

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2018-169934  
(P2018-169934A)

(43) 公開日 平成30年11月1日(2018.11.1)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
<b>G05B 19/4155 (2006.01)</b>	G05B 19/4155 V	3C059
<b>B23H 7/02 (2006.01)</b>	B23H 7/02 S	3C269
<b>B23Q 15/00 (2006.01)</b>	B23Q 15/00 301C	

審査請求 有 請求項の数 8 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願2017-68520 (P2017-68520)  
(22) 出願日 平成29年3月30日 (2017.3.30)

(71) 出願人 390008235  
ファナック株式会社  
山梨県南部留郡忍野村忍草字古馬場358  
〇番地  
(74) 代理人 110001151  
あいわ特許業務法人  
(72) 発明者 中島 廉夫  
山梨県南部留郡忍野村忍草字古馬場358  
〇番地 ファナック株式会社内  
Fターム(参考) 3C059 AA01 AB05 CL08 CM01  
3C269 AB08 BB03 BB07 EF66 EF94  
MN40 MN44

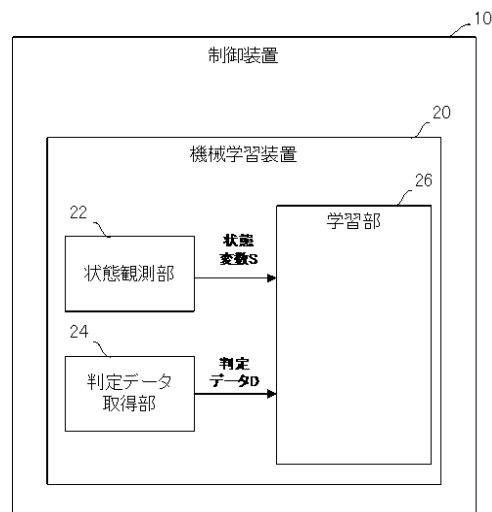
(54) 【発明の名称】 ワイヤ放電加工機の制御装置及び機械学習装置

(57) 【要約】

【課題】補正パラメータを適切かつ容易に決定できるワイヤ放電加工機の制御装置及び機械学習装置を提供する。

【解決手段】制御装置10は、ワイヤ放電加工を行う際の補正パラメータを最適化する制御装置10であって、ワイヤ放電加工を行う際の補正パラメータを学習する機械学習装置20を備え、機械学習装置20は、ワイヤ放電加工を行う際の条件を示す条件データを状態変数として観測する状態観測部22と、ワイヤ放電加工において加工精度が良好であった場合の補正パラメータを示す判定データを取得する判定データ取得部24と、状態変数と判定データとを用いて、補正パラメータをワイヤ放電加工を行う際の条件と関連付けて学習する学習部26と、を備える。

【選択図】 図1



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

ワイヤ放電加工を行う際の補正パラメータを最適化する制御装置であって、  
前記ワイヤ放電加工を行う際の補正パラメータを学習する機械学習装置を備え、  
前記機械学習装置は、  
前記ワイヤ放電加工を行う際の条件を示す条件データを状態変数として観測する状態観測部と、  
前記ワイヤ放電加工において加工精度が良好であった場合の前記補正パラメータを示す判定データを取得する判定データ取得部と、  
前記状態変数と前記判定データとを用いて、前記補正パラメータを前記ワイヤ放電加工を行う際の条件と関連付けて学習する学習部と、を備えることを特徴とする  
制御装置。

10

**【請求項 2】**

前記学習部は、前記状態変数及び前記判定データから前記ワイヤ放電加工を行う際の補正パラメータを導く相関性モデルと予め用意された教師データから識別される相関性特徴との誤差を計算する誤差計算部と、  
前記誤差を縮小するように前記相関性モデルを更新するモデル更新部とを備えることを特徴とする  
請求項 1 記載の制御装置。

**【請求項 3】**

前記学習部は、前記状態変数と前記判定データとを多層構造で演算することを特徴とする  
請求項 1 記載の制御装置。

20

**【請求項 4】**

前記学習部による学習結果に基づいて、前記ワイヤ放電加工を行う際の補正パラメータを表示又は出力する意思決定部を更に備えることを特徴とする  
請求項 1 記載の制御装置。

**【請求項 5】**

前記学習部は、複数のワイヤ放電加工機のそれぞれについて得られた前記状態変数及び前記判定データを用いて、該複数のワイヤ放電加工機のそれぞれにおける前記ワイヤ放電加工を行う際の補正パラメータを学習することを特徴とする  
請求項 1 記載の制御装置。

30

**【請求項 6】**

ワイヤ放電加工を行う際の補正パラメータを最適化する制御装置において、  
前記ワイヤ放電加工を行う際の条件を示す条件データを状態変数として観測する状態観測部と、  
前記ワイヤ放電加工において加工精度が良好であった場合の前記補正パラメータを示す判定データを取得する判定データ取得部と、  
前記状態変数と前記判定データとを用いて、前記補正パラメータを前記ワイヤ放電加工を行う際の条件と関連付けて学習する学習部と、を備えることを特徴とする  
機械学習装置。

40

**【請求項 7】**

ワイヤ放電加工機がワイヤ放電加工を行う際の条件を示す条件データを状態変数として観測する状態観測部と、  
前記ワイヤ放電加工において加工精度が良好であった場合の補正パラメータを示す判定データを取得する判定データ取得部と、  
前記状態変数と前記判定データとを用いて、前記補正パラメータを前記ワイヤ放電加工を行う際の条件と関連付けた学習済みモデルを生成する学習部と、を備えることを特徴とする  
機械学習装置。

