

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第7227018号

(P7227018)

(45)発行日 令和5年2月21日(2023.2.21)

(24)登録日 令和5年2月13日(2023.2.13)

(51)国際特許分類

B 2 5 J 13/00 (2006.01)

F I

B 2 5 J 13/00

Z

請求項の数 6 (全13頁)

(21)出願番号	特願2019-13751(P2019-13751)	(73)特許権者	390008235
(22)出願日	平成31年1月30日(2019.1.30)		ファナック株式会社
(65)公開番号	特開2020-121358(P2020-121358 A)		山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場 3 5 8 0 番地
(43)公開日	令和2年8月13日(2020.8.13)	(74)代理人	100118913
審査請求日	令和3年11月10日(2021.11.10)		弁理士 上田 邦生
		(74)代理人	100142789
			弁理士 柳 順一郎
		(74)代理人	100163050
			弁理士 小栗 真由美
		(74)代理人	100201466
			弁理士 竹内 邦彦
		(72)発明者	稲垣 聡
			山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場 3 5 8 0 番地 ファナック株式会社内
			最終頁に続く

(54)【発明の名称】 学習制御装置、ロボット制御装置およびロボット

(57)【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ロボット機構部の複数の姿勢および負荷において測定された周波数応答を記憶する応答記憶部と、

該応答記憶部に記憶されている前記周波数応答のうち、使用される動作プログラムに基づいて、該動作プログラムにおいて前記ロボット機構部が取り得る姿勢および負荷の範囲に対応する前記周波数応答を前記応答記憶部から読み出して利用し、センサにより検出された前記ロボット機構部の位置制御の対象とする制御対象部位の位置を目標位置に近づけるための学習補正量を算出する学習制御部とを備える学習制御装置。

【請求項 2】

前記応答記憶部が、前記ロボット機構部の複数の姿勢および負荷におけるイナーシャに対応付けて前記周波数応答を記憶し、

前記学習制御部は、入力された前記動作プログラムに基づいて、該動作プログラムにおいて前記ロボット機構部が取り得る前記イナーシャの最小値および最大値に挟まれる範囲の前記イナーシャに対応する前記周波数応答を前記応答記憶部から読み出す請求項 1 に記載の学習制御装置。

【請求項 3】

前記応答記憶部が、前記ロボット機構部の複数の姿勢および負荷におけるイナーシャに対応付けて前記周波数応答を記憶し、

前記学習制御部は、入力された前記動作プログラムを区分し、該動作プログラムの各区

10

20

分において前記ロボット機構部が取り得る前記イナーシャの最小値および最大値に挟まれる範囲の前記イナーシャに対応する前記周波数応答を前記応答記憶部から読み出して、前記区分毎に学習を行う請求項 1 に記載の学習制御装置。

【請求項 4】

前記学習制御部は、入力された前記動作プログラムを該動作プログラム内の各教示点における前記ロボット機構部の前記イナーシャの大きさによって区分する請求項 3 に記載の学習制御装置。

【請求項 5】

請求項 1 から請求項 4 のいずれかに記載の学習制御装置と、

前記制御対象部位の目標軌跡もしくは前記目標位置に関する位置指令が与えられ、与えられた前記位置指令および前記学習補正量を用いて、前記ロボット機構部の動作を制御する通常制御部とを備え、

10

前記学習制御部は、前記位置指令および前記学習補正量を用いて前記動作プログラムにより前記ロボット機構部を動作させて、前記センサにより検出された前記制御対象部位の位置と前記目標位置との差分である目的補正量を算出し、前記学習補正量および前記目的補正量に基づいて前記制御対象部位の位置を前記目標位置に近づける新たな学習補正量を算出するロボット制御装置。

【請求項 6】

請求項 5 に記載のロボット制御装置と、

該ロボット制御装置により動作を制御される前記ロボット機構部とを備え、

20

該ロボット機構部が、前記制御対象部位の位置を検出するための前記センサを備えるロボット。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、学習制御装置、ロボット制御装置およびロボットに関するものである。

【背景技術】

【0002】

姿勢により大きくシステムが変化するロボットにおいて、学習制御器のロバスト性を考慮するために、異なる複数のイナーシャに対する伝達関数を実験で測定し、測定された複数の伝達関数を用いて学習制御器を設計する方法が開示されている（例えば、特許文献 1 参照。）。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】特許 4 8 5 0 9 5 6 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

