

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6896037号
(P6896037)

(45) 発行日 令和3年6月30日(2021.6.30)

(24) 登録日 令和3年6月10日(2021.6.10)

(51) Int. Cl. F I
F O 2 D 45/00 (2006.01) F O 2 D 45/00
G O 5 B 13/02 (2006.01) G O 5 B 13/02

請求項の数 8 (全 19 頁)

(21) 出願番号	特願2019-181778 (P2019-181778)	(73) 特許権者	000006013 三菱電機株式会社 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
(22) 出願日	令和1年10月2日(2019.10.2)	(74) 代理人	100110423 弁理士 曾我 道治
(65) 公開番号	特開2021-55652 (P2021-55652A)	(74) 代理人	100111648 弁理士 梶並 順
(43) 公開日	令和3年4月8日(2021.4.8)	(74) 代理人	100122437 弁理士 大宅 一宏
審査請求日	令和1年10月2日(2019.10.2)	(74) 代理人	100147566 弁理士 上田 俊一
		(74) 代理人	100161171 弁理士 吉田 潤一郎

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 内燃機関の制御装置及び制御プログラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

内燃機関の運転状態に応じて変化する状態量の情報を状態量センサから取得する情報取得部と、

前記情報取得部によって取得された情報に基づいて、前記内燃機関を制御するための制御量を演算する演算部と、

を備え、

前記演算部は、

前記状態量が設定領域内にあるか否かを判定する領域判定部と、

前記設定領域内にあると判定された状態量である領域内状態量を入力値として、ニューラルネットワークによって前記制御量を演算する第1演算部と、

前記設定領域外にあると判定された状態量である領域外状態量を入力値として、前記制御量を演算する第2演算部と、

を有しており、

前記第2演算部は、

前記領域外状態量に基づいて、前記設定領域内にある前記状態量である参考状態量を選択し、

前記参考状態量を入力値として前記ニューラルネットワークによって、前記ニューラルネットワークの出力値としての参考制御量を演算し、

前記参考制御量に基づいて、前記領域外状態量に対応する前記制御量を演算する

10

20

内燃機関の制御装置。

【請求項 2】

前記第 2 演算部は、
前記参考状態量として、前記領域外状態量に最も近い状態量を選択する
請求項 1 に記載の内燃機関の制御装置。

【請求項 3】

前記第 2 演算部は、
前記状態量を座標軸として有する n 次元空間において、
前記参考状態量として、前記領域内状態量のうち前記領域外状態量との距離が最小となる
状態量を選択する
請求項 2 に記載の内燃機関の制御装置。

10

【請求項 4】

前記第 2 演算部は、
前記領域外状態量に対応する前記制御量として、前記参考制御量をそのまま出力する
請求項 1 から請求項 3 までのいずれか 1 項に記載の内燃機関の制御装置。

【請求項 5】

前記第 2 演算部は、
前記領域外状態量と、前記領域内状態量のうちの特定の状態量とを通る 1 次関数を演算
し、
前記参考状態量として、前記特定の状態量及び前記特定の状態量以外の前記 1 次関数上
の状態量を選択し、

20

前記特定の状態量及び前記特定の状態量以外の前記 1 次関数上の状態量を入力値として
前記ニューラルネットワークによって前記参考制御量を演算し、

前記参考制御量を近似する関数である近似関数を演算し、前記近似関数に前記領域外状
態量を代入することにより前記領域外状態量に対応する前記制御量を演算する

請求項 1 から請求項 3 までのいずれか 1 項に記載の内燃機関の制御装置。

【請求項 6】

前記第 2 演算部は、
複数の前記 1 次関数を演算し、複数の前記近似関数を演算し、複数の前記参考制御量を
演算し、前記領域外状態量に対応する複数の前記制御量を演算し、前記演算された複数の
制御量を統計的に演算する

30

請求項 5 に記載の内燃機関の制御装置。

【請求項 7】

前記設定領域は、前記状態量を座標軸として有する n 次元空間において、前記ニューラ
ルネットワークの学習に用いられる教師入力データの存在する密度が基準密度以上である
領域として設定される