50

**【請求項 8】**

請求項 7 記載の機械学習装置が生成した前記学習済みモデルを有し、  
前記学習済みモデルに基づいて、前記ワイヤ放電加工を行う際の補正パラメータを表示  
又は出力する意思決定部を更に備えることを特徴とする  
制御装置。

**【発明の詳細な説明】****【技術分野】****【0001】**

本発明は、ワイヤ放電加工機の制御装置及び機械学習装置に関する。

**【背景技術】****【0002】**

ワイヤ放電加工機は、ワイヤ電極とワークとの間の放電ギャップが一定となるように、  
ワイヤ電極の送り速度を適切に制御する必要がある。放電ギャップとは、ワイヤ放電加工  
中のワイヤ電極とワークとの間の距離である（図 7 参照）。例えばワイヤ経路に沿って単  
にワイヤ電極を一定速で送ると、様々な要因の影響を受け、加工の過程で放電ギャップが  
広くなったり狭くなったりといった変化が生じる。このような放電ギャップの変化は加工  
精度の低下を招く。例えば放電ギャップが狭くなると短絡が発生し、加工不能となる。一  
方放電ギャップが広くなると放電が発生せず、加工不能となる。そのためワイヤ放電加工  
機では、放電ギャップを一定に保つよう送り速度を制御することが求められる。

**【0003】**

ところが放電ギャップは直接検出することが困難である。そのため、極間平均電圧や放  
電遅れ時間といった検出容易な代替指標が用いられることが多い。極間平均電圧の高さや  
放電遅れ時間の長さは、いずれも放電ギャップの広さと相関があることが知られている。  
そこで放電ギャップを一定化する代わりに、これらの代替指標の一定化を図る各種制御が  
行われている。図 8 はこのような代替指標による放電送り制御の一例を示すブロック図で  
ある。指標の目標値に対する実際の検出値の偏差が生じると、偏差を 0 に近づけるべく、  
所定の制御則に基づいてワイヤ電極の送り速度指令が変更される。

**【0004】**

また、例えば特許文献 1 及び特許文献 2 には、加工状況に応じて極間平均電圧を補正す  
ることにより、高い加工精度を担保する技術が記載されている。

**【先行技術文献】****【特許文献】****【0005】**

【特許文献 1】特許第 4 7 3 4 4 4 7 号

【特許文献 2】特許第 5 7 9 4 4 0 1 号

**【発明の概要】****【発明が解決しようとする課題】****【0006】**

しかしながら、図 8 に示すような制御では、あらゆる場合に放電ギャップを一定化する  
ことは困難である。例えば、直線部で観察される極間平均電圧や放電遅れ時間と放電ギャ  
ップとの相関関係は、ワイヤ電極とワークの対向面積や加工屑濃度などの影響を受けてコー  
ナ部では崩れることが知られている。つまり極間平均電圧や放電遅れ時間などの検出値  
も、代替指標として万能ではない。

**【0007】**

そのため実際の加工では、図 8 に示すような代替指標の検出値による制御に、経験則に  
よるチューニングを加えることで加工精度を担保している。例えば、いわゆる外コーナは  
直線部よりも送り速度を早くすると良いことが分かっている。そこで、外コーナの加工の  
際には検出値、目標値、制御則のいずれかに補正を施すことで送り速度を早める。

**【0008】**

例えば図 8 に示す制御において、制御則に補正パラメータ（例えば比例制御におけるゲ

10

20

30

40

50

イン)を持たせる。また、事前の実験結果に基づいて放電ギャップが一定になるような補正パラメータを定義しておく。そして加工の際には当該補正パラメータを用いて制御則を補正する。ここで補正パラメータの値は、例えばプログラム形状、ワイヤ径、ワーク板厚など多くの変数(P1, P2, P3)に依存している。そして目標値、検出値および制御則自体も、変数P1, P2, P3に依存して決定されている。

【0009】

このような従来の経験則に基づく補正処理を含む制御を行うためには、補正パラメータに影響を与える変数を様々に変化させて総当り的な実験を行い、補正パラメータを決定する必要がある。しかしながら、補正パラメータに影響を与える変数の数が多いため、実験の工数も膨大となり、開発に時間がかかってしまうという問題があった。また、事前に実験が行われていない変数を用いた加工には対応できないという問題もあった。

10

【0010】

そこで本発明の目的は、補正パラメータを適切かつ容易に決定できるワイヤ放電加工機の制御装置及び機械学習装置を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0011】

本発明の一態様は、ワイヤ放電加工を行う際の補正パラメータを最適化する制御装置であって、前記ワイヤ放電加工を行う際の補正パラメータを学習する機械学習装置を備え、前記機械学習装置は、前記ワイヤ放電加工を行う際の条件を示す条件データを状態変数として観測する状態観測部と、前記ワイヤ放電加工において加工精度が良好であった場合の前記補正パラメータを示す判定データを取得する判定データ取得部と、前記状態変数と前記判定データとを用いて、前記補正パラメータを前記ワイヤ放電加工を行う際の条件と関連付けて学習する学習部と、を備えることを特徴とする制御装置である。

