）及び第 2 の形状 537（例えば、内円）を含むことができる。第 1 の形状 535 の中心及び第 2 の形状 537 の中心が実質的に同じ位置にあるように、第 1 の形状 535 及び第 2 の形状 537 は互いに同心とすることができます。例えば、第 1 の形状 535 の中心が座標30

【数 1】

$(u_{symbol}^{outer}, v_{symbol}^{outer})$

にあり、第 2 の形状 537 の中心が座標

【数 2】

$(u_{symbol}^{inner}, v_{symbol}^{inner})$

にある場合には、座標

【数3】

$(u_{symbol}^{outer}, v_{symbol}^{outer})$

及び座標

【数4】

$(u_{symbol}^{inner}, v_{symbol}^{inner})$

は実質的に同じとができる。

【0051】

図4Aに戻ると、方法400はステップ407を更に含むことができ、そのステップでは、制御回路111が、検証記号に関する参照画像座標を特定し、参照画像座標は、参照画像内に検証記号（例えば、530）が現れる座標である。例えば、図6Aに示されるように、検証記号530の画像を参照箇所610Dにおいて取り込むことができ、参照画像として使用することができる。検証記号530は、特定の座標において参照画像内に現れることができ、その座標は参照画像座標と呼ばれる場合がある。10

【0052】

一実施形態において、上記で論じられたように、検証記号（例えば、530）は互いに同心である第1の形状及び第2の形状を含むことができ、第1の形状及び第2の形状のそれぞれの中心が実質的に同じ位置にある。そのような実施形態において、制御回路111は、ステップ407において、参照画像内の第1の形状の中心の第1の座標を特定することと、参照画像内の第2の形状の中心の第2の座標を特定することと、参照画像内の第1の座標及び第2の座標の平均として参照画像座標を特定することによって、そのような検証記号に関する参照画像座標を特定するように構成することができる。20

【0053】

例えば、図7Aは、参照箇所のうちの参照箇所N（ただし、Nは整数）において取り込まれた参照画像710を示す。参照画像710は検証部分730を含み、検証部分は、図5A、図5B又は図5Cの検証記号530を示す参照画像710内の画像部分である。図1A又は図1Bのロボット制御システム110は、検証部分730から、図5Cの検証記号530の第1の形状535と同じ、又は実質的に同じである第1の形状735（例えば、外円）を識別するように構成することができる。ロボット制御システム110は、検証部分730から、図5Cの検証記号530の第2の形状537と同じ、又は実質的に同じである第2の形状737（例えば、内円）を更に識別するように構成することができる。その後、参照箇所Nに関して、ロボット制御システム110は、参照画像710内に示される第1の形状735の中心の第1の座標30

【数5】

$(u_{ref,N}^{outer}, v_{ref,N}^{outer})$

（すなわち、第1の形状735の中心座標）と、参照画像710内に示される第2の形状737の中心の第2の座標

【数6】

$(u_{ref,N}^{inner}, v_{ref,N}^{inner})$

（すなわち、第2の形状737の中心座標）とを特定することができる。参照画像710が参照箇所Nにある検証記号530に対応するとき、参照画像710に関する参照画像座標40

【数7】

$(u_{ref,N}, v_{ref,N})$

を全体として特定するために、ロボット制御システム110は、以下のように、参照画像710内の第1の座標

【数8】

$$(u_{ref,N}^{outer}, v_{ref,N}^{outer})$$

及び第2の座標

【数9】

$$(u_{ref,N}^{inner}, v_{ref,N}^{inner})$$

の平均を計算することができる。

【数10】

$$(u_{ref,N}, v_{ref,N}) = \left(\frac{u_{ref,N}^{outer} + u_{ref,N}^{inner}}{2}, \frac{v_{ref,N}^{outer} + v_{ref,N}^{inner}}{2} \right)$$

10

【0054】

一実施形態において、検証記号に関する参照画像座標は、その中心座標とすることができ、第1の形状735及び第2の形状737のそれぞれの中心座標に基づいて、検証記号530の中心座標を特定することは、画像ノイズに対する検証プロセスのロバストネスを改善することができる。例えば、画像ノイズは、第1の形状735に関する中心座標の決定に誤差を導入する場合があるが、第2の形状737に関する中心座標の特定に誤差を導入しない場合がある。場合によっては、第2の形状737が実際には第1の形状735と同じ中心位置を共有する場合があるが、画像ノイズによって、第2の形状737の中心座標が第1の形状735の中心座標とは異なるように画像内に現れる場合がある。このシナリオにおいて、検証記号530の中心座標として第2の形状737の中心座標を単に使用すると、結果として望ましくない誤差量が生じる場合がある。誤差量は、検証記号530の中心座標として、第1の形状735に関する中心座標と第2の形状737に関する中心座標との平均を使用することによって低減することができる。

20

【0055】

一実施形態において、上記で論じられた1つ以上の参照箇所は、複数の参照画像座標にそれぞれ対応する複数の参照箇所とすることができます。この実施形態では、参照画像座標は複数の参照画像座標のうちの1つとすることができます。例えば、図6A及び図6Bに示されるように、検証記号530が動かされるか、又は別の方法で配置される、参照箇所610A～610I等の複数の参照箇所が存在する場合がある。検証記号530の参照箇所610A～610Iごとに、ロボット制御システム110は、その箇所において検証記号530の、カメラ570によって取り込まれたそれぞれの参照画像を読み出すか、又は別の方法で受信することができ、それぞれの参照画像内に検証記号530が現れる位置を示すそれぞれの参照画像座標を特定することができる。

30

【0056】

図4Aに戻ると、方法400はステップ409を更に含むことができ、そのステップでは、制御回路111が、カメラキャリブレーション情報に基づいて、ロボット操作を実行するように、ロボットアームの動作を制御する。一実施形態において、このステップは、制御回路111が、カメラキャリブレーション情報に基づく第2の動作コマンドを生成することと、第2の動作コマンドを通信インターフェース113に出力することとを含むことができる。通信インターフェース113は、その後、ロボットアームの動作を制御するために、第2の動作コマンドをロボットに通信することができる。例えば、図5Aに示されるように、第1のカメラキャリブレーション後に、ロボット制御システム110は、物体582A、582B及び582Cを持ち上げる等の、ロボット作業を含むロボット操作を実行するように、ロボット550を制御する。ロボット550の動作は、第1のカメラキャリブレーションから得られるカメラキャリブレーション情報に基づくことができ、かつカメラ570によって取り込まれる物体582A、582B、582Cの画像に基づくことができる。

40

50

【0057】

ステップ411において、制御回路111がロボット操作中に休止期間を検出する。一様において、ロボットの休止期間は、ロボット操作中にロボットがロボット作業を実行していない期間とすることができます。場合によっては、ロボット操作がコンベヤベルト573から物体を持ち上げることに基づく場合には、休止期間は、コンベヤベルト573上に物体が存在しないことに基づくことができる。より具体的には、コンベヤベルト573は、ロボットアームによって到達可能とすることができます、制御回路111は、コンベヤベルト573上に物体が存在しないこと、又はロボット550とコンベヤベルト573上の最も近い物体との間の距離が規定された距離閾値を超えることを検出することによって、休止期間を検出するように構成される。場合によっては、制御回路111は、休止期間が発生しようとしていることを示す信号を受信することができ、その信号は、ロボット操作を監視する別のデバイス又は構成要素から受信される場合がある。例えば、図5Aに示されるように、ロボット制御システム110は、第2の物体582Bと第3の物体582Cとの間に長い距離があるために、ロボット操作中に、第2の物体582Bを持ち上げることを含むロボット作業と、第3の物体582Cを持ち上げることを含むロボット作業との間に休止期間を検出することができる。この休止期間中、ロボット550が第2の物体582Bを持ち上げた後に、物体582Cはロボット550によってまだ到達可能でないで、ロボットは、ロボット作業を実行していない休止期間を有することができる。一例において、ロボット制御システム110は、コンベヤベルト573上の物体がロボット550によって到達可能でないときに、及び/又はロボット550とコンベヤベルト573上の上流の最も近い物体（例えば、第3の物体582C）との間の距離が或る特定の閾値を超えるとロボット制御システム110が判断するときに、休止期間を検出することができる。