伝達関数（周波数応答）の測定をロボットの納入先において実施することは現実的ではない。実際には、出荷前にロボット機構部が取り得る最大のイナーシャにおける周波数応答および最小のイナーシャにおける周波数応答を取得してそれらの周波数応答からあらゆるイナーシャにおいてロバスト性を確保し得る学習制御器が設計される。そして、納入先においては、出荷前に設計された学習制御器を用いて、実際に使用されるロボット機構部および動作プログラムを用いた学習が行われる。

40

【0005】

しかしながら、ロバスト性と制御性能とはトレードオフの関係があるため、ロバスト性を向上すると制御性能が低下する。したがって、学習制御器のロバスト性を確保しながら制御性能の低下を抑え、学習回数を低減し、ロボット機構部の振動を良好に除去することが望まれる。

50

【課題を解決するための手段】**【0006】**

本開示の一態様は、ロボット機構部の複数の姿勢および負荷において測定された周波数応答を記憶する応答記憶部と、該応答記憶部に記憶されている前記周波数応答のうち、使用される動作プログラムに基づいて、該動作プログラムにおいて前記ロボット機構部が取り得る姿勢および負荷の範囲に対応する前記周波数応答を前記応答記憶部から読み出して利用し、センサにより検出された前記ロボット機構部の位置制御の対象とする制御対象部位の位置を目標位置に近づけるための学習補正量を算出する学習制御部とを備える学習制御装置である。

【図面の簡単な説明】

10

【0007】

【図1】本開示の一実施形態に係るロボットを示すブロック図である。

【図2】図1のロボットに備えらえるロボット機構部の一例を示す図である。

【図3】図2のロボット機構部のとり得る全てのイナーシャ範囲に対応する周波数応答を示すボード線図である。

【図4】図3の周波数応答のうち、動作プログラム内において、ロボット機構部のとり得るイナーシャ範囲に対応する周波数応答を示すボード線図である。

【図5】図1のロボットに備えられるロボット制御装置内の学習制御装置による処理を説明するフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

20

【0008】

本開示の一実施形態に係る学習制御装置1、ロボット制御装置200およびロボット100について、図面を参照して以下に説明する。

本実施形態に係るロボット100は、図1に示されるように、ロボット機構部110とロボット制御装置200とを備えている。

【0009】

ロボット機構部110は、例えば、図2に示されるように、スポット溶接用のマニピュレータである。ロボット機構部110としては、溶接ガン（負荷）111を先端に取り付けて、溶接作業を行う位置姿勢に溶接ガン111を到達させることができるのであれば、任意の機構のものを採用することができる。図2には、6軸多関節型ロボットが例示されている。溶接ガン111に代えて、任意のツールを適用してもよい。

30

【0010】

ロボット機構部110の位置およびロボット機構部110が静止するために減速した際に起きる軌跡誤差および振動誤差を検出するセンサとして、加速度センサ120が、ロボット機構部110の位置制御の対象である溶接ガン111（制御対象部位）に取り付けられている。加速度センサ120として三軸加速度センサを用いることができる。加速度センサ120は磁石を備えており、溶接ガン111に着脱可能である。

【0011】

ロボット制御装置200は、本実施形態に係る学習制御装置1と、ロボット機構部110を駆動する通常制御部201とを備えている。ロボット制御装置200はプロセッサおよびメモリにより構成されている。

40

【0012】

通常制御部201は、動作プログラムに規定された溶接ガン111の先端の目標軌跡もしくは目標位置に関する位置指令が与えられ、与えられた位置指令および後述する学習補正量を用いて、ロボット機構部110の動作を制御する。すなわち、通常制御部201は、ロボット機構部110に備えられたモータに信号を入力して、ロボット機構部110を構成しているアーム112、113を駆動しアーム112、113の先端に取り付けられた溶接ガン111を所望の目標軌跡もしくは目標位置に移動させる。

【0013】

学習制御装置1は、応答記憶部2と、学習制御部3とを備えている。

50

応答記憶部 2 は、メモリであり、図 3 に示されるように、ロボット機構部 110 の複数の姿勢および負荷において予め測定された学習補正量入力から制御対象部位までの周波数応答（伝達関数）を記憶している。

具体的には、ロボット機構部 110 の姿勢および負荷を種々設定したときの各軸のイナーシャと周波数応答とを対応付けて記憶している。

【0014】

学習制御部 3 は、図 5 に示されるように、動作プログラムが入力されると（ステップ S1）、イナーシャが計算され（ステップ S2）、イナーシャに対応する周波数応答が読み出される（ステップ S3）。読み出された周波数応答が適用され学習制御器 L（q）10 が設計され（ステップ S4）、設計された学習制御器 L（q）10 を用いて動作プログラムを繰り返し実行することにより（ステップ S5）、学習補正量が算出され、算出された学習補正量が記憶される（ステップ S6）。