請求項 1 に記載の内燃機関の制御装置。

【請求項 8】

内燃機関の運転状態に応じて変化する状態量の情報を状態量センサから取得する情報取
得処理と、

40

前記情報取得処理において取得された情報に基づいて、前記内燃機関を制御するための
制御量を演算する演算処理と、

をコンピュータに実行させる内燃機関の制御プログラムであって、

前記演算処理は、

前記状態量が設定領域内にあるか否かを判定する領域判定処理と、

前記設定領域内にあると判定された状態量である領域内状態量を入力値として、ニュー
ラルネットワークによって前記制御量を演算する第 1 演算処理と、

前記設定領域外にあると判定された状態量である領域外状態量を入力値として、前記制
御量を演算する第 2 演算処理と、

を含んでおり、

50

前記第2演算処理は、

前記領域外状態量に基づいて、前記設定領域内にある前記状態量である参考状態量を選択し、

前記参考状態量を入力値として前記ニューラルネットワークによって、前記ニューラルネットワークの出力値としての参考制御量を演算し、

前記参考制御量に基づいて、前記領域外状態量に対応する前記制御量を演算する処理を含む

内燃機関の制御プログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、内燃機関の運転状態に応じて変化する状態量に基づいて、内燃機関を制御するための制御量を演算する内燃機関の制御装置及び制御プログラムに関する。

【背景技術】

【0002】

近年、内燃機関の燃費向上及びエミッション低減に対する要求が高くなっている。そのため、内燃機関のより精密な制御が要求されるようになってきている。内燃機関の制御を精密に行うためには、内燃機関のより多くの状態量を考慮して制御量を演算する必要がある。

【0003】

従来のエンジン制御におけるデータ推定方法では、ファジィニューラル回路網を用いてエンジンの状態を表す制御パラメータのデータが推定される。このとき、ファジィニューラル回路網には、推定の対象となる制御パラメータのデータとは異なる種類の複数の制御パラメータのデータが入力される（例えば、特許文献1参照）。つまり、従来のデータ推定方法では、内燃機関の複数の状態量がファジィニューラル回路網に入力されることにより、内燃機関の制御量が演算される。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開平11-343916号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

ファジィニューラル回路網を精度良く学習させるためには、十分な数の教師データが必要である。しかし、上記のような従来のデータ推定方法によれば、学習時にファジィニューラル回路網に入力される教師データの個数は考慮されていないので、内燃機関の性能限界付近では、以下の理由により教師データが不足してしまう虞がある。

【0006】

内燃機関の性能限界付近とは、機関回転数が極めて高い状態にある場合、冷却水温が極めて高い状態にある場合、吸気弁の開閉タイミングが大きく進角又は遅角された状態にある場合等を指す。また、教師データは、内燃機関の運転テスト又はシミュレーションの結果から得られる内燃機関の状態量と制御量との組合せである。一例を挙げると、教師データの状態量は、機関回転数、吸入空気温度、及び吸排気弁の開閉タイミングであり、これらの状態量に対する制御量は、吸入空気量である。

【0007】

内燃機関の性能限界付近では、気筒内の混合気の燃焼が不安定になり、内燃機関の性能を十分に発揮させることができなくなることがある。従って、この場合、内燃機関の運転状態を表す状態量に対する内燃機関の制御量が正確に計測されないことがある。正確に計測されない制御量に関する計測結果は、ファジィニューラル回路網の教師データとして利用することができない。以上が内燃機関の性能限界付近において教師データが不足してし

10

20

30

40

50

まう理由である。

【0008】

ファジィニューラル回路網による学習の精度は、教師データが少ないほど低くなる傾向があるため、内燃機関の性能限界付近における学習の精度が低下する虞がある。従って、内燃機関の制御精度が低下する虞がある。

【0009】

この発明は、上記のような課題を解決するために為されたものであり、内燃機関の制御精度の低下を抑制することができる内燃機関の制御装置及び制御プログラムを提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