【0058】

図4A及び図4Bに戻ると、方法400はステップ451を更に含むことができ、そのステップでは、制御回路111が、休止期間中に、検証記号530をステップ403において使用された（参照画像を取り込むために使用された）少なくとも参照箇所に動かすように、ロボットアームを制御する。一実施形態において、ステップ451は、制御回路111が第3の動作コマンドを生成することと、第3の動作コマンドを通信インターフェース113に出力することとを含むことができる。通信インターフェース113は、動作コマンドに基づいてロボットアームが動くように、その後、第3の動作をロボットに通信するように構成することができる。場合によっては、第3の動作コマンドは、参照箇所に対応する1組の記憶されたモーターコマンドを含むことができる。場合によっては、第3の動作コマンドは、ステップ401からのカメラキャリブレーション情報に基づいて生成することができる。場合によっては、ステップ451の第3の動作コマンドは、ステップ401からのカメラキャリブレーション情報に頼らない。

【0059】

ステップ453において、制御回路111が、休止期間中にカメラ（例えば、570）から検証記号（例えば、530）の更なる画像を読み出すか、又は別の方で受信し、更なる画像は検証のための検証画像であり、休止期間中の少なくとも参照箇所における検証記号の画像である。すなわち、参照箇所に関する検証画像は、検証記号（例えば、530）が参照箇所にあるか、又は参照箇所にあった間に取り込まれる。一実施形態において、ステップ453は、制御回路111が、検証画像を取り込むようにカメラ（例えば、570）を制御するカメラコマンドを生成することを含む。制御回路111は、通信インターフェース113にカメラコマンドを出力することができ、通信インターフェースがカメラコマンドをカメラ（例えば、570）に通信することができる。一実施形態において、ステップ451は、検証記号を複数の参照箇所に動かすようにロボットアームを制御することと、カメラによって取り込まれた複数のそれぞれの検証画像を受信することとを含むことができる。例えば、図6A及び図6Bに示されるように、休止期間中に、ロボット制御システム110は、検証記号530を参照箇所610A～610Iのうちの1つに動かし

、その位置における検証記号 530 の画像を検証画像として取り込むように、ロボット 550 のロボットアームを制御することができる。休止期間がまだ終わっていない場合、より具体的には、休止期間に十分な長さの時間が残っている場合には、ロボット制御システム 110 は、検証記号 530 を参照箇所 610A ~ 610I のうちの別の位置に動かし、その位置における検証記号 530 の画像を別の検証画像として取り込むように、ロボット 550 のロボットアームを制御することができる。休止期間が終了する場合には、ロボット制御システム 110 は、検証画像を取り込むのを中止することができる。その場合に、各休止期間中に、ロボット制御システム 110 は、検証記号 530 を参照箇所 610A ~ 610I のうちの 1つ以上に動かし、参照箇所 610A ~ 610I の 1つ以上のそれぞれの参照箇所において検証画像を取り込むように、ロボット 550 のロボットアームを制御することができる。10

【0060】

図 4B に戻ると、方法 400 はステップ 455 を更に含むことができ、そのステップでは、制御回路 111 が、検証のために使用される検証画像座標を特定し、検証画像座標は、検証画像内に検証記号が現れる座標である。検証記号（例えば、530）が複数の参照箇所（例えば、610A ~ 610I）に動かされる場合には、カメラ（例えば、570）が複数の参照箇所にそれぞれ対応する複数の検証画像を取り込むことができ、制御回路 111 が、複数の検証画像にそれぞれ対応し、複数の参照箇所にそれぞれ対応する複数の検証画像座標を特定することができる。複数の検証画像は全て、カメラ（例えば、570）によって単一の休止期間において取り込まれる場合があるか（例えば、単一の休止期間が、ロボットアームが検証記号（例えば、530）を全ての参照箇所 610A ~ 610I に動かすことができるほど十分に長い場合）、又は複数の異なる休止期間において取り込まれる場合がある（例えば、各休止期間が、ロボットアームが検証記号 530 を全ての参照箇所 610A ~ 610I に動かすほど十分に長くない場合）。20

【0061】

一実施形態において、検証画像座標は、参照画像座標と同じようにして特定することができる。例えば、検証画像座標は検証記号（例えば、530）の中心座標とすることができる、検証画像（例えば、760）内の検証記号（例えば、530）の第 1 の形状の中心座標と、検証記号の第 2 の形状の中心座標との平均として特定することができる。例えば、図 7B は、参照箇所のうちの参照箇所 N において取り込まれた検証画像 760 を示す。検証画像 760 は検証部分 780 を示し、その部分は、検証記号 530 を示す検証画像 760 内の画像部分である。ロボット制御システム 110 は、検証部分 780 から、図 5C の検証記号 530 の第 1 の形状 585 と同じ、又は実質的に同じである第 1 の形状 785 を識別することができる。ロボット制御システム 110 は更に、検証部分 780 から、検証記号 530 の第 2 の形状 587 と同じ、又は実質的に同じである第 2 の形状 787 を識別することができる。さらに、ロボット制御システム 110 は、検証画像 760 の検証部分 780 内に示される第 1 の形状 785 の中心座標30

【数 11】

$(u_{\text{verify},N}^{\text{outer}}, v_{\text{verify},N}^{\text{outer}})$

を特定し、検証画像 760 の検証部分 780 内に示される第 2 の形状 787 の中心座標40

【数 12】

$(u_{\text{verify},N}^{\text{inner}}, v_{\text{verify},N}^{\text{inner}})$

を特定するように構成することができる。ロボット制御システム 110 は更に、以下のように、検証画像座標 760 に関する検証画像座標

【数 13】

$(u_{\text{verify},N}, v_{\text{verify},N})$

を、検証画像 760 内の第 1 の形状 785 の中心座標と第 2 の形状 787 の中心座標との50

平均として特定することができる。

【数14】

$$(u_{\text{verify}_N}, v_{\text{verify}_N}) = \left(\frac{u_{\text{verify}_N}^{\text{outer}} + u_{\text{verify}_N}^{\text{inner}}}{2}, \frac{v_{\text{verify}_N}^{\text{outer}} + v_{\text{verify}_N}^{\text{inner}}}{2} \right)$$

【0062】

図4Bに戻ると、方法400はステップ457を更に含むことができ、そのステップでは、制御回路111が、ステップ403の参照画像座標とステップ455の検証画像座標との間の偏差量に基づいて、偏差パラメーター値を特定し、参照画像座標及び検証画像座標はいずれも参照箇所Nに関連付けられる。一例において、参照画像座標と検証画像座標との間の偏差は、参照画像座標と検証画像座標との間の距離とすることができる。例えば、参照箇所Nにおける参照画像座標が

【数15】

$$(u_{\text{ref}_N}, v_{\text{ref}_N})$$

と表され、参照箇所Nにおける検証画像座標が

【数16】

$$(u_{\text{verify}_N}, v_{\text{verify}_N})$$

と表されると仮定すると、参照箇所Nにおける偏差（例えば、距離）は

【数17】

$$\sqrt{(u_{\text{ref}_N} - u_{\text{verify}_N})^2 + (v_{\text{ref}_N} - v_{\text{verify}_N})^2}$$