10

具体的には、学習制御部 3 は、入力された動作プログラムにおいてロボット機構部 110 が取り得る姿勢および負荷の範囲に対応する周波数応答を応答記憶部 2 から読み出して利用する。

【0015】

さらに具体的には、学習制御部 3 は、入力された動作プログラムにおいてロボット機構部 110 が取り得る各軸のイナーシャの最小値および最大値を算出する処理部 4 を備える。処理部 4 は、図 4 に示されるように、イナーシャの最小値および最大値を算出し、算出されたイナーシャの最小値および最大値に挟まれる範囲に対応する周波数応答を応答記憶部 2 から読み出して学習制御部 3 に引き渡す。

20

【0016】

イナーシャと周波数応答とを対応付けたデータが離散的である場合には、処理部 4 は、入力されたイナーシャの最小値および最大値に対応する周波数応答を、例えば、応答記憶部 2 に記憶されている周波数応答を補間することにより読み出せばよい。そして、学習制御部 3 は、読み出した周波数応答を用いて、学習制御器（学習フィルタ）L（q）10 を求める。

【0017】

学習制御部 3 による学習（学習制御器 L（q）10 の設計）について以下に説明する。

学習制御部 3 は、動作プログラムによりロボット機構部 110 を動作させて、加速度センサ 120 によって検出したロボット機構部 110 の制御対象位置を通常制御部 201 に与えられた目標位置 $y_d(k)$ に近づけるために学習補正量を算出する学習を行う。

30

【0018】

ロボット機構部 110 には、加速度センサ 120、アーム 112、113、アーム先端部 114、モータ（図示せず）が設けられている。ロボット機構部 110 のモータには、ロボット制御装置 200 に含まれる通常制御部 201 からの信号が入力され、アーム 112、113 を駆動し、アーム先端部 114 を所望の位置に移動させて、例えば、溶接等の作業を実行する。

【0019】

アーム先端部 114 には加速度センサ 120 が設置されており、アーム先端部 114 の空間的な位置データ $y_j(k)$ を得ることができる。加速度センサ 120 からの位置データ $y_j(k)$ は学習制御部 3 に出力され、学習制御に利用される。ここで、 j は試行回数、 k は時間、 N_s は一試行のサンプリング数である。

40

【0020】

$y_d(k)$ は位置指令、 $y_j(k)$ は前回の制御対象量、 $e_j(k)$ はフィルタを通して、 $y_d(k)$ と $y_j(k)$ から計算された目的補正量である。 $u_j(k)$ は前回の学習補正量を表す。

【0021】

通常制御部 201 には、位置制御部 202、速度制御部 203、電流制御部 204、アンプ 205 および微分手段 206 が設けられている。位置制御部 202 は、動作プログラ

50

ムによって規定される位置指令データ $y_d(k)$ を受信するとともに、ロボット機構部 110 のモータ位置等の位置情報および学習制御部 3 からの学習補正量を受信し、ロボット機構部 110 のアーム 112, 113 の先端に取り付けられた溶接ガン 111 の所望の位置情報を速度制御部 203 に対して出力する。微分手段 206 は、ロボット機構部 110 からフィードバックされるモータ位置情報を受信し、モータ速度を算出し、これを速度制御部 203 に対して出力する。

【0022】

速度制御部 203 は、位置制御部 202 からの位置情報および微分手段 206 からのモータ速度情報を勘案して所望のモータ速度を算出し、これを電流制御部 204 に対して出力する。電流制御部 204 は、アンプ 205 からフィードバックされる電流値を受信するとともに、速度制御部 203 から入力された所望のモータ速度を達成するためのモータに流す電流を算出し、これをアンプ 205 に対して出力する。アンプ 205 は、電流制御部 204 からの電流値に基づいて所望の電力を算出し、これをロボット機構部 110 のモータに投入する。

10

【0023】

学習制御部 3 には、第 1 メモリ 5、位置変換器 6、ハイパスフィルタ 7、逆変換器 IK 8、順変換器 FK 9、学習制御器 $L(q)$ 10、ローパスフィルタ $Q(q)$ 11、第 2 メモリ 12、第 3 メモリ 13、第 4 メモリ 14 および一試行遅れ z^{-N_S} 15 が設けられている。そして、応答記憶部 2 から読み出された周波数応答から、線形行列不等式を解くことにより、学習制御器 $L(q)$ 10 の設計を行う。