10

【0010】

この発明に係る内燃機関の制御装置は、内燃機関の運転状態に応じて変化する状態量の情報を状態量センサから取得する情報取得部と、情報取得部によって取得された情報に基づいて、内燃機関を制御するための制御量を演算する演算部と、を備え、演算部は、状態量が設定領域内にあるか否かを判定する領域判定部と、設定領域内にあると判定された状態量である領域内状態量を入力値として、ニューラルネットワークによって制御量を演算する第1演算部と、設定領域外にあると判定された状態量である領域外状態量を入力値として、制御量を演算する第2演算部と、を有しており、第2演算部は、領域外状態量に基づいて、設定領域内にある状態量である参考状態量を選択し、参考状態量を入力値としてニューラルネットワークによって参考制御量を演算し、参考制御量に基づいて、領域外状態量に対応する制御量を演算する。

20

【発明の効果】

【0011】

この発明に係る内燃機関の制御装置及び制御プログラムによれば、内燃機関の制御精度の低下を抑制することができる。

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図1】実施の形態1に係る内燃機関の制御装置を示す構成図である。

【図2】図1に示した演算部が利用するニューラルネットワークを示す構成図である。

【図3】図2に示したニューラルネットワークに学習させる学習装置を示す構成図である

30

【図4】図3に示した学習装置の動作を説明するための図である。

【図5】図1に示した制御装置が実行する制御量演算ルーチンを示すフローチャートである。

【図6】図1に示した制御装置の動作を説明するための図である。

【図7】実施の形態2に係る内燃機関の制御装置が実行する制御量演算ルーチンを示すフローチャートである。

【図8】実施の形態2に係る内燃機関の制御装置の動作を説明するための図である。

【図9】実施の形態2に係る内燃機関の制御装置の動作を説明するための図である。

【図10】実施の形態3に係る内燃機関の制御装置が実行する制御量演算ルーチンを示すフローチャートである。

40

【図11】実施の形態3に係る内燃機関の制御装置の動作を説明するための図である。

【図12】実施の形態3に係る内燃機関の制御装置の動作を説明するための図である。

【図13】実施の形態1～3の内燃機関の制御装置の各機能を実現する処理回路の第1の例を示す構成図である。

【図14】実施の形態1～3の内燃機関の制御装置の各機能を実現する処理回路の第2の例を示す構成図である。

【発明を実施するための形態】

【0013】

以下、実施の形態について、図面を参照して説明する。

50

実施の形態 1 .

図 1 は、実施の形態 1 に係る内燃機関の制御装置を示す構成図である。図 1 に示したように、実施の形態 1 に係る内燃機関の制御装置 10 は、機能ブロックとして、情報取得部 20 と演算部 30 とを備えている。情報取得部 20 は、内燃機関の運動状態に応じて変化する状態量の情報を状態量センサ 40 から取得する。

【 0014 】

状態量センサ 40 は、例えば、クランク角センサ、エアフロメータ、吸気温度センサ、水温センサ、空燃比センサを含んでいる。クランク角センサは、内燃機関のクランクシャフトの回転角を検出する。エアフロメータは、内燃機関の吸気通路に設けられ、吸入空気量を検出する。吸気温度センサは、吸気通路に設けられ、吸入空気の温度を検出する。水温センサは、内燃機関のシリンダブロックに設けられ、冷却水の温度を検出する。空燃比センサは、内燃機関の排気通路に設けられ、排気ガスの空燃比を検出する。

10

【 0015 】

演算部 30 は、情報取得部 20 によって取得された情報に基づいて、内燃機関を制御するための制御量を演算する。ここで、内燃機関を制御するための制御量とは、複数のアクチュエータ 50 のうちの少なくとも 1 つのアクチュエータ 50 の制御量にあたる。これらのアクチュエータ 50 は、内燃機関に設けられている。また、アクチュエータ 50 としては、燃料噴射弁、点火装置、可変バルブタイミング機構、スロットルモータ等が挙げられる。