と表すことができる。

【0063】

上記で論じられたように、1つ以上の参照箇所が複数の参照箇所である態様では、制御回路111は、複数の参照箇所にそれぞれ対応する複数の検証画像座標を特定するように構成することができ、上記で論じられた検証画像座標は複数の検証画像座標のうちの1つである。そのような態様において、偏差パラメーター値は、複数の参照箇所に関する複数の参照画像座標と複数の検証画像座標との間の複数のそれぞれの偏差量に基づき、複数のそれぞれの偏差量のうちの各偏差量は、(a)複数の参照箇所のそれぞれの参照箇所に対応する参照画像座標と、(b)同じ参照箇所に対応する検証画像座標との間の偏差量である。複数の検証画像座標は、複数の検証画像内に検証記号が現れるそれぞれの座標とすることができる、上記で論じられた検証画像は複数の検証画像のうちの1つである。制御回路111は、1つの休止期間内に複数の検証画像の全てを取り込むように、カメラを制御するように構成することができ、及び／又は異なる休止期間内に複数の検証画像を取り込むように、カメラを制御するように構成することができる。

【0064】

例えば、図6A及び図6Bに示されるように、複数の参照箇所が存在するとき、ロボット制御システム110は、複数の参照箇所に対応する複数のそれぞれの参照画像座標を特定することができ、複数の参照箇所に対応する複数のそれぞれの検証画像座標を特定することができ、複数の参照画像座標と複数の検証画像座標との間のそれぞれの偏差量を特定することができる。偏差パラメーター値は、複数の参照画像座標と複数の検証画像座標との間のそれぞれの偏差量に基づくことができる。例えば、偏差パラメーターは、以下のように、それぞれの偏差量の平均とすることができます。

【数18】

$$\text{偏差パラメーター} = \frac{\sum_{N=1}^M \sqrt{(u_{\text{ref}_N} - u_{\text{verify}_N})^2 + (v_{\text{ref}_N} - v_{\text{verify}_N})^2}}{M}$$

10

20

30

40

50

【 0 0 6 5 】

上記の式において、Nは第Nの参照箇所を指すことができ、一方、Mは参照箇所の全数を指すことができる。

【 0 0 6 6 】

図4Bに戻ると、方法400はステップ459を更に含むことができ、そのステップでは、制御回路111が、偏差パラメーター値が規定された閾値（規定された偏差閾値と呼ばれる場合もある）を超えるか否かを判断する。さらに、ステップ461において、制御回路111が、偏差パラメーター値が規定された閾値を超えると判断するのに応答して、第2のカメラキャリブレーションを実行し、カメラに関する更新されたカメラキャリブレーション情報を特定することができる。例えば、規定された閾値を超える偏差パラメーター値は、カメラのカメラキャリブレーション情報が古くなり、及び／又はロボット操作において望ましくない誤差量を生じさせる可能性が高いことを示す場合がある。それゆえ、偏差パラメーター値が規定された閾値を超える場合には、カメラに関する第2のカメラキャリブレーションを実行して、カメラ（例えば、570）に関するカメラキャリブレーション情報を更新することができる。第2のカメラキャリブレーションは第1のカメラキャリブレーションと同じ技法を使用することができるが、カメラによって第1のカメラキャリブレーションより後に取り込まれた画像に基づくことができる。一例において、ステップ459が、偏差パラメーター値が規定された閾値を超えることを示す場合には、ロボット操作を中止又は中断することができ、その後、第2のカメラキャリブレーションを実行し始めることができ、第2のカメラキャリブレーションは、第2のカメラキャリブレーションのための画像を取り込むことによって開始することができる。第2のカメラキャリブレーションが完了し、カメラに関するカメラキャリブレーション情報が更新された後に、ロボット制御システム110は、更新されたカメラキャリブレーション情報を用いて、ロボット操作を再開することができる。10

【 0 0 6 7 】

一実施形態において、制御回路111は、偏差パラメーター値が規定された閾値を超えない判断するのに応答して、更なるカメラキャリブレーションを実行することなく（例えば、通信インターフェースを介してロボットに第4の動作コマンドを出力することによって）、休止期間後にロボット操作を継続するように、ロボットを制御するように構成することができる。そのような条件は、ステップ401からのカメラキャリブレーション情報が依然として十分に正確であること、及び望ましくない誤差量を受けることなく、ロボット操作が継続できることを示すことができる。30

【 0 0 6 8 】

一実施形態において、制御回路111は、ロボットが位置する環境の温度を特定し、測定された温度に基づいて、規定された偏差閾値（偏差閾値を再規定するとも呼ばれる）又はカメラに関するカメラキャリブレーション情報の少なくとも一方を調整するように構成することができる。例えば、制御回路111は、温度を測定することによって、又は別のデバイス若しくは構成要素から温度データを受信することによって、環境の温度を特定することができる。そのような実施形態において、制御回路111は、測定された温度が規定範囲外にあるとき、規定された閾値を第1の値を有するように設定し、測定された温度が規定範囲内にあるとき、閾値を第1の値より低い第2の値を有するように設定することによって、測定された温度に基づいて、規定された閾値を調整するように構成することができる。例えば、過度に高い温度又は過度に低い温度は、カメラに変化を引き起こす場合がある。より具体的には、温度変化は、カメラの固有パラメーターに影響を及ぼす場合がある。例えば、カメラ内の構成要素は、温度が上昇するときに膨張し、温度が下降するときに収縮する場合があり、それがカメラの固有パラメーターに影響を及ぼす場合がある。それゆえ、温度又は温度変化の量に基づいて、規定された偏差閾値を調整することが有利な場合がある。例えば、温度が正常動作温度の範囲（例えば、周囲の室温に基づいて規定された範囲）内にあるとき、その温度はカメラに悪影響を及ぼさないので、規定された偏差閾値が下げられる場合がある。一方、温度が、正常動作温度の範囲外にあるとき、低温40

又は高温がカメラに悪影響を及ぼすので、偏差閾値が上げられる場合がある。代替の例において、偏差閾値は、更なるカメラキャリブレーションをより頻繁にトリガーするために、温度が正常動作温度外にあるとき、より低くなるように規定することができる。この例において、偏差閾値は、温度が正常動作温度内にあるときに、更なるカメラキャリブレーションをトリガーする頻度を下げるために、偏差閾値は、より高くなるように規定することができる。

【0069】

図8は、カメラキャリブレーション及びカメラキャリブレーションの検証が実行される例示的なタイムライン800を示す。ロボット操作が開始する前に、図1A又は図1Bのロボット制御システム110は、キャリブレーション期間811中に、第1のカメラキャリブレーションを実行し、カメラ（例えば、図5A又は図5Bのカメラ570）に関するカメラキャリブレーション情報を特定する。第1のカメラキャリブレーションが完了した後に、ロボット制御システム110は、参照取得期間813中に、種々の参照箇所において検証記号（例えば、検証記号530）の参照画像を取り込み、それぞれの参照画像（例えば、図7Aの参照画像710）内に検証記号が現れる参照画像座標を特定する。参照画像座標を特定すると、参照取得期間813後に、ロボット操作を開始することができる。