20

【0024】

線形行列不等式とは、数 1 の拘束条件下で、 $c^T x \{ c \in R^m \}$ を最小とする x を算出する問題である。

【数 1】

$$F(x) = F_0 + \sum_{i=1}^m x_i F_i \geq 0 \quad (1)$$

$$(x \in R^m, F_i = F_i^* \in R^{n \times n}, m, i \in Z)$$

30

ここで、 F_i は半正定値符号行列である。

【0025】

いま、学習制御器 $L(q)$ 10 を数 2 とする。

【数 2】

$$L(z) = L_0 z^{-N_0} + L_1 z^{-N_0+1} + \dots + L_{N_0} z^0 + \dots + L_{2N_0-1} z^{N_0-1} + L_{2N_0} z^{N_0}$$

但し、 $N_0 \in Z$

40

【0026】

ここで、数 3 を定義することにより、学習制御器 $L(q)$ 10 の安定性および単調減少性を保証する条件は周波数領域状で数 4 の通りに表される。

【数 3】

50

$$x = \begin{bmatrix} \gamma^2 & L_0 & L_1 \cdots L_{2N_0} \end{bmatrix}^T \quad c^T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \cdots 0 \end{bmatrix}$$

但し、 $\gamma \in R$, $L_k \in R^{N_y \times N_u}$, $k \in Z$

【数 4】

$$\|Q(z)(I - L(z)P(z))\|_\infty = \gamma < 1$$

10

【 0 0 2 7 】

数 4 では $Q(z)$ が学習帯域をカット周波数に持つローパスフィルタ、 $L(z)$ が学習制御フィルタ、 $P(z)$ が応答記憶部 2 から読み出された周波数応答になる。この γ が小さい程、学習制御器 $L(q)$ 10 の性能は高くなる。

学習制御器 $L(q)$ 10 の最適化問題は $Q(z)$ 、すなわち、学習制御の帯域が与えられたとき、最小の γ を与える学習フィルタ $L(z)$ を算出する問題である。そして、数 4 は数 5 に変形することができる。

【 0 0 2 8 】

20

【数 5】

$$\begin{bmatrix} 0 & Q(e^{j\Omega_i})^* \\ Q(e^{j\Omega_i}) & 0 \end{bmatrix} + \gamma^2 \begin{bmatrix} I & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & (-Q(e^{j\Omega_i})L(e^{j\Omega_i})P(e^{j\Omega_i}))^* \\ (-Q(e^{j\Omega_i})L(e^{j\Omega_i})P(e^{j\Omega_i})) & 0 \end{bmatrix} \geq 0$$

ここで、数 6 とおくと、学習フィルタ $L(z)$ は数 7 の通りに表すことができる。

【数 6】

$$\phi_k(z) = z^{-N_0 + (k-1)}$$

30

【数 7】

$$\begin{aligned} L(e^{j\Omega_i}) &= L_0 \phi_0(z) \big|_{z=e^{j\Omega_i}} + \cdots + L_{2N_0} \phi_{2N_0}(z) \big|_{z=e^{j\Omega_i}} \\ &= \sum_{k=0}^{2N_0} L_k \phi_k(z) \big|_{z=e^{j\Omega_i}} \end{aligned}$$

40

【 0 0 2 9 】

L_k を $\alpha_{k,j}$ と V_j の線形性により表すと数 8 および数 9 の通りとなる。ここで、 V_j は L_k と同じ次元であり、 V_j は、要素 (j, i) 以外が全てゼロになる。例えば、 $N_y = 2$ 、 $N_u = 2$ とする。

【 0 0 3 0 】

【数 8】

50

$$L_k = \begin{bmatrix} L_{1.1}^k & L_{1.2}^k \\ L_{2.1}^k & L_{2.2}^k \end{bmatrix} = L_{1.1}^k \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} + L_{1.2}^k \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} + L_{2.1}^k \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} + L_{2.2}^k \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$= \alpha_{k,1} V_1 + \alpha_{k,2} V_2 + \alpha_{k,3} V_3 + \alpha_{k,4} V_4$$