【 0016 】

次に、演算部 30 が利用するニューラルネットワーク及びニューラルネットワークの学習方法について説明する。図 2 は、演算部 30 が利用するニューラルネットワークを示す構成図である。ニューラルネットワーク 60 は、公知のフィードフォワードニューラルネットワークにより構成されている。以下、ニューラルネットワーク 60 は NN 60 と略称される。

20

【 0017 】

図 2 に示したように、NN 60 は、入力層 61、第 1 中間層 62、第 2 中間層 63、第 3 中間層 64 及び出力層 65 を有している。NN 60 は、これらの各層のユニットが隣接層間で互いに結合された構造を有している。NN 60 において、入力層に入力した情報は複数のユニットを出力層に向かって一方向に伝播する。これらのユニットは、一般的にノード又はニューロンとも表現されることがある。

30

【 0018 】

入力層 61 は、状態量 A 及び状態量 B に対応して 2 つのユニット 611 及び 612 を有している。第 1 中間層 62、第 2 中間層 63 及び第 3 中間層 64 は、それぞれ 5 つのユニットを有している。

【 0019 】

第 1 中間層 62 から第 3 中間層 64 までの中の 1 つのユニットは、当該ユニット自身の層の直前の層に存在するすべてのユニットから出力された値にそれぞれ重み係数を乗算するとともにバイアスを加算する処理を行う。当該ユニットは、これらすべての処理された値を非線形関数又は恒等関数により表される活性化関数に代入し、得られた値を出力する。

40

【 0020 】

NN 60 に学習させるとき、内燃機関の運転テスト又はシミュレーションの結果から得られる内燃機関の状態量と制御量との組合せが、教師データとして予め多数準備される。得られた内燃機関の状態量は、NN 60 の入力データに相当し、以下の説明において教師入力データと称される。得られた内燃機関の制御量は、NN 60 の出力データに相当し、以下の説明において教師出力データと称される。

【 0021 】

図 3 は、NN 60 に学習させる学習装置を示す構成図である。図 3 に示したように、学習装置 70 は、教師データ密度演算部 71、密度判定部 72、設定領域決定部 73、NN

50

60及び誤差計算部74を有している。

【0022】

教師データ密度演算部71には、教師入力データ81が入力される。図4に示したように、状態量Aを横軸とし、状態量Bを縦軸とする2次元空間において、教師入力データ81が黒丸で示されたように分布している場合を考える。

【0023】

教師データ密度演算部71は、この2次元空間を複数の基準小範囲に分割する。基準小範囲は、横幅が w_1 、縦幅が w_2 の矩形の範囲である。横幅 w_1 及び縦幅 w_2 は、予め一定値に設定されている。教師データ密度演算部71は、各基準小範囲内に存在する教師入力データ81の個数、即ち、教師データ密度TDを検出する。

10

【0024】

次に、密度判定部72は、各教師データ密度TDが、基準密度 T_{st} 以上であるか否かを判定する。図4に示した例では、基準密度 T_{st} は4である。

【0025】

設定領域決定部73は、密度判定部72による判定結果に基づいて、教師データ密度TDが基準密度 T_{st} 以上であると判定された基準小範囲の集合を設定領域90に決定する。このように、設定領域90は、状態量を座標軸として有する n 次元空間において、NN60の学習に用いられる教師入力データ81の存在する密度TDが基準密度 T_{st} 以上である領域として設定される。なお、 n は正の整数である。そして、設定領域決定部73は、「設定領域90内にあると判定された教師入力データ」、即ち、「領域内状態量」をNN60に出力する。

20

【0026】

NN60では、入力層61に領域内状態量が入力され、各ユニットにおいて演算が行われた後、演算された制御量が出力層65から誤差計算部74に出力される。誤差計算部74には、NN60において演算された制御量と、教師出力データ82とが入力される。誤差計算部74は、誤差関数を用いて、演算された制御量と教師出力データ82との間の誤差を計算する。誤差計算部74は、上記誤差をNN60にフィードバックする。NN60は、誤差関数の値が最小となるように、NN60の各ユニットの重み係数及びバイアスを調整する。なお、この調整方法は、誤差逆伝播法又はバックプロパゲーション法として知られている。