20

【0012】

本発明の他の態様は、前記学習部は、前記状態変数及び前記判定データから前記ワイヤ放電加工を行う際の補正パラメータを導く相関性モデルと予め用意された教師データから識別される相関性特徴との誤差を計算する誤差計算部と、前記誤差を縮小するように前記相関性モデルを更新するモデル更新部とを備えることを特徴とする制御装置である。

【0013】

本発明の他の態様は、前記学習部は、前記状態変数と前記判定データとを多層構造で演算することを特徴とする制御装置である。

30

【0014】

本発明の他の態様は、前記学習部による学習結果に基づいて、前記ワイヤ放電加工を行う際の補正パラメータを表示又は出力する意思決定部を更に備えることを特徴とする制御装置である。

【0015】

本発明の他の態様は、前記学習部は、複数のワイヤ放電加工機のそれぞれについて得られた前記状態変数及び前記判定データを用いて、該複数のワイヤ放電加工機のそれぞれにおける前記ワイヤ放電加工を行う際の補正パラメータを学習することを特徴とする制御装置である。

40

【0016】

本発明の他の態様は、ワイヤ放電加工を行う際の補正パラメータを最適化する制御装置において、前記ワイヤ放電加工を行う際の条件を示す条件データを状態変数として観測する状態観測部と、前記ワイヤ放電加工において加工精度が良好であった場合の前記補正パラメータを示す判定データを取得する判定データ取得部と、前記状態変数と前記判定データとを用いて、前記補正パラメータを前記ワイヤ放電加工を行う際の条件と関連付けて学習する学習部と、を備えることを特徴とする機械学習装置である。

【発明の効果】

【0017】

本発明により、補正パラメータを適切かつ容易に決定できるワイヤ放電加工機の制御装

50

置及び機械学習装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0018】

【図1】制御装置10の構成例を示すブロック図である。

【図2】教師あり学習を実行する学習部26を備えた制御装置10の構成例を示すブロック図である。

【図3A】教師あり学習におけるニューロンのモデルを示す模式図である。

【図3B】ニューラルネットワークのモデルを示す模式図である。

【図4】制御装置40の構成例を示すブロック図である。

【図5】制御システム70の構成例を示すブロック図である。

【図6】制御システム70'の構成例を示すブロック図である。

【図7】ワイヤ放電加工機における放電送り制御を示す模式図である。

【図8】ワイヤ放電加工機における放電送り制御の一例を示すブロック図である。

【図9】制御装置10を利用したワイヤ放電加工機における放電送り制御の一例を示すブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【0019】

以下、本発明の実施形態を図面と共に説明する。

図1は、第1の実施形態によるワイヤ放電加工機の制御装置(以下、単に制御装置と称する)10の概略的な機能ブロック図である。制御装置10は、例えばワイヤ放電加工機(図示せず)を制御する数値制御装置として実装することができる。制御装置10は、ワイヤ放電加工における送り速度制御、換言すれば極間平均電圧や放電遅れ時間などの指標の制御を行うために最適な制御則の補正パラメータを、いわゆる機械学習により自ら学習するためのソフトウェア(学習アルゴリズム等)及びハードウェア(コンピュータのCPU等)を含む機械学習装置20を備える。制御装置10が備える機械学習装置20は当該学習により、ワイヤ放電加工を行う際の諸変数(典型的にはプログラム形状、ワイヤ径、ワーク板厚など)と、当該ワイヤ放電加工における補正パラメータとの、相関性を表すモデル構造を形成する。

【0020】

図1に機能ブロックで示すように、制御装置10が備える機械学習装置20は、ワイヤ放電加工を行う際の諸条件を示す条件データを状態変数Sとして観測する状態観測部22と、加工状態が良好であったときの補正パラメータを示す判定データDを取得する判定データ取得部24と、状態変数Sと判定データDとを用いて学習を行う学習部26とを備える。

【0021】

状態観測部22は、例えばコンピュータのCPUの一機能として構成できる。或いは状態観測部22は、例えばコンピュータのCPUを機能させるためのソフトウェアとして構成できる。状態観測部22が観測する状態変数Sには、例えば、加工プログラムで定義された加工形状(例えばコーナ部の凹凸の別。いわゆるピン角又は円弧の別。及び、ピン角の場合はその角度、円弧の場合はその曲率など。)、加工諸元(ワイヤ径、ワーク板厚、ノズル隙間など)などを含めることができる。なお、本発明はこれらの変数を限定することを趣旨とせず、他のふさわしい変数を状態変数Sとして採用することも可能である。

【0022】

判定データ取得部24は、例えばコンピュータのCPUの一機能として構成できる。或いは判定データ取得部24は、例えばコンピュータのCPUを機能させるためのソフトウェアとして構成できる。判定データ取得部24が取得する判定データDは、ワイヤ放電加工がなされた後にワークの加工精度が実測され、所望の加工精度が達成できたか否かが判定され、達成できたと判定された場合の当該加工時の補正パラメータである。加工精度の検査及び判定は、例えばワーク表面の凹凸を検査できる測定機が、加工後のワークが所定の条件を満たしているか否かを判定することで実現できる。また、ユーザが加工後のワー

10

20

30

40

50

クを顕微鏡などを用いて検査し、加工精度を判定することもできる。判定データDは、状態変数Sの下でワイヤ放電加工を実行し、かつ加工状態が良好であったときの補正パラメータであって、ワイヤ放電加工を行うに良好な環境の一状態を間接的に表すものである。