【数 9】

10

$$Q(e^{j\Omega_i})L(e^{j\Omega_i})P(e^{j\Omega_i}) = Q(e^{j\Omega_i}) \sum_{k=0}^{2N_0} \sum_{j=1}^{N_y N_u} \alpha_{k,j} V_j \phi_k(z) \Big|_{z=e^{j\Omega_i}} P(e^{j\Omega_i})$$

$$= \sum_{l=1}^{(2N_0+1)N_y N_u} \beta_l F_l^i$$

ここで、

$$\beta_l = \alpha_{k,j}$$

20

$$F_l^i = Q(e^{j\Omega_i}) V_j P(e^{j\Omega_i})$$

【0 0 3 1】

したがって、数 9 を用いて数 5 は数 1 0 の通りに変形することができる。

【数 1 0】

$$\gamma^2 \begin{bmatrix} I & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} + \sum_{l=1}^{(2N_0+1)N_y N_u} \beta_l \begin{bmatrix} 0 & F_l^i (e^{j\Omega_i})^* \\ F_l^i (e^{j\Omega_i}) & 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & Q(e^{j\Omega_i})^* \\ Q(e^{j\Omega_i}) & 0 \end{bmatrix} \geq 0$$

30

【0 0 3 2】

そして、数 1 0 の第 1 項および第 2 項を数 1 1、数 1 0 の第 3 項を F_0 として考慮し、数 1 2 を定義することにより、数 1 0 は、数 1 3 と表現することができる。

【0 0 3 3】

【数 1 1】

$$\sum_{i=1}^m x_i F_i$$

40

【数 1 2】

$$c = [1 \ 0 \ 0 \ \cdots \ 0], \quad x = \begin{bmatrix} \gamma^2 & \beta_1 & \beta_2 & \cdots & \beta_{(2N_0+1)N_y N_u} \end{bmatrix}$$

【数 1 3】

$$\sum_{i=1}^m x_i F_i + F_0 \geq 0$$

50

【 0 0 3 4 】

これは、線形行列不等式 (1) の拘束条件と等価である。そして、最小化問題は $c^T x$ 、すなわち、 y^2 を最小とする問題に帰着する。これは、学習制御器 $L(q)$ 10 の最適化問題と読み替えることができる。よって、安定性条件と単調減少性への十分条件は、
 $c^T x = 1$

となる。そこで、応答記憶部 2 から読み出した周波数応答 $P(e^{j\Omega_i})$ および学習帯域フィルタ $Q(z)$ を与えれば、自動的に学習フィルタ $L(z)$ を求めることができる。

【 0 0 3 5 】

さらに、学習制御器 $L(q)$ 10 のロバスト性を考慮する。ロボット 100 は姿勢により大きくシステムが変化するのが特徴である。

10

ある一つの姿勢を基準姿勢としたときに、 $P_n(z)$ は基準姿勢の学習システムとする。そうすると、任意の姿勢 $P_m(z)$ は $P_m(z) = P_n(z) + \Delta P_m(z)$ と表される。 $\Delta P_m(z)$ は基準姿勢からの学習システムの変化量である。そのとき、学習帯域フィルタ $Q(z)$ が与えられた場合の拘束条件は数 14 の通りとなる。

【 0 0 3 6 】

【数 14】

$$\gamma_m^2 \begin{bmatrix} I & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} + \sum_{l=1}^{(2N_0+1)N_y N_u} \beta_l \begin{bmatrix} 0 & F_{l,m}^i(e^{j\Omega_i})^* \\ F_{l,m}^i(e^{j\Omega_i}) & 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & Q(e^{j\Omega_i})^* \\ Q(e^{j\Omega_i}) & 0 \end{bmatrix} \geq 0$$

20

そして、数 15 と定義する。

【数 15】

$$x_m = \begin{bmatrix} \gamma_m^2 & \beta_{1,m} & \beta_{2,m} & \cdots & \beta_{(2N_0+1)N_y N_u, m} \end{bmatrix}$$

【 0 0 3 7 】

30

このようにすると、安定性条件と単調減少性への十分条件は任意の整数 m に対して、以下の条件式を満たすときである。

$$c^T x_m = 1$$

そして、 m 姿勢分だけ、応答記憶部 2 から読み出した周波数応答 $P(e^{j\Omega_i})$ を適用すれば、前例同様に自動的に学習制御器 $L(q)$ 10 を求めることができる。本実施形態においては、応答記憶部 2 に記憶されている図 3 の周波数応答のうち、図 4 に示されるように、動作プログラムにおいて取り得るイナーシャの最小値および最大値に挟まれる範囲のイナーシャに対応する周波数応答を読み出して適用する。これにより、学習制御器 $L(q)$ 10 を求める。