30

【0027】

学習装置70は、この結果に基づいて、状態量A及び状態量Bと、設定領域90との関係を規定したルックアップテーブルを作成し、演算部30内の図示しないメモリに記憶する。

【0028】

再び、図1を参照しながら、演算部30の動作について説明する。演算部30は、領域判定部31と、第1演算部32と、第2演算部33とを有している。

【0029】

領域判定部31は、状態量A及び状態量Bと、設定領域90との関係を規定したルックアップテーブルを参照して、入力された状態量が設定領域90内にあるか否かを判定する。領域判定部31は、入力された状態量が設定領域90内にあると判定した場合、状態量を第1演算部32に出力する。一方、領域判定部31は、入力された状態量が設定領域90内にない、即ち、設定領域90外にあると判定した場合、状態量を第2演算部33に出力する。

40

【0030】

第1演算部32は、設定領域90内にあると判定された状態量である領域内状態量を入力値として、NN60によって内燃機関の制御量を演算する。そして、第1演算部32は、演算された制御量を内燃機関のアクチュエータ50に出力する。

【0031】

第2演算部33は、設定領域90外にあると判定された状態量である領域外状態量を入

50

力値として、内燃機関の制御量を演算する。より具体的に述べると、第2演算部33は、以下の3つの演算を順に実行する。

(1) 第2演算部33は、領域外状態量に基づいて、設定領域90内にある状態量である参考状態量を選択する。言い換えると、第2演算部33は、領域外状態量に基づいて領域内状態量の中から少なくとも1つの状態量を参考状態量として選択する。

(2) 第2演算部33は、選択された参考状態量を入力値としてNN60によって参考制御量を演算する。

(3) 第2演算部33は、演算された参考制御量に基づいて、領域外状態量に対応する制御量を演算する。

【0032】

そして、第1演算部32及び第2演算部33は、演算結果を内燃機関のアクチュエータ50に出力する。

【0033】

次に、第2演算部33の動作をより詳細に説明する。図5は、第2演算部33が実行する制御量演算ルーチンを示すフローチャートである。図5のルーチンは、領域判定部31によって、入力された状態量が領域外状態量であると判定される毎に実行されるようになっている。

【0034】

第2演算部33は、図5のルーチンを開始すると、まず、ステップS105において領域外状態量を取得する。次いで、第2演算部33は、ステップS110において、参考状態量として、取得された領域外状態量に最も近い状態量を選択する。言い換えると、第2演算部33は、状態量を座標軸として有するn次元空間において、参考状態量として、領域内状態量のうち、領域外状態量との距離が最小となる状態量を選択する。

【0035】

図6は、状態量Aを横軸とし、状態量Bを縦軸とする2次元空間における設定領域と領域外状態量との関係を示した図である。図6において、設定領域90の境界R1が破線で表されている。境界R1上の点Rpは、領域内状態量の1つを表している。設定領域90の外側の点Out1は、入力された領域外状態量を表している。図6から理解されるように、設定領域90内の点のうち、点Out1との距離が最小となる点は、境界R1上に存在する。

【0036】

点Rpの2次元空間上の座標を(Ar1, Br1)と表し、点Out1の2次元空間上の座標を(Aout1, Bout1)と表すと、点Rpと点Out1との距離Dは、以下の(1)式にて表される。