【0023】

このように、制御装置10が備える機械学習装置20が学習を進める間、環境においては、ワイヤ放電加工機による状態変数Sのもとでのワークの加工、及び加工状態の判定と判定データDの出力とが繰り返し実施される。

【0024】

学習部26は、例えばコンピュータのCPUの一機能として構成できる。或いは学習部26は、例えばコンピュータのCPUを機能させるためのソフトウェアとして構成できる。学習部26は、機械学習と総称される任意の学習アルゴリズムに従い、ワイヤ放電加工における状態変数Sと判定データDとの関係を学習する。1回の学習サイクルにおいて、学習部26には、ある状態変数Sと、当該状態変数Sのもとで加工を行った際の判定データDとのセットが1つ入力される。学習部26は、このような学習サイクルを繰り返し実施する。例えば、様々な加工形状、ワイヤ径、ワーク板厚などでの加工を行い、その際の状態変数Sと判定データDとが入力される。また、同型の複数のワイヤ放電加工機から収集した状態変数Sと判定データDとが、1つの学習部26に入力されても良い。例えば、ワイヤ放電加工機が配置されている多数の拠点から、状態変数Sと判定データDのセットを含む加工データをオンラインで収集することで、いわゆるビッグデータを生成することもできる。

10

20

【0025】

このような学習サイクルを繰り返すことにより、学習部26は、放電加工の結果が良好である場合の、状態変数Sと判定データDとの相関性を暗示する特徴を自動的に識別することができる。学習アルゴリズムの開始時には状態変数Sと判定データDとの相関性モデルは未知であるが、学習部26は、学習を進めるに従い徐々に特徴を識別して相関性を解釈する。状態変数Sと判定データDとの相関性がある程度信頼できる水準まで解釈されると、学習部26が反復出力する学習結果は、現在状態（つまり加工形状、加工諸元など）のもとでの放電加工でどのような補正パラメータを使用すべきかという行動の選択（つまり意思決定）を行うために使用できるものとなる。つまり学習部26は、学習アルゴリズムの進行に伴い、現在状態と、使用すべき補正パラメータという行動との相関性を最適解に徐々に近づけることができる。

30

【0026】

制御装置10が備える機械学習装置20によれば、学習部26の学習結果を用いることで、加工形状や加工諸元などに応じた最適な補正パラメータを、経験や複雑な対応表などにたよらずに自動的に、かつ正確に求めることができるようになる。加工形状や加工諸元などに応じた最適な補正パラメータを経験等に依存せずに自動的に求めることができれば、ワイヤ放電加工前開始前に加工プログラムの解析を行い（公知技術である為詳細な説明は行わない）、ワイヤ径やワーク板厚等の諸元を入力するだけで、制御側に適用すべき補正パラメータを迅速に決定することができる。したがって、補正パラメータの設定、ひいてはワイヤ放電加工全体に係る時間を短縮することができる。

40

【0027】

上記構成を有する機械学習装置20では、学習部26が実行する学習アルゴリズムは特に限定されず、機械学習として公知の学習アルゴリズムを採用できる。図2は、学習アルゴリズムの一例として教師あり学習を実行する学習部26を備えた構成を示す。教師あり学習は、入力とそれに対応する出力との既知のデータセット（教師データと称する）が予め大量に与えられ、それら教師データから入力と出力との相関性を暗示する特徴を識別することで、新たな入力に対する所要の出力を推定するための相関性モデル（本実施の形態の機械学習装置20ではある条件下でワイヤ放電加工を行う場合の補正パラメータ）を学習する手法である。

【0028】

50

図 2 に示す制御装置 10 が備える機械学習装置 20 において、学習部 26 は、状態変数 S 及び判定データ D からワイヤ放電加工を行う際の最適な補正パラメータを導く相関性モデル M と予め用意された教師データ T から識別される相関性特徴との誤差 E を計算する誤差計算部 32 と、誤差 E を縮小するように相関性モデル M を更新するモデル更新部 34 とを備える。学習部 26 は、モデル更新部 34 が相関性モデル M の更新を繰り返すことによって、所与の加工条件における最適な補正パラメータを学習する。

【0029】

相関性モデル M の初期値は、例えば、状態変数 S 及び判定データ D との相関性を単純化して（例えば任意の関数で）表現したものであり、教師あり学習の開始前に学習部 26 に与えられる。教師データ T は、例えば、過去のワイヤ放電加工において熟練の作業者が決定した諸条件を記録することで蓄積された経験値（加工形状や加工諸元と、適切な補正パラメータと、の既知のデータセット）によって構成でき、教師あり学習の開始前に学習部 26 に与えられる。誤差計算部 32 は、学習部 26 に与えられた大量の教師データ T から加工形状や加工諸元と、適切な補正パラメータと、の相関性を暗示する相関性特徴を識別し、この相関性特徴と、現在状態における状態変数 S 及び判定データ D に対応する相関性モデル M との誤差 E を求める。モデル更新部 34 は、例えば予め定めた更新ルールに従い、誤差 E が小さくなる方向へ相関性モデル M を更新する。