【 0 0 3 8 】

40

次に、学習制御器 $L(q)$ 10 のデータ処理手順について説明する。

図 1 に示されるように、フィードバックは位置制御、速度制御および電流制御の 3 つのループから成立していて、学習制御はフィードバックの位置制御ループ外側にループを組んでいる。

【 0 0 3 9 】

実線部分は学習稼動状態で動作中に有効なループになり、停止後は点線のループが有効となる。 a_j は加速度センサ 120 から得た加速度データであり、位置変換器 6 は加速度データ a_j を位置データに変換する。学習中は、加速度センサ 120 が検出したロボット 100 の静止の際に起きる振動のデータを第 1 メモリ 5 に保存する。第 2 メモリ 12からは学習補正量 $u_{j+1}(k)$ が出力される。

50

【 0 0 4 0 】

学習動作終了後、位置変換器 6 により直交座標の軌跡・振動誤差を推定し、ゼロ位相ハイパスフィルタであるハイパスフィルタ 7 を用いることにより、オフセットを取り除いた軌跡・振動誤差 Δr を抽出する。その軌跡・振動誤差 Δr をモータ位置フィードバック (F B) データを記憶している第 4 メモリ 1 4 から順変換器 F K 9 を用いて推定したセンサからの位置データ r に加算することにより、アーム 1 1 2 , 1 1 3 のダイナミクスを含めた、加速度センサ 1 2 0 の直交座標系でのセンサ位置を推定する。

【 0 0 4 1 】

ここで、加速度センサ 1 2 0 から推定されたセンサ位置を、逆変換器 I K 8 を用いて基軸 3 軸に逆変換することにより、アームダイナミクスを含んだ各軸上での位置を計算する。このアームダイナミクスを含んだ各軸位置からアームダイナミクスを含まない各軸の位置、すなわち、モータの位置を減算することにより各軸目的補正量を計算する。数 1 6 では ψ_j が j 回目の試行の各軸目的補正量、I K は逆変換、 θ_{mj} は j 回目の試行の各軸モータ位置である。

【 0 0 4 2 】

【 数 1 6 】

$$\psi_j = IK^{-1}(r + \Delta r) - \theta_{mj}$$

【 0 0 4 3 】

この各軸目的補正量を学習制御器 L (q) 1 0 に入力することにより、次の試行の学習補正量 $u_{j+1}(k)$ を計算する。学習制御器 L (q) 1 0 を通して、第 3 メモリ 1 3 から前の試行の学習補正量 $u_j(k)$ を足し込み、ローパスフィルタ Q (q) 1 1 を通して、次の試行の学習補正量 $u_{j+1}(k)$ が算出される。

【 0 0 4 4 】

算出された学習補正量 $u_{j+1}(k)$ は第 2 メモリ 1 2 に記憶されるとともに、通常制御部 2 0 1 の位置制御部 2 0 2 において算出される位置偏差データに加算される。

学習補正量により補正された位置偏差データに基づいてロボット機構部 1 1 0 が制御され、学習制御が繰り返される。

【 0 0 4 5 】

言い換えると、通常制御部 2 0 1 が、位置指令および学習補正量を用いて動作プログラムによりロボット機構部 1 1 0 を動作させる。その間に、学習制御部 3 は、加速度センサ 1 2 0 により検出された溶接ガン 1 1 1 の先端位置と目標位置との差分である目的補正量を算出し、学習補正量および目的補正量に基づいて溶接ガン 1 1 1 の先端位置を目標位置に近づける新たな学習補正量を算出する。

【 0 0 4 6 】

学習制御部 3 による学習制御が繰り返されることにより、通常制御部 2 0 1 における位置偏差を「 0 」に収束させていく。学習制御部 3 により算出された学習補正量は、算出される都度更新されて第 2 メモリ 1 2 に記憶され、学習が終了した後には、最後に記憶された学習補正量が用いられて通常制御部 2 0 1 がロボット機構部 1 1 0 を動作させる。

【 0 0 4 7 】

すなわち、学習終了後には、図 1 の点線で示した学習補正量更新のためのループは実行されず、第 2 メモリ 1 2 から学習補正量 $u_{j+1}(k)$ が位置制御部 2 0 2 に出力される。なお、図 1 において実線部分は、通常制御部 2 0 1 がロボット機構部 1 1 0 を動作させる際に実行される部分を示している。