10

【0070】

ロボット操作が開始した後に、作業期間815中に、ロボット制御システム110は1つの以上のロボット作業を実行するようにロボット（例えば、図5A又は図5Bのロボット550）を制御し、それゆえ、一実施形態では、検証画像（例えば、図7Bの検証画像760）を収集できない場合がある。ロボット制御システム110は、作業期間815後にロボットがロボット作業を実行していない休止期間817を検出する。それゆえ、休止期間817中に、ロボット制御システム110は、参照箇所のうちの第1の組の1つ以上の参照箇所（例えば、610A及び610B）においてそれぞれ、検証記号の1つ以上の検証画像を取り込む。休止期間817が終了した後、作業期間819中に、ロボット制御システム110は、1つ以上のロボット作業を実行するようにロボットを制御するのを再開し、それゆえ、検証画像を収集しない場合がある。ロボット制御システム110は、作業期間819後に、ロボットがロボット作業を実行していない休止期間821を検出する。休止期間821中に、ロボット制御システム110は、参照箇所のうちの第2の組の1つ以上の参照箇所（例えば、610C～610E）においてそれぞれ、検証記号の1つ以上の検証画像を取り込む。休止期間821後、ロボット作業期間823中に、ロボット制御システム110は、1つ以上のロボット作業を実行するようにロボットを制御するのを再開し、それゆえ、検証画像を収集しない場合がある。ロボット制御システム110は、作業期間823後にロボットがロボット作業を実行していない休止期間825を検出する。休止期間825中に、ロボット制御システム110は、参照箇所のうちの第3の組の1つ以上の位置（例えば、610F～610I）においてそれぞれ、検証記号の1つ以上の検証画像を取り込む。

20

【0071】

休止期間817、821及び825中に取り込まれる検証画像（例えば、760）は、参照箇所のうちの異なるそれぞれの位置において取り込むことができる。例えば、第1の組、第2の組及び第3の組の1つ以上の位置は、互いに異なることができ、重ならないようにすることができる。さらに、休止期間825中に、ロボット制御システム110は、検証画像取込が完了したと判断することができ、それは、カメラキャリブレーションの検証のために十分な数の検証画像が取り込まれたことを示すことができる。一実施形態において、ロボット制御システム110は、全ての参照箇所（例えば、610A～610I）において検証画像が取り込まれた場合に、検証画像取込が完了したと判断することができる。一実施形態において、ロボット制御システム110は、検証画像の数が規定された目標総数に達した場合に、検証画像取込が完了したと判断することができる。

30

【0072】

検証画像取込が完了したと判断すると、ロボット制御システム110は、それぞれの検

40

50

証画像内に検証記号が現れる検証画像座標を特定する。その後、ロボット制御システム110は、参照画像座標からの検証画像座標のそれぞれの偏差量に基づいて、偏差パラメーター値を特定する。偏差パラメーターが規定された閾値を超える場合には、ロボット制御システム110は、別のカメラキャリブレーションを実行する。しかしながら、この例では、偏差パラメーターは規定された閾値を超えず、それゆえ、ロボット制御システム110は、更なるカメラキャリブレーションを実行することなく、休止期間825後、作業期間827中にロボット作業を実行し続ける。

【0073】

図9は、図8のタイムラインに関連する検証プロセスを示す例示的なフロー図900を示す。ステップ901において、図1A、図1B又は図1Cのロボット制御システム110が、カメラ（例えば、図5A又は図5Bのカメラ570）の第1のカメラキャリブレーションを実行し、カメラのカメラキャリブレーション情報を特定する。ステップ903において、ロボット制御システム110が、検証記号（例えば、図5A又は図5Bの検証記号530）を参照箇所に動かすように、ロボット（例えば、図5A又は図5Bのロボット550）を制御し、カメラを介して、それぞれの参照箇所において検証記号の参照画像（例えば、図7Aの参照画像710）のそれぞれの事例を取り込む。ステップ905において、ロボット制御システム110が、第1のカメラキャリブレーションから得られるカメラキャリブレーション情報に基づいて、ロボットのロボット操作を開始する。

【0074】

ステップ907において、ロボット制御システム110が、ロボット操作中に休止期間を検出する。ステップ909において、ロボット制御システム110が、休止期間中に検証記号（例えば、図5A又は図5Bの検証記号530）を参照箇所のうちの1つ以上の参照箇所に動かすように、ロボット（例えば、図5A又は図5Bのロボット550）を制御し、カメラを介して、参照箇所のうちの1つ以上の参照箇所においてそれぞれ1つ以上の検証画像（例えば、図7Bの検証画像760）を取り込む。場合によっては、ロボット制御システム110は、検証記号を、休止期間の持続時間が許すだけ多くの参照箇所に動かすようにロボットを制御することができる。ステップ911において、ロボット制御システム110が、取り込まれた検証画像の全数が規定された目標総数に達したか否かを判断する。取り込まれた検証画像の全数が目標総数に達していなかった場合には、ロボット制御システム110は、より多くの検証画像を取り込むために、ステップ907に戻ることによって、ロボット操作中に別の後続の休止期間を検出しようと試みる。

【0075】

取り込まれた検証画像の全数が目標総数に達していた場合には、ステップ913において、ロボット制御システム110は、参照画像（例えば、710）及び検証画像（例えば、760）に基づいて、カメラキャリブレーションの検証を実行する。カメラキャリブレーションの検証は、偏差パラメーターを生成する。ステップ915において、ロボット制御システム110が、偏差パラメーターが規定された閾値を超えるか否かを判断する。偏差パラメーターが閾値を超えていない場合には、ロボット制御システム110は、ステップ919において、取り込まれた検証画像の全数を0にリセットすることができ、休止期間後にロボット操作を継続することができ、その一方で、ステップ907に戻ることによって、新たな1組の検証画像を取り込むために別の休止期間を検出しようと試みる。

【0076】

偏差パラメーターが閾値を超える場合には、ロボット制御システム110は、ロボット操作を中止し、ステップ917において、第2のカメラキャリブレーションを実行することができる。917における第2のカメラキャリブレーション後に、ロボット制御システム110は、921において、取り込まれた検証画像の全数を0にリセットすることができる。ステップ921後に、そのフロー図はステップ903に戻ることができ、ロボット制御システム110が、検証記号（例えば、530）を参照箇所に動かすように、ロボット（例えば、550）を制御し、カメラ（例えば、570）を介して、それぞれの参照箇所において検証記号の新たな1組の参照画像（例えば、710）を取り込み、それにより

10

20

30

40

50

、後の検証のために、新たな1組の参照画像を使用できるようになる。

【0077】

種々の実施形態の更なる検討

実施形態1は、ベースと、その上に配置される検証記号を有するロボットアームとを有するロボットと通信し、カメラ視野を有するカメラと通信するように構成される通信インターフェースを備えるロボット制御システムに関連する。ロボット制御システムは、第1のカメラキャリブレーションを実行し、カメラに関連付けられるカメラキャリブレーション情報を特定するように構成される制御回路を更に備える。制御回路は、a) 通信インターフェースを介して、ロボットに第1の動作コマンドを出力することによって、第1のカメラキャリブレーション中又は後に、検証記号をカメラ視野内の位置に動かすようにロボットアームを制御することであって、その位置は第1のカメラキャリブレーションの検証のための1つ以上の参照箇所のうちの参照箇所である、ロボットアームを制御することと、b) 通信インターフェースを介して、カメラから検証記号の画像を受信することであって、カメラは参照箇所において検証記号の画像を取り込むように構成され、画像は検証のための参照画像である、検証記号の画像を受信することと、c) 検証のための参照画像座標を特定することであって、参照画像座標は参照画像内に検証記号が現れる座標である、参照画像座標を特定することと、d) 通信インターフェースを介して、ロボットにカメラキャリブレーション情報に基づく第2の動作コマンドを出力することによって、カメラキャリブレーション情報に基づいて、ロボット操作を実行するようにロボットアームの動作を制御することと、e) ロボット操作中に休止期間を検出することと、f) 通信インターフェースを介して、ロボットに第3の動作コマンドを出力することによって、休止期間中に、検証記号を少なくとも参照箇所に動かすようにロボットアームを制御することと、g) 休止期間中に、通信インターフェースを介して、カメラから検証記号の更なる画像を受信することであって、カメラは少なくともその参照箇所において検証記号の更なる画像を取り込むように構成され、更なる画像は検証のための検証画像である、検証記号の更なる画像を受信することと、h) 検証のために使用される検証画像座標を特定することであって、検証画像座標は検証画像内に検証記号が現れる座標である、検証画像座標を特定することと、i) 参照画像座標と検証画像座標との間の偏差量に基づいて偏差パラメーター値を特定することであって、参照画像座標及び検証画像座標はいずれもその参照箇所に関連付けられ、偏差パラメーター値は、第1のカメラキャリブレーション以降のカメラの変化、又は第1のカメラキャリブレーション以降のカメラとロボットとの間の関係の変化を示す、偏差パラメーター値を特定することと、j) 偏差パラメーター値が規定された閾値を超えるか否かを判断することと、k) 偏差パラメーター値が規定された閾値を超えると判断することに応答して、第2のカメラキャリブレーションを実行し、更新されたカメラキャリブレーション情報を特定することとを行うように更に構成される。
10
20
30
30