【0030】

次の学習サイクルでは、誤差計算部 32 は、更新後の相関性モデル M に従って実装工程を試行することにより変化した状態変数 S 及び判定データ D を用いて、それら変化した状態変数 S 及び判定データ D に対応する相関性モデル M に関し誤差 E を求め、モデル更新部 34 が再び相関性モデル M を更新する。このようにして、未知であった環境の現在状態（加工形状や加工諸元）とそれに対する行動（適切な補正パラメータの決定）との相関性が徐々に明らかになる。つまり相関性モデル M の更新により、加工形状や加工諸元と、当該加工形状及び加工諸元でワイヤ放電加工を行う際の適切な補正パラメータと、の関係が最適解に徐々に近づけられる。

【0031】

教師あり学習を進める際に、例えばニューラルネットワークを用いることもできる。図 3 A は、ニューロンのモデルを模式的に示す。図 3 B は、図 3 A に示すニューロンを組み合わせ構成した三層のニューラルネットワークのモデルを模式的に示す。ニューラルネットワークは、例えば、ニューロンのモデルを模した演算装置や記憶装置等によって構成できる。

【0032】

図 3 A に示すニューロンは、複数の入力  $x$ （ここでは一例として、入力  $x_1 \sim$  入力  $x_3$ ）に対する結果  $y$  を出力するものである。各入力  $x_1 \sim x_3$  には、この入力  $x$  に対応する重み  $w$ （ $w_1 \sim w_3$ ）が掛けられる。これにより、ニューロンは、次の数 1 式により表現される出力  $y$  を出力する。なお、数 1 式において、入力  $x$ 、出力  $y$  及び重み  $w$  は、すべてベクトルである。また、 $\theta$  はバイアスであり、 $f_k$  は活性化関数である。

【0033】

【数 1】

$$y = f_k \left( \sum_{i=1}^n x_i w_i - \theta \right)$$

【0034】

図 3 B に示す三層のニューラルネットワークは、左側から複数の入力  $x$ （ここでは一例として、入力  $x_1 \sim$  入力  $x_3$ ）が入力され、右側から結果  $y$ （ここでは一例として、結果  $y_1 \sim$  結果  $y_3$ ）が出力される。図示の例では、入力  $x_1$ 、 $x_2$ 、 $x_3$  のそれぞれに対応する重み（総称して  $w_1$  で表す）が乗算されて、個々の入力  $x_1$ 、 $x_2$ 、 $x_3$  がいずれも 3 つのニューロン N11、N12、N13 に入力されている。

【0035】

10

20

30

40

50

図3Bでは、ニューロン $N_{11} \sim N_{13}$ の各々の出力を、総称して $z_1$ で表す。 $z_1$ は、入力ベクトルの特徴量を抽出した特徴ベクトルと見なすことができる。図示の例では、特徴ベクトル $z_1$ のそれぞれに対応の重み（総称して $w_2$ で表す）が乗算されて、個々の特徴ベクトル $z_1$ がいずれも2つのニューロン $N_{21}$ 、 $N_{22}$ に入力されている。特徴ベクトル $z_1$ は、重み $w_1$ と重み $w_2$ との間の特徴を表す。

【0036】

図3Bでは、ニューロン $N_{21} \sim N_{22}$ の各々の出力を、総称して $z_2$ で表す。 $z_2$ は、特徴ベクトル $z_1$ の特徴量を抽出した特徴ベクトルと見なすことができる。図示の例では、特徴ベクトル $z_2$ のそれぞれに対応の重み（総称して $w_3$ で表す）が乗算されて、個々の特徴ベクトル $z_2$ がいずれも3つのニューロン $N_{31}$ 、 $N_{32}$ 、 $N_{33}$ に入力されている。特徴ベクトル $z_2$ は、重み $w_2$ と重み $w_3$ との間の特徴を表す。最後にニューロン $N_{31} \sim N_{33}$ は、それぞれ結果 $y_1 \sim y_3$ を出力する。

10

【0037】

制御装置10が備える機械学習装置20においては、状態変数 $S$ と判定データ $D$ とを入力 $x$ として、学習部26が上記したニューラルネットワークに従う多層構造の演算を行うことで、ワイヤ放電加工を行う際の最適な補正パラメータ（結果 $y$ ）を出力することができる。なおニューラルネットワークの動作モードには、学習モードと価値予測モードとがあり、例えば学習モードで学習データセットを用いて重み $W$ を学習し、学習した重み $W$ を用いて価値予測モードで行動の価値判断を行うことができる。なお価値予測モードでは、検出、分類、推論等を行うこともできる。

20

【0038】

上記した制御装置10の構成は、コンピュータのCPUが実行する機械学習方法（或いはソフトウェア）として記述できる。この機械学習方法は、ワイヤ放電加工を行う際の最適な補正パラメータを学習する機械学習方法であって、コンピュータのCPUが、ワイヤ放電加工を行う際の諸条件を示す条件データを状態変数 $S$ として観測するステップと、状態変数 $S$ のもとで加工を行った際のワークの状態が良好であったときの補正パラメータを示す判定データ $D$ とを取得するステップと、状態変数 $S$ と判定データ $D$ とを用いて、放電加工を行う際の諸条件と適切な補正パラメータとを関連付けて学習するステップとを有する。

【0039】

このような制御装置10により学習されたワイヤ放電加工を行う際の適切な補正パラメータは、ワイヤ放電加工を行う際、例えば次のようにして利用することができる。図9は、制御装置10の学習結果を用いるワイヤ放電加工機の制御装置の機能ブロック図である。ワイヤ放電加工機の制御装置は、例えば制御則として比例則、検出値として極間平均電圧を用いて放電送り制御を行う。