【0037】

【数1】

$$D = \sqrt{(A_{out1} - A_{r1})^2 + (B_{out1} - B_{r1})^2} \quad \dots (1)$$

【0038】

ところで、状態量Aの取り得る値の範囲の大きさと、状態量Bの取り得る値の範囲の大きさは、異なることが多い。例えば、状態量Aが状態量Bと比べて極めて大きい値である場合、距離Dは状態量Aの影響をより多く受けることになる。言い換えると、この場合、距離Dは値Ar1の変化に対してより敏感となる。そこで、(1)式における各座標軸と平行な成分(Aout1 - Ar1)及び(Bout1 - Br1)は、各状態量が取り得る最大値と最小値との差分値を用いて正規化される。この正規化された距離Dは、以下、「ユークリッド距離Deu」と定義される。

【0039】

状態量Aの最大値をAmax、状態量Aの最小値をAmin、状態量Bの最大値をBmax、状態量Bの最小値をBminとすると、点Out1と点Rpとの間のユークリッド距離Deuは、以下の(2)式にて表される。

10

20

30

40

50

【 0 0 4 0 】

【 数 2 】

$$D_{eu} = \sqrt{\left(\frac{A_{out1} - A_{r1}}{A_{max} - A_{min}}\right)^2 + \left(\frac{B_{out1} - B_{r1}}{B_{max} - B_{min}}\right)^2} \quad \dots (2)$$

【 0 0 4 1 】

第 2 演算部 3 3 は、ユークリッド距離 D_{eu} が最小となるように、値 A_{r1} 及び B_{r1} を決定する。この場合、座標 (A_{r1}, B_{r1}) は、境界 R_1 の頂点に存在する領域内状態量 I_{n11} の座標と一致する。つまり、第 2 演算部 3 3 は、参考状態量として領域内状態量 I_{n11} を選択する。第 2 演算部 3 3 は、値 A_{r1} 及び B_{r1} を決定するために、例えば、局所探索法を用いる。

10

【 0 0 4 2 】

局所探索法において、ある解 x に加える小さな修正操作を行うことにより得られる解の集合 $N(x)$ は近傍と称される。局所探索法は、適当な初期解から開始して、現在の解 x よりもよい解 x' が近傍 $N(x)$ 内に存在すれば、 x を x' と置換する操作を可能な限り繰り返す方法である。近傍 $N(x)$ 内に、よりよい解が存在しなくなると局所探索が終了する。このような局所探索法は公知であるため、詳細な説明は省略される。

【 0 0 4 3 】

次いで、第 2 演算部 3 3 は、ステップ S_{115} において、参考状態量 I_{n11} を入力値として NN_{60} によって参考制御量 NN_{o11} を演算する。つまり、参考制御量 NN_{o11} は、選択された参考状態量を NN_{60} に入力させたときに得られる出力である。

20

【 0 0 4 4 】

次いで、第 2 演算部 3 3 は、ステップ S_{120} において、領域外状態量に対応する制御量として、演算された参考制御量をそのまま出力する。この理由は以下のとおりである。

【 0 0 4 5 】

内燃機関の制御量は、一般的に状態量に対して非線形な関係を有している。つまり、制御量の変化の度合いは、状態量の大きさによって異なる。しかし、互いに近接する 2 つの状態量に対応するそれぞれの制御量同士は比較的近い値となる傾向がある。従って、領域外状態量に対応する制御量は、領域外状態量の近傍に存在する領域内状態量に対応する制御量で近似することができる。

30

【 0 0 4 6 】

このように、ユークリッド距離 D_{eu} が最小となる参考状態量 I_{n11} に対応する参考制御量 NN_{o11} は、領域外状態量 O_{ut1} に対応する制御量に近い量であると推定される。

【 0 0 4 7 】

以上、説明したように、実施の形態 1 の内燃機関の制御方法は、情報取得ステップと、演算ステップと、を含んでいる。さらに、演算ステップは、領域判定ステップと、第 1 演算ステップと、第 2 演算ステップとを含んでいる。

【 0 0 4 8 】

情報取得ステップは、内燃機関の運転状態に応じて変化する状態量の情報を状態量センサ 40 から取得するステップである。演算ステップは、情報取得ステップにおいて取得された情報に基づいて、内燃機関を制御するための制御量を演算するステップである。領域判定ステップは、状態量が設定領域内にあるか否かを判定するステップである。第 1 演算ステップは、設定領域内にあると判定された状態量である領域内状態量を入力値として、ニューラルネットワークによって制御量を演算するステップである。第 2 演算ステップは、設定領域外にあると判定された状態量である領域外状態量を入力値として制御量を演算するステップである。