【0078】

実施形態2は、実施形態1のロボット制御システムを含み、制御回路は、偏差パラメーター値が規定された閾値を超えないかと判断することに応答して、通信インターフェースを介して、ロボットに第4の動作コマンドを出力することによって、更なるカメラキャリブレーションを実行することなく、休止期間後にロボット操作を継続するように、ロボットを制御するように構成される。
40

【0079】

実施形態3は実施形態1又は2のロボット制御システムを含み、1つ以上の参照箇所は複数の参照画像座標にそれぞれ対応する複数の参照箇所であり、前述の参照画像座標は複数の参照画像座標のうちの1つである。この実施形態では、制御回路は、複数の参照箇所にそれぞれ対応する複数の検証画像座標を特定するように更に構成され、検証画像座標は複数の検証画像座標のうちの1つであり、偏差パラメーター値は、複数の参照箇所に関する複数の参照画像座標と複数の検証画像座標との間のそれぞれの偏差量に基づき、それぞれの偏差量のうちの各偏差量は、(a) 複数の参照箇所のそれぞれの参照箇所に対応する参照画像座標と、(b) 同じ参照箇所に対応する検証画像座標との間の偏差量である。
50

【 0 0 8 0 】

実施形態 4 は実施形態 3 のロボット制御システムを含み、複数の検証画像座標は、複数の検証画像内に検証記号が現れるそれぞれの座標であり、検証画像は複数の検証画像のうちの 1 つであり、制御回路は、休止期間内に複数の検証画像の全てを取り込むように、カメラを制御するように構成される。

【 0 0 8 1 】

実施形態 5 は実施形態 3 のロボット制御システムを含み、複数の検証画像座標は、複数の検証画像内に検証記号が現れるそれぞれの座標であり、検証画像は複数の検証画像のうちの 1 つであり、制御回路は、異なる休止期間内に複数の検証画像を取り込むように、カメラを制御するように構成され、休止期間は異なる休止期間のうちの 1 つである。 10

【 0 0 8 2 】

実施形態 6 は実施形態 1 ~ 5 のいずれか 1 つのロボット制御システムを含み、検証記号は第 1 の色を有する第 1 の領域と、第 2 の色を有する第 2 の領域とを含み、第 1 の領域の面積と第 2 の領域の面積との比が規定され、規定された比としてロボット制御システムの記憶デバイス上に記憶される。

【 0 0 8 3 】

実施形態 7 は実施形態 6 のロボット制御システムを含み、制御回路が、規定された比に基づいて、参照画像又は検証画像内の検証記号を識別するように構成される。

【 0 0 8 4 】

実施形態 8 は実施形態 7 のロボット制御システムを含み、ロボットアームがその上に配置されるキャリブレーションパターンを有し、参照画像は検証記号及びキャリブレーションパターンを含み、制御回路は、参照画像の部分が第 1 の色を有する第 1 の画像領域を有するか、及び第 2 の色を有する第 2 の画像領域を有するかを判断し、第 1 の画像領域の面積と第 2 の画像領域の面積との比が規定された比に等しいか否かを判断することによって、参照画像の部分が検証記号であるか、又はキャリブレーションパターンであるかを判断するように構成される。 20

【 0 0 8 5 】

実施形態 9 は実施形態 1 ~ 8 のいずれか 1 つのロボット制御システムを含み、検証記号は、互いに同心である第 1 の形状及び第 2 の形状を含み、第 1 の形状及び第 2 の形状のそれぞれの中心は実質的に同じ位置である。 30

【 0 0 8 6 】

実施形態 10 は実施形態 9 のロボット制御システムを含み、制御回路は、 a) 参照画像内の第 1 の形状の中心の第 1 の座標を特定することと、 b) 参照画像内の第 2 の形状の中心の第 2 の座標を特定することと、 c) 参照画像内の第 1 の座標及び第 2 の座標の平均として参照画像座標を特定することによって、参照画像座標を特定するように構成される。この実施形態では、制御回路は、 d) 検証画像内の第 1 の形状の中心の第 1 の座標を特定することと、 e) 検証画像内の第 2 の形状の中心の第 2 の座標を特定することと、 f) 検証画像内の第 1 の座標及び第 2 の座標の平均として検証画像座標を特定することによって、検証画像座標を特定するように構成される。

【 0 0 8 7 】

実施形態 11 は実施形態 1 ~ 10 のいずれか 1 つのロボット制御システムを含み、制御回路は、円形リングを識別することによって、参照画像又は検証画像内の検証記号を識別するように構成され、検証記号は円形リングとして形成される。 40

【 0 0 8 8 】

実施形態 12 は実施形態 1 ~ 11 のいずれか 1 つのロボット制御システムを含み、制御回路は、ロボットが位置する環境の温度を特定し、測定された温度に基づいて、規定された閾値又はカメラキャリブレーション情報のうちの少なくとも一方を調整するように更に構成される。

【 0 0 8 9 】

実施形態 13 は実施形態 12 のロボット制御システムを含み、制御回路は、温度が規定 50

範囲外にあるとき、規定された閾値を第1の値を有するように設定し、温度が規定範囲内にあるとき、閾値を第1の値より低い第2の値を有するように設定することによって、温度に基づいて、規定された閾値を調整するように構成される。

【0090】

実施形態14は実施形態1～13のいずれか1つのロボット制御システムを含み、制御回路が、ロボットアームを介して検証記号を動かすように構成される1つ以上の参照箇所は、カメラに対して凹形である球の表面上に配置される複数の参照箇所を含む。

【0091】

実施形態15は実施形態14のロボット制御システムを含み、制御回路は、複数の参照箇所の各参照箇所において検証記号が球の表面に対して接線方向に向くように動かすために、ロボットアームを制御するように更に構成される。10

【0092】

実施形態16は実施形態1～15のいずれか1つのロボット制御システムを含み、制御回路は、検証記号が参照箇所に動かされるときに、カメラの真正面を向くように検証記号を動かすために、ロボットアームを制御するように構成される。

【0093】

実施形態17は実施形態1～16のいずれか1つのロボット制御システムを含み、制御回路は、ロボット操作中にロボットがロボット作業を実行していない期間を検出することによって、ロボット操作の休止期間を検出するように構成される。

【0094】

実施形態18は実施形態17のロボット制御システムを含み、制御回路は、ロボットアームによって到達可能であるコンベヤベルト上の物体と相互作用するように、ロボットアームを制御するように構成され、制御回路は、コンベヤベルト上に物体がないことを検出することによって、又はロボットと、コンベヤベルト上の最も近い物体との間の距離が規定された距離閾値を超えることを検出することによって、休止期間を検出するように構成される。20