30

【0040】

ワイヤ放電加工機の制御装置は、直線部の加工中と、コーナ部の加工中は制御則を変更する。具体的には、比例ゲインの値を $K = K_0 + P \times K_1$ とし、パラメータ $P$ を変更することにより比例ゲインを変更する。つまりパラメータ $P$ は比例ゲインの変更に關する感度である。ワイヤ放電加工機の制御装置は、直線部の加工は $K = K_0$ で行う。ここで $K_0$ は種々の従来技術を用いて適宜決定することが可能である。一方、コーナ部の加工は $K = K_0 + P \times K_1$ で行う。ここでワイヤ放電加工機の制御装置は、制御装置10に現在行おうとしている放電加工の諸条件を状態変数 $S$ として入力することにより、当該状態変数 $S$ に対応する判定データ $D$ 、すなわち補正パラメータを求める。そして、この補正パラメータを $P$ として用いることにより、最適なゲインを得ることができる。これにより、制御装置10を用いるワイヤ放電加工機の制御装置は、コーナ部の形状精度を向上させることが可能となる。

40

【0041】

図4は、第2の実施形態による制御装置40を示す。制御装置40は、機械学習装置50と、状態観測部22が観測する状態変数 $S$ を状態データ $S_0$ として取得する状態データ

50

取得部 42 とを備える。

【0042】

制御装置 40 が有する機械学習装置 50 は、ワイヤ放電加工を行う際の最適な補正パラメータを機械学習により自ら学習するためのソフトウェア（学習アルゴリズム等）及びハードウェア（コンピュータの CPU 等）に加えて、学習したワイヤ放電加工を行う際の最適な補正パラメータを表示、又はワイヤ放電加工機（図示せず）への指令として出力するためのソフトウェア（演算アルゴリズム等）及びハードウェア（コンピュータの CPU 等）を含むものである。制御装置 40 が含む機械学習装置 50 は、1つの共通の CPU が、学習アルゴリズム、演算アルゴリズム等の全てのソフトウェアを実行する構成を有することもできる。

10

【0043】

意思決定部 52 は、例えばコンピュータの CPU の一機能として構成できる。或いは意思決定部 52 は、例えばコンピュータの CPU を機能させるためのソフトウェアとして構成できる。意思決定部 52 は、学習部 26 が学習したワイヤ放電加工を行う際の最適な補正パラメータを作業者に表示したり、又は学習部 26 が学習したワイヤ放電加工を行う際の最適な補正パラメータに基づいてワイヤ放電加工機への指令値 C を生成、出力する。意思決定部 52 がワイヤ放電加工を行う際の最適な補正パラメータを表示し、これに基づいた作業者による補正パラメータの設定が行われた場合、又は、意思決定部 52 がワイヤ放電加工機に対して指令値 C を出力した場合は、これに応じて、環境の状態が変化する。

【0044】

機械学習装置 50 は学習サイクルを繰り返すことにより、自身が決定するワイヤ放電加工を行う際の最適な補正パラメータの信頼性を徐々に向上させることができる。判定データ取得部 24 は、意思決定部 52 による環境へ表示又は出力された補正パラメータを使用して加工されたワークの加工状態が良好であった場合、当該補正パラメータを次の学習サイクルで判定データ D として取得する。同時に、状態観測部 22 は、当該加工の際の状態変数 S を取得する。学習部 26 は、入力された状態変数 S 及び判定データ D を用いて、例えば相関性モデル M を更新することで、学習を継続する。

20

【0045】

上記構成を有する制御装置 40 が備える機械学習装置 50 は、前述した機械学習装置 20 と同等の効果を奏する。特に機械学習装置 50 は、意思決定部 52 の出力によって環境の状態を変化させることができる。他方、機械学習装置 20 では、学習部 26 の学習結果を環境に反映させるための意思決定部に相当する機能を、外部装置（例えばワイヤ放電加工機の制御装置）に求めることができる。

30

【0046】

図 5 は、ワイヤ放電加工機 60 を備えた一実施形態による制御システム 70 を示す。制御システム 70 は、同一の機械構成を有する複数のワイヤ放電加工機 60、60' と、それらワイヤ放電加工機 60、60' を互いに接続するネットワーク 72 とを備え、複数のワイヤ放電加工機 60、60' のうち少なくとも 1 つが、上記した制御装置 40 を備えるワイヤ放電加工機 60 として構成される。また制御システム 70 は、制御装置 40 を備えないワイヤ放電加工機 60' を含むことができる。ワイヤ放電加工機 60、60' は、ワイヤ放電加工を実施するために必要とされる一般的な構成を有する。

40

【0047】

上記構成を有する制御システム 70 は、複数のワイヤ放電加工機 60、60' のうちで制御装置 40 を備えるワイヤ放電加工機 60 が、学習部 26 の学習結果を用いて、加工形状や加工諸元に適した補正パラメータを、経験などによらずに自動的に、しかも正確に求めることができる。また、少なくとも 1 つのワイヤ放電加工機 60 の制御装置 40 が、他の複数のワイヤ放電加工機 60、60' のそれぞれについて得られた状態変数 S 及び判定データ D に基づき、全てのワイヤ放電加工機 60、60' に共通するワイヤ放電加工を行う際の適切な補正パラメータを学習し、その学習結果を全てのワイヤ放電加工機 60、60' が共有するように構成できる。したがって制御システム 70 によれば、より多様なデ