【 0 0 4 8 】

このように、本実施形態に係る学習制御装置 1、ロボット制御装置 2 0 0 およびロボット 1 0 0 によれば、学習制御器 L (q) 1 0 の設計に際して、ロボット機構部 1 1 0 が取り得るイナーシャの全範囲に対応する周波数応答が用いられるのではない。その代わりに

、動作プログラムにおいてロボット機構部 1 1 0 が取り得るイナーシャの範囲に対応する周波数応答が用いられて学習制御器 L (q) 1 0 が設計される。これにより、学習制御器 L (q) 1 0 のロバスト性は過大なものとならず、制御性能の低下を抑えることができるという利点がある。

【 0 0 4 9 】

すなわち、制御性能の低下を抑えることにより、ロボット機構部 1 1 0 の振動を良好に除去することができる適正な学習補正量を取得することができる。

そして、必要な範囲の周波数応答のみを適用することにより、学習結果を収束させるのに必要な学習回数を低減することができ、短時間で学習制御器 L (q) 1 0 を設計することができる。したがって、ロボット 1 0 0 の納入先においてユーザが使用する動作プログラムが設定される都度に行われる学習制御器 L (q) 1 0 の設計時間を短縮し、ユーザにかかる負担を軽減することができる。

10

【 0 0 5 0 】

なお、本実施形態においては、動作プログラム全体においてロボット機構部 1 1 0 が取り得るイナーシャの最小値と最大値とに挟まれる範囲に対応する周波数応答を応答記憶部 2 から読み出して学習制御器 L (q) 1 0 の設計に使用することとした。これに代えて、イナーシャの最小値と最大値とに対応する周波数応答のみを読み出してもよい。

【 0 0 5 1 】

また、動作プログラム内におけるロボット機構部 1 1 0 のイナーシャの変動が大きい場合には、イナーシャの大きさによって動作プログラムを複数の小プログラムに区分し、各小プログラムについて学習制御器 L (q) 1 0 を設計してもよい。これにより、各小プログラムに対応する学習制御器 L (q) 1 0 に適用する周波数応答の範囲を狭くして、ロバスト性が過大となることを抑え、制御性能を担保することができる。

20

【 0 0 5 2 】

あるいは、イナーシャの大きさに関わらず、動作プログラムを複数の小プログラムに区分し、各小プログラムについて学習制御器 L (q) 1 0 を設計してもよい。これによっても、各学習制御器 L (q) 1 0 に適用する周波数応答の範囲を狭くして、ロバスト性が過大となることを抑えることができる。

【 0 0 5 3 】

また、本実施形態においては、センサとして加速度センサ 1 2 0 を採用したが、これに限定されるものではなく、ロボット機構部 1 1 0 の先端の位置を直接的あるいは間接的に検出できるものであれば任意のセンサを用いてよい。例えば、ロボット機構部 1 1 0 の外部に設置した距離センサ、あるいは、ロボット機構部 1 1 0 の先端に取り付けたビジョンセンサを用いてもよい。

30

【符号の説明】

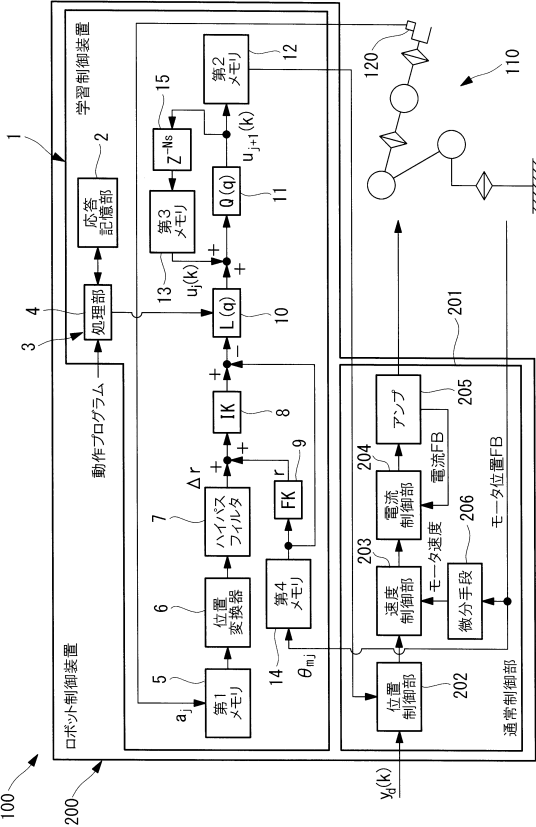
【 0 0 5 4 】

- 1 学習制御装置
- 2 応答記憶部
- 3 学習制御部
- 1 0 0 ロボット
- 1 1 0 ロボット機構部
- 1 2 0 加速度センサ (センサ)
- 2 0 0 ロボット制御装置
- 2 0 1 通常制御部