【0095】

種々の実施形態を上述してきたが、これらの実施形態は、限定としてではなく本発明の単なる説明及び例として提示されていることを理解すべきである。形式及び細部における種々の変更は本発明の趣旨及び範囲から逸脱することなく本発明内で行うことができるることは当業者には明らかであろう。したがって、本発明の範囲(breadth and scope)は、上述の例示的な実施形態のいずれかによって限定されるべきではなく、添付の特許請求の範囲及びそれらの均等物によってのみ規定されるべきである。本明細書において論考された各実施形態、及び本明細書において引用された各引用文献の各特徴は、他の任意の実施形態の特徴と組み合わせて用いることができることも理解されるであろう。本明細書において論考された全ての特許及び刊行物は、引用することによりその全体が本明細書の一部をなす。30

【要約】

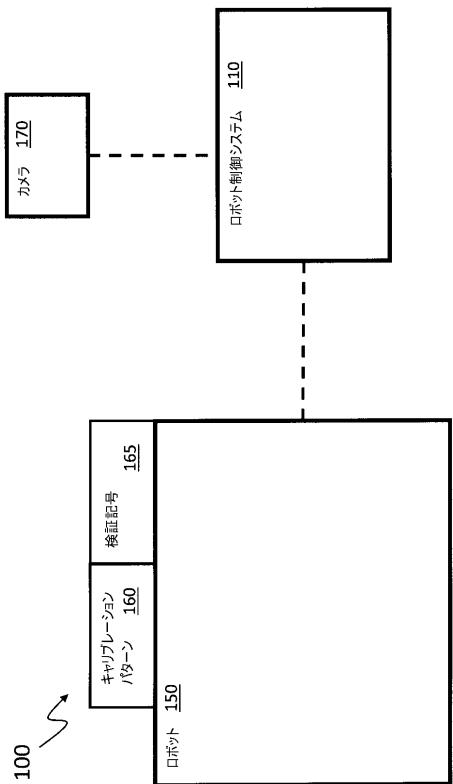
【課題】カメラキャリブレーションを検証するロボット制御システム及び方法を提示する。40

【解決手段】ロボット制御システムは、第1のカメラキャリブレーションを実行するように構成され、検証記号を参照箇所に動かすように、ロボットアームを制御するように構成される。ロボット制御システムは更に、カメラから、検証記号の参照画像を受信し、検証記号に関する参照画像座標を特定する。ロボット制御システムは更に、休止期間中に、検証記号を再び参照箇所に動かすようにロボットアームを制御し、検証記号の更なる画像を受信し、検証画像座標を特定する。ロボット制御システムは、参照画像座標及び検証画像座標に基づいて偏差パラメーター値を特定し、偏差パラメーター値が規定された閾値を超えるか否かを判断し、閾値を超える場合には第2のカメラキャリブレーションを実行する。