40

【 0 0 4 9 】

第 2 演算ステップは、さらに、以下の第 1 から第 3 のステップを含んでいる。第 1 のステップは、領域外状態量に基づいて、設定領域内にある状態量である参考状態量を選択す

50

るステップである。第2のステップは、参考状態量を入力値としてニューラルネットワークによって参考制御量を演算するステップである。第3のステップは、参考制御量に基づいて、領域外状態量に対応する制御量を演算するステップである。

【0050】

また、実施の形態1の内燃機関の制御プログラムは、上記の内燃機関の制御方法をコンピュータに実行させるプログラムである。

【0051】

即ち、内燃機関の制御プログラムは、情報取得処理と、演算処理とをコンピュータに実行させるプログラムである。さらに、演算処理は、領域判定処理と、第1演算処理と、第2演算処理とを含んでいる。

【0052】

情報取得処理は、内燃機関の運転状態に応じて変化する状態量の情報を状態量センサ40から取得する処理である。演算処理は、情報取得処理において取得された情報に基づいて、内燃機関を制御するための制御量を演算する処理である。領域判定処理は、状態量が設定領域内にあるか否かを判定する処理である。第1演算処理は、設定領域内にあると判定された状態量である領域内状態量を入力値として、ニューラルネットワークによって制御量を演算する処理である。第2演算処理は、設定領域外にあると判定された状態量である領域外状態量を入力値として制御量を演算する処理である。

【0053】

第2演算処理は、さらに、以下の第1から第3の処理を含んでいる。第1の処理は、領域外状態量に基づいて、設定領域内にある状態量である参考状態量を選択する処理である。第2の処理は、参考状態量を入力値としてニューラルネットワークによって参考制御量を演算する処理である。第3の処理は、参考制御量に基づいて、領域外状態量に対応する制御量を演算する処理である。

【0054】

上記のように、実施の形態1の内燃機関の制御装置10及び内燃機関の制御プログラムによれば、内燃機関の制御精度の低下を抑制することができる。

【0055】

また、第2演算部33は、参考状態量として、領域外状態量Out1に最も近い状態量を選択する。このため、内燃機関の制御精度の低下をより抑制することができる。

【0056】

また、第2演算部33は、状態量A及び状態量Bを座標軸として有する2次元空間において、参考状態量として、領域内状態量のうち領域外状態量Out1との距離が最小となる状態量を選択する。このため、内燃機関の制御精度の低下をより抑制することができる。

【0057】

また、第2演算部33は、領域外状態量Out1に対応する制御量として、参考制御量をそのまま出力する。このため、簡易な方法で内燃機関の制御精度の低下を抑制することができる。

【0058】

また、設定領域90は、状態量A及び状態量Bを座標軸として有する2次元空間において、NN60の学習に用いられる教師データ密度TDが基準密度Tst以上である領域として設定される。このため、NN60に高精度な学習をさせることができる。

【0059】

実施の形態2

次に、実施の形態2に係る内燃機関の制御装置について説明する。実施の形態2に係る内燃機関の制御装置は、第2演算部33が、複数の参考制御量についての1つの近似関数から領域外状態量Out1に対応する制御量を演算する点において、実施の形態1に係る内燃機関の制御装置10と異なっている。

【0060】

10

20

30

40

50

実施の形態 2 に係る内燃機関の制御装置において、第 2 演算部 3 3 は、領域外状態量と、領域内状態量のうちの特定の状態量とを通る 1 次関数を演算する。次に、第 2 演算部 3 3 は、参考状態量として、特定の状態量及び特定の状態量以外の 1 次関数上の状態量を選択する。さらに、第 2 演算部 3 3 は、特定の状態量及び特定の状態量以外の 1 次関数上の状態量を入力値として NN 6 0 によって参考制御量を演算する。次いで、第 2 演算部 3 3 は、参考制御量を近似する関数である近似関数を演算する。そして、第 2 演算部 3 3 は、近似関数に領域外状態量を代入することにより領域外状態量に対応する制御量を演算する。