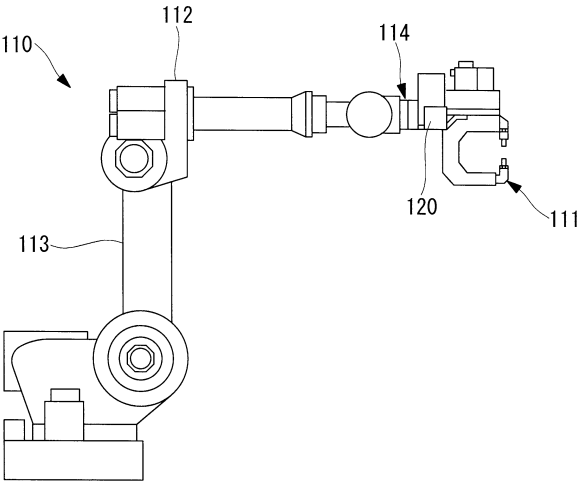
40

【図面】

【図 1】



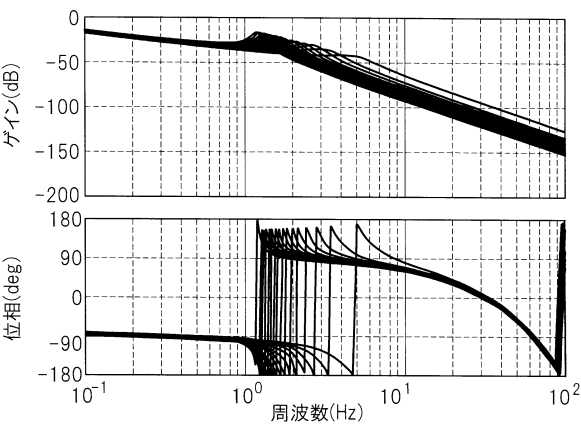
【図 2】



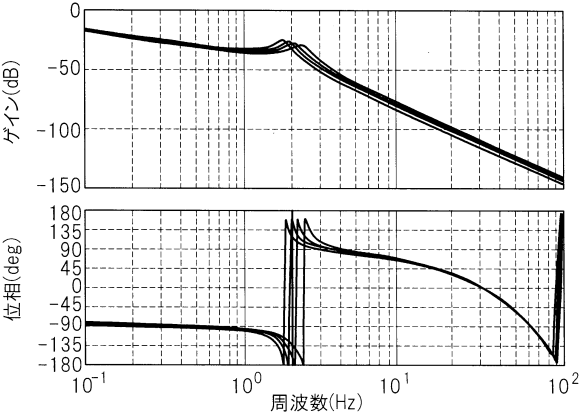
10

20

【図 3】



【図 4】

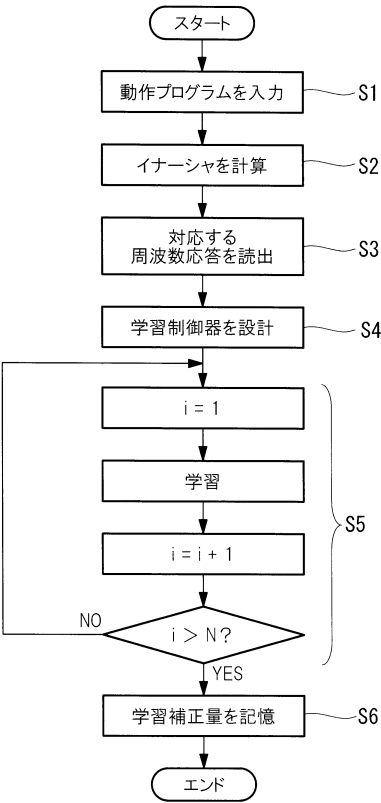


30

40

50

【図 5】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

(72)発明者 鈴木 元

山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場 3 5 8 0 番地 ファナック株式会社内

審査官 國武 史帆

(56)参考文献 特開 2 0 1 1 - 1 6 7 8 1 7 (J P , A)

特開 2 0 1 7 - 1 2 7 9 6 4 (J P , A)

(58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)

B 2 5 J 1 / 0 0 - 2 1 / 0 0