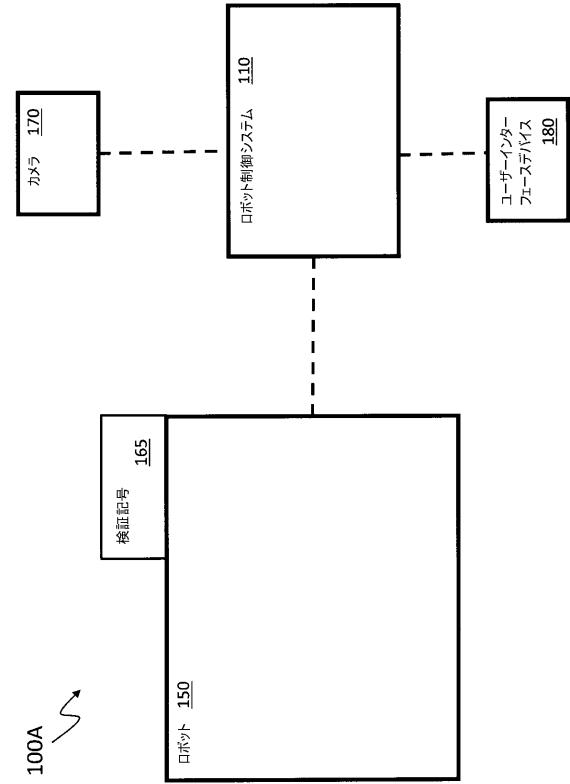
【選択図】図5A

50

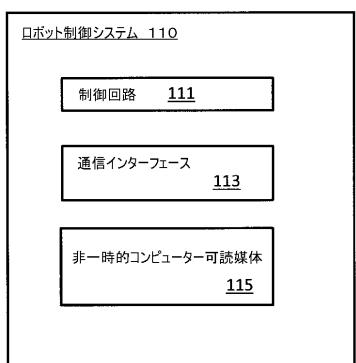
【図1A】



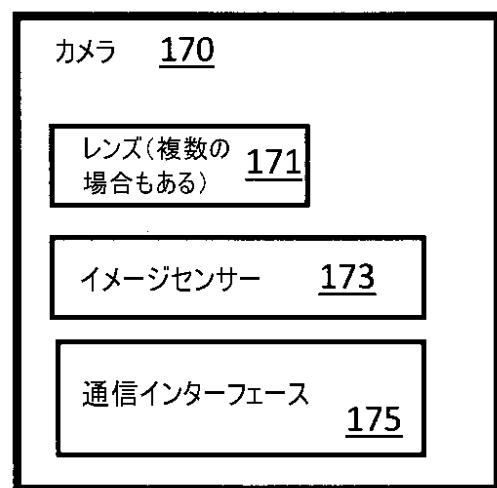
【図1B】



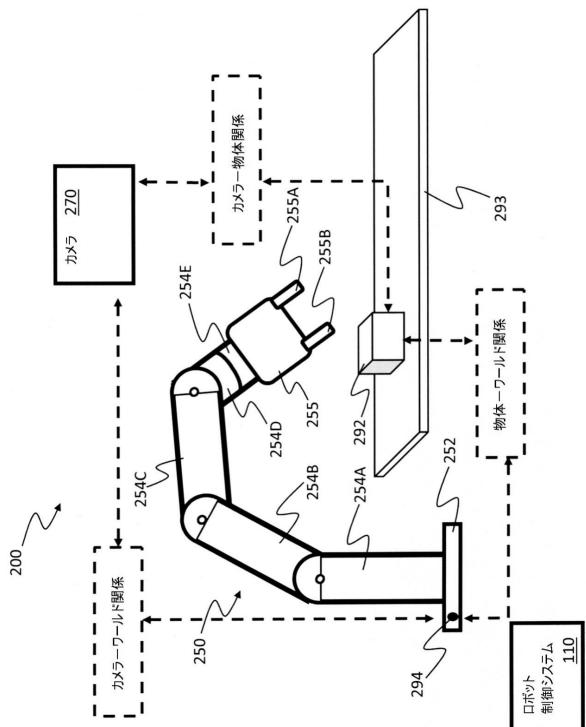
【図1C】



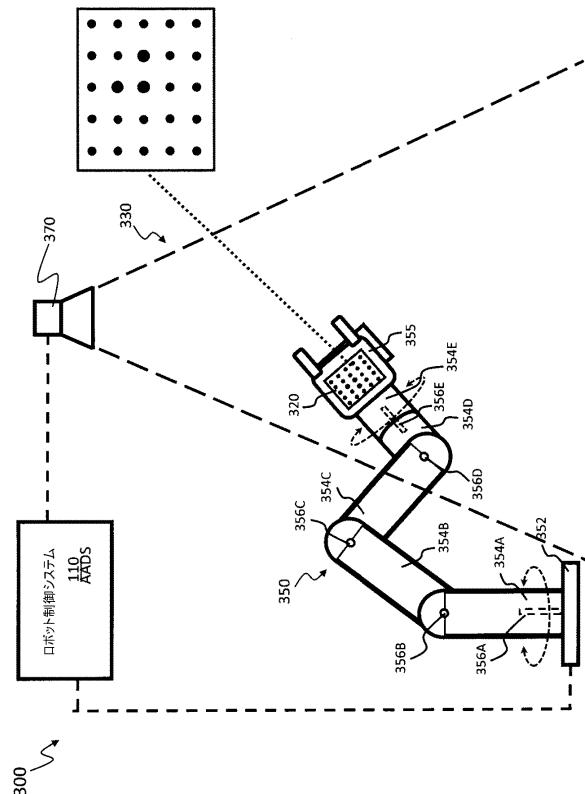
【図1D】



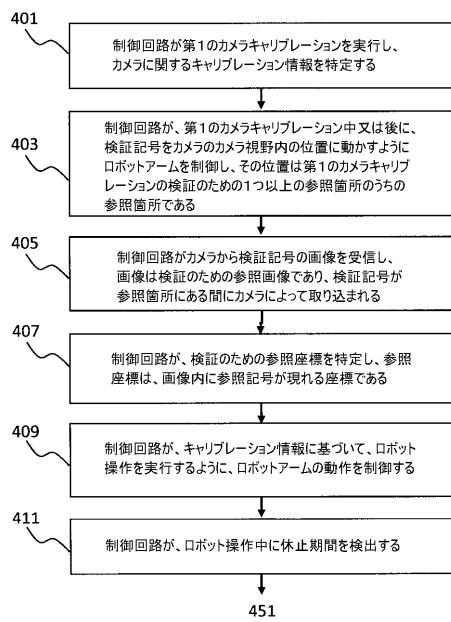
【図2】



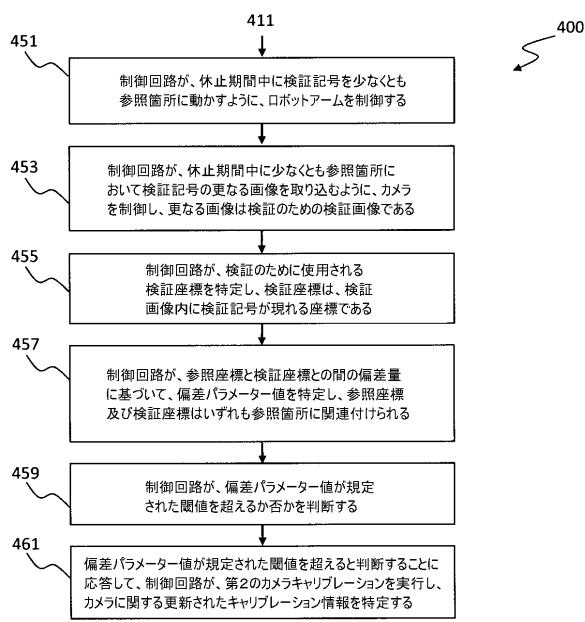
【図3】



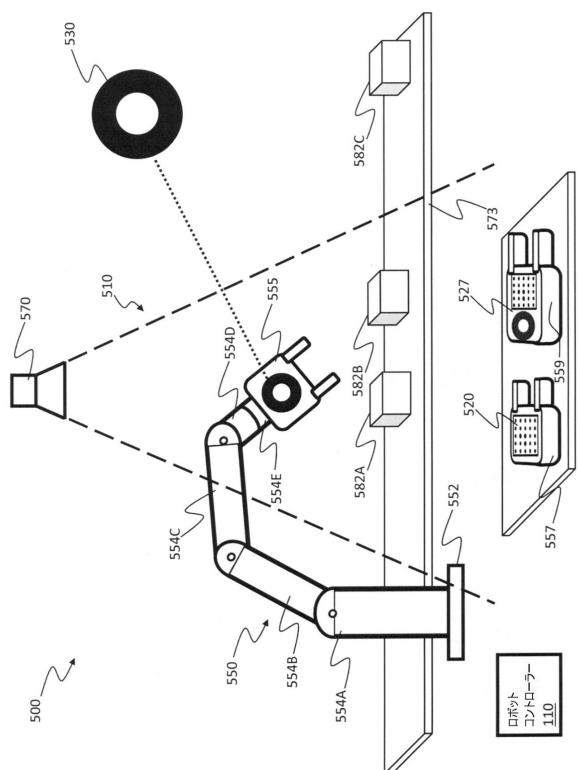
【図4 A】



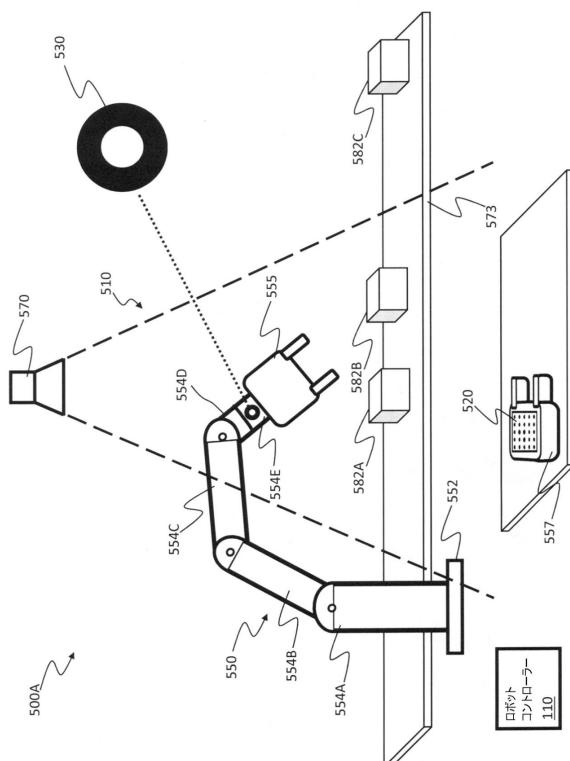
【図4 B】



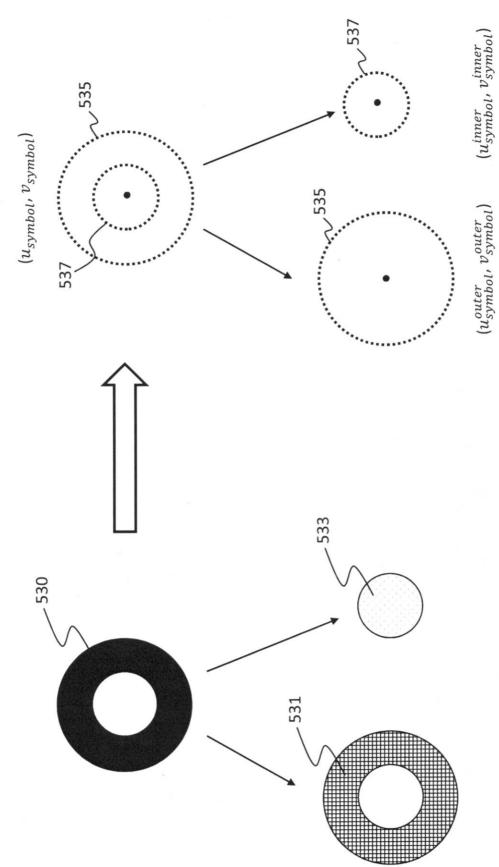
【図 5 A】



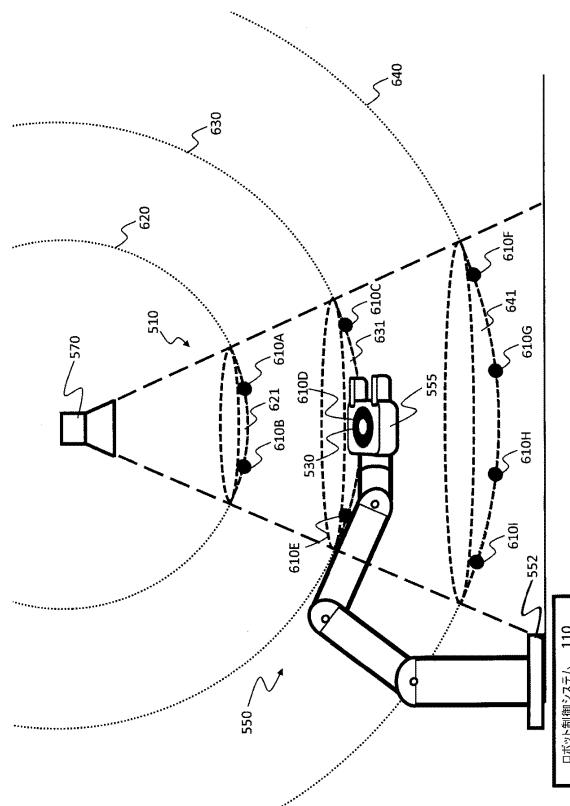
【図 5 B】