50

ータ集合（状態変数 S 及び判定データ D を含む）を入力として、ワイヤ放電加工を行う際の適切な補正パラメータの学習の速度や信頼性を向上させることができる。

【0048】

図6は、ワイヤ放電加工機60'を備えた他の実施形態による制御システム70'を示す。制御システム70'は、機械学習装置50（又は20）と、同一の機械構成を有する複数のワイヤ放電加工機60'と、それらワイヤ放電加工機60'と機械学習装置50（又は20）とを互いに接続するネットワーク72とを備える。

【0049】

上記構成を有する制御システム70'は、機械学習装置50（又は20）が、複数のワイヤ放電加工機60'のそれぞれについて得られた状態変数 S 及び判定データ D に基づき、全てのワイヤ放電加工機60'に共通するワイヤ放電加工を行う際の適切な補正パラメータを学習し、その学習結果を用いて、加工形状や加工諸元に適した補正パラメータを、経験などによらずに自動的に、しかも正確に求めることができる。

【0050】

制御システム70'は、機械学習装置50（又は20）が、ネットワーク72に用意されたクラウドサーバに存在する構成を有することができる。この構成によれば、複数のワイヤ放電加工機60'のそれぞれが存在する場所や時期に関わらず、必要なときに必要な数のワイヤ放電加工機60'を機械学習装置50（又は20）に接続することができる。

【0051】

制御システム70、70'に従事する作業者は、機械学習装置50（又は20）による学習開始後の適当な時期に、機械学習装置50（又は20）によるワイヤ放電加工を行う際の適切な補正パラメータの学習の到達度（すなわちワイヤ放電加工を行う際の適切な補正パラメータの信頼性）が要求レベルに達したか否かの判断を実行することができる。

【0052】

以上、本発明の実施の形態について説明したが、本発明は上述した実施の形態の例のみに限定されることなく、適宜の変更を加えることにより様々な態様で実施することができる。

【0053】

例えば、機械学習装置20、50が実行する学習アルゴリズム、機械学習装置50が実行する演算アルゴリズム、制御装置10、40が実行する制御アルゴリズム等は、上述したものに限定されず、様々なアルゴリズムを採用できる。

【0054】

また、上述の実施の形態では、ワイヤ放電加工を行う際の諸条件を示す条件データを状態変数 S とし、加工状態が良好であったときの補正パラメータを判定データ D とした。しかしながら、本発明は、例えばワイヤ放電加工を行う際の諸条件を示す条件データを S 1、補正パラメータを S 2、S 1 と S 2 とのセットを状態変数 S とし、当該状態変数のもとの加工結果の良否を示すデータを判定データ D としても実現できる。この場合、例えば学習済みの機械学習装置に S 1 と任意の S 2 とを入力したとき、加工結果が良好となるモデルを特定することで、ワイヤ放電加工を行う際の適切な補正パラメータを特定することが可能である。

【符号の説明】

【0055】

- 10 制御装置
- 20 機械学習装置
- 22 状態観測部
- 24 判定データ取得部
- 26 学習部
- 32 誤差計算部
- 34 モデル更新部
- 40 制御装置

10

20

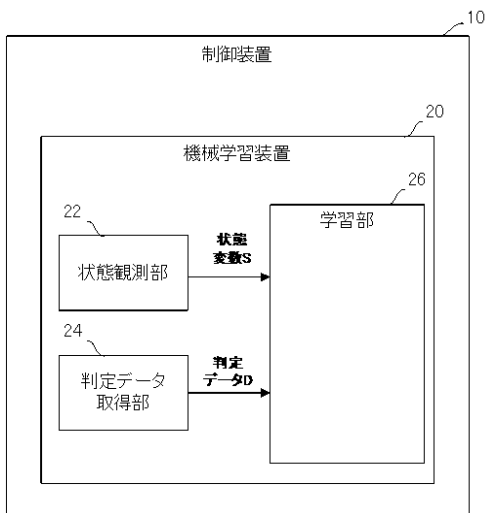
30

40

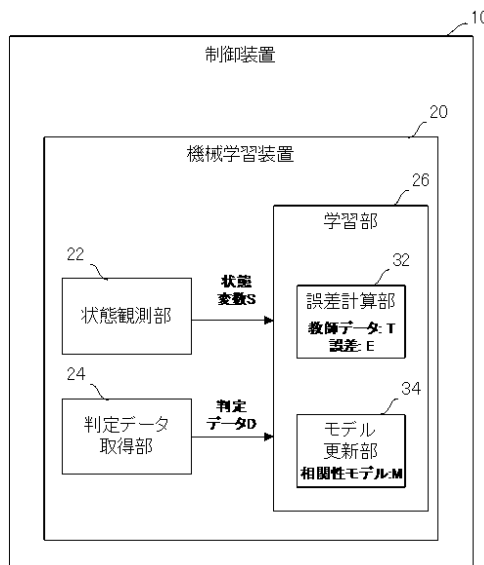
50

- 4 2 状態データ取得部
- 5 0 機械学習装置
- 5 2 意思決定部
- 6 0 , 6 0 ' ワイヤ放電加工機
- 7 0 , 7 0 ' 制御システム
- 7 2 ネットワーク