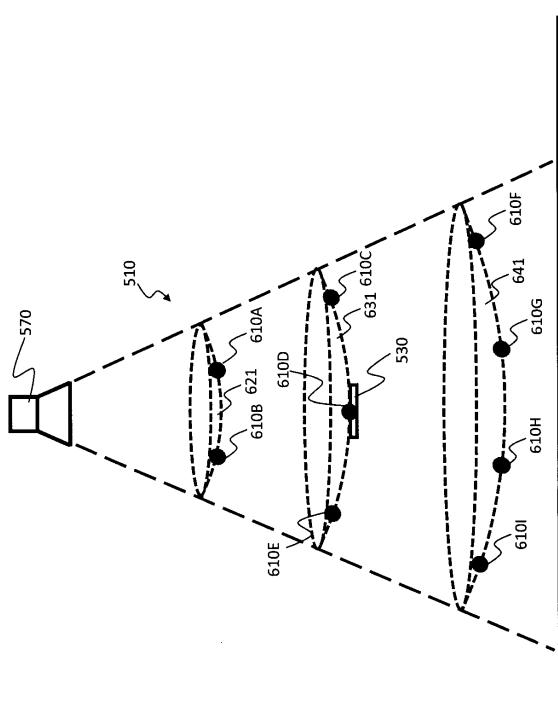
【図 5 C】



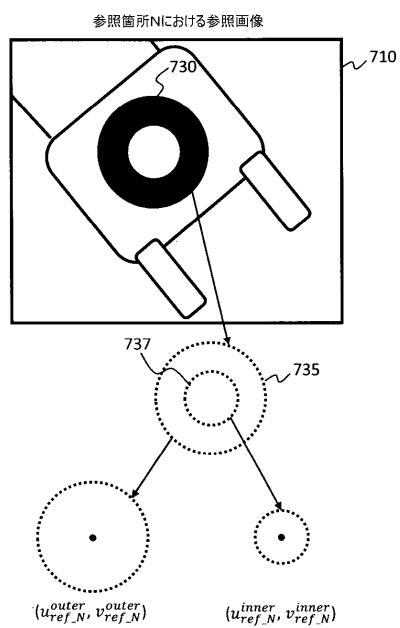
【図 6 A】



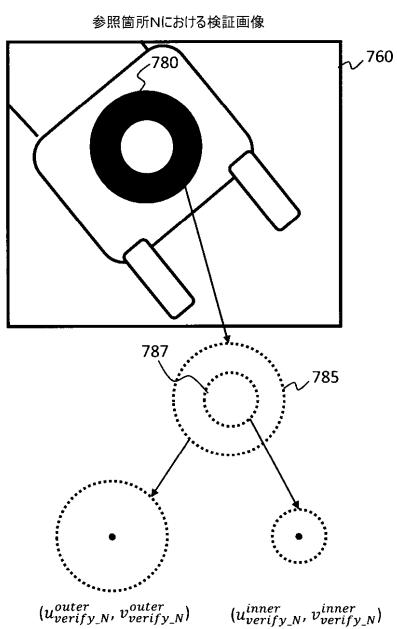
【図 6 B】



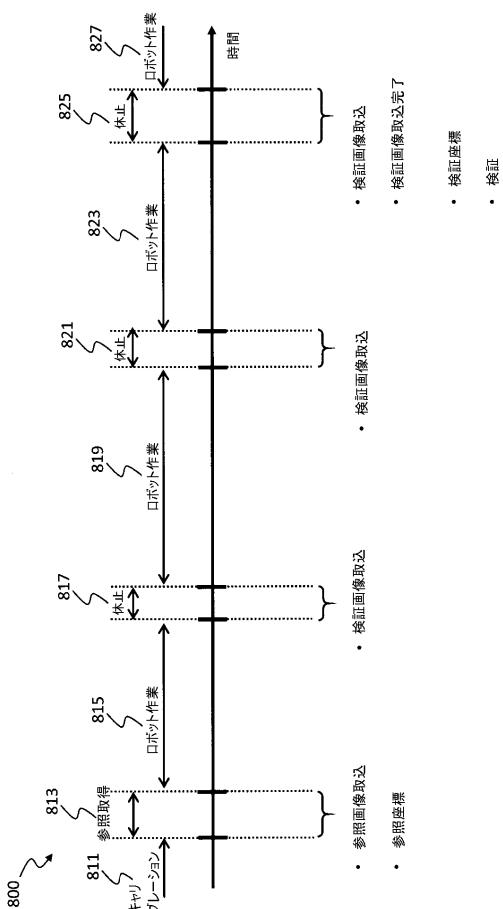
【図 7 A】



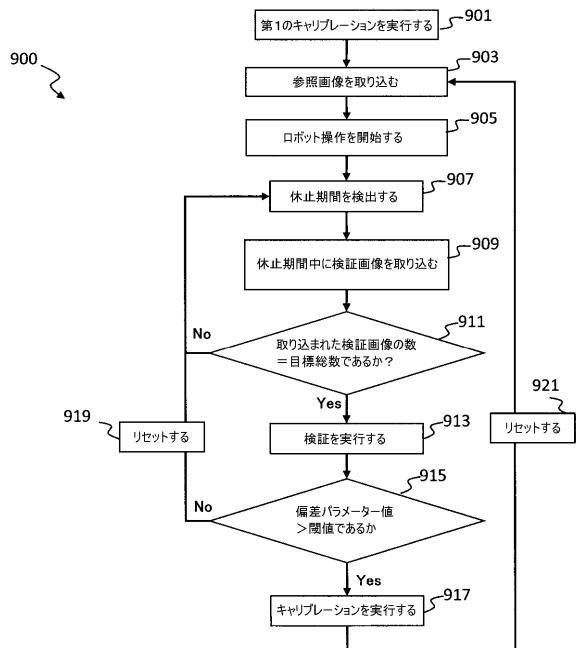
【図 7 B】



【図 8】



【図9】



フロントページの続き

(72)発明者 ラッセル イスラム
日本国 130-0002 東京都墨田区業平1丁目 1-9

(72)発明者 シュタオ イエ
日本国 130-0002 東京都墨田区業平1丁目 1-9

(72)発明者 ローゼン, ダイナコフ
日本国 130-0002 東京都墨田区業平1丁目 1-9

審査官 石川 薫

(56)参考文献 国際公開第2018/163450 (WO, A1)
再公表特許第2017/033247 (JP, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
B25J1/00 - 21/02
G06T 7/80