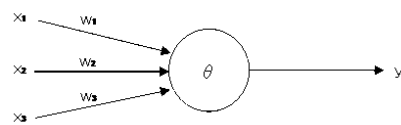
【 図 1 】



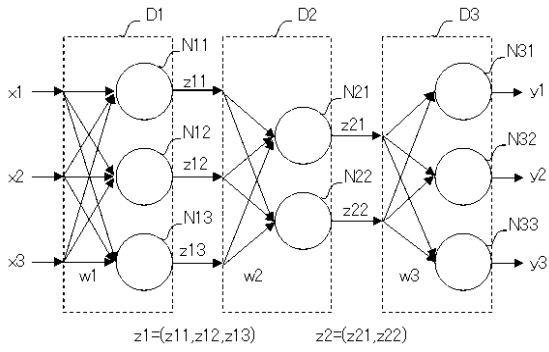
【 図 2 】



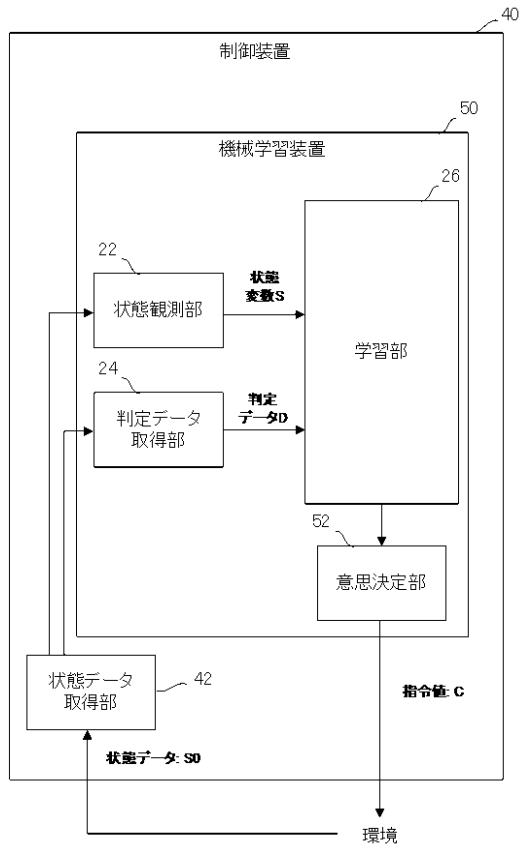
【 図 3 A 】



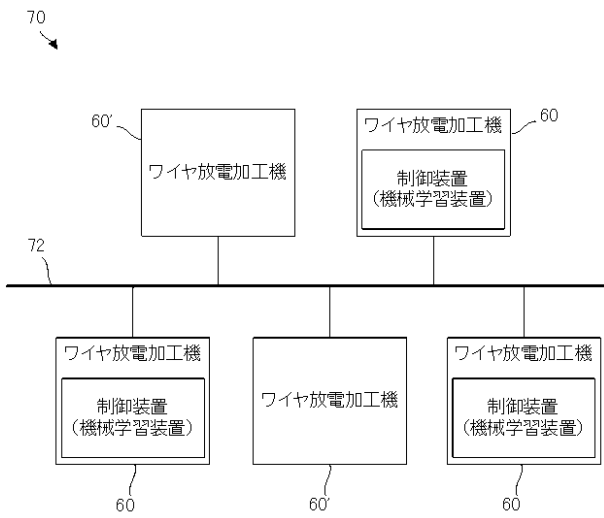
【図3B】



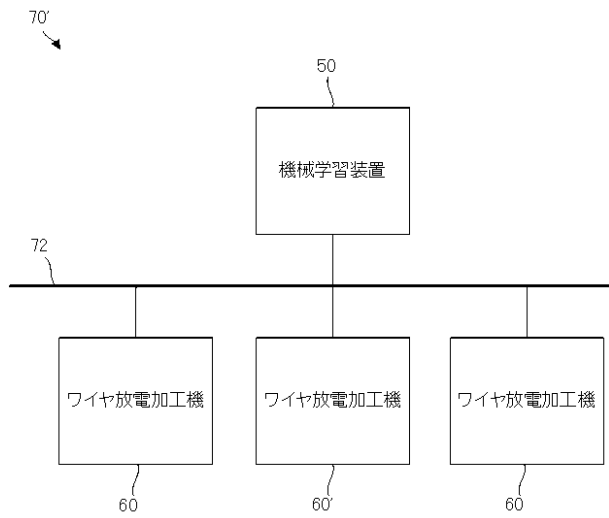
【図4】



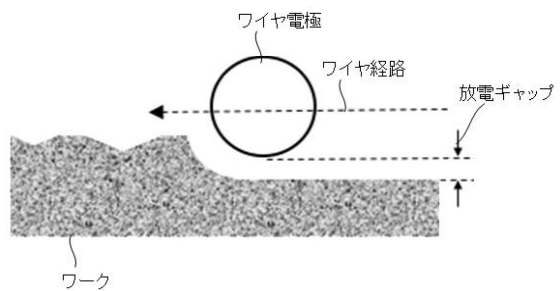
【図5】



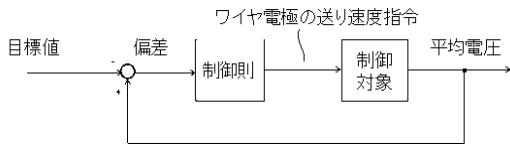
【図6】



【図7】



【 図 8 】



【 図 9 】