【 0 0 6 1 】

以下、図面を参照しながら具体的に説明する。図 7 は、実施の形態 2 に係る内燃機関の制御装置の第 2 演算部 3 3 が実行する制御量演算ルーチンを示すフローチャートである。図 7 のルーチンは、領域判定部 3 1 によって、入力された状態量が領域外状態量であると判定される毎に実行されるようになっている。

10

【 0 0 6 2 】

第 2 演算部 3 3 は、図 7 のルーチンを開始すると、以下のステップ S 2 0 5 からステップ S 2 3 5 までの処理を順に実行する。

【 0 0 6 3 】

ステップ S 2 0 5 において、第 2 演算部 3 3 は、領域外状態量を取得する。

【 0 0 6 4 】

ステップ S 2 1 0 において、第 2 演算部 3 3 は、参考状態量として、領域内状態量のうち、領域外状態量との距離が最小となる状態量を選択する。

20

【 0 0 6 5 】

図 8 は、参考状態量を選択するための方法を説明するための図である。図 8 に示した設定領域 9 0 は、図 6 に示した設定領域 9 0 と同様に定義された領域である。よって、この場合、領域内状態量のうち、領域外状態量 $Out 1$ との間のユークリッド距離 Deu が最小となる状態量は $In 1 1$ である。従って、第 2 演算部 3 3 は、参考状態量として $In 1 1$ を選択する。

【 0 0 6 6 】

ステップ S 2 1 5 において、第 2 演算部 3 3 は、領域外状態量 $Out 1$ と参考状態量 $In 1 1$ とを通る 1 次関数 $f 1$ を導出する。

30

【 0 0 6 7 】

ステップ S 2 2 0 において、第 2 演算部 3 3 は、領域内状態量のうち、1 次関数 $f 1$ 上の点を参考状態量として選択する。この場合、第 2 演算部 3 3 は、参考状態量 $In 1 1$ から、1 次関数 $f 1$ に沿って領域外状態量 $Out 1$ から遠ざかる方向に、状態量 A 軸方向の変化量 Δ に相当する量だけ変化させたときの状態量を、参考状態量 $In 1 2$ として選択する。さらに、第 2 演算部 3 3 は、参考状態量 $In 1 2$ から、1 次関数 $f 1$ に沿って領域外状態量 $Out 1$ から遠ざかる方向に、状態量 A 軸方向の変化量 Δ に相当する量だけ変化させたときの状態量を、参考状態量 $In 1 3$ として選択する。

【 0 0 6 8 】

ステップ S 2 2 5 において、第 2 演算部 3 3 は、選択された参考状態量 $In 1 1$ 、 $In 1 2$ 及び $In 1 3$ を入力値として NN 6 0 によって参考制御量を演算する。

40

【 0 0 6 9 】

図 9 は、参考状態量とこれらに対応する NN 6 0 の出力である参考制御量、及び参考制御量の近似関数を示した図である。図 9 に示したように、第 2 演算部 3 3 は、参考状態量 $In 1 1$ を NN 6 0 に入力し、NN 6 0 により演算されて NN 6 0 から出力された量 $NN o 1 1$ を参考制御量として決定する。同様に、第 2 演算部 3 3 は、参考状態量 $In 1 2$ 及び $In 1 3$ をそれぞれ NN 6 0 に入力し、NN 6 0 から出力された量 $NN o 1 2$ 及び $NN o 1 3$ を参考制御量として決定する。

【 0 0 7 0 】

ステップ S 2 3 0 において、第 2 演算部 3 3 は、演算された参考制御量 $NN o 1 1$ 、 N

50

№12及び№13についての近似関数 g_1 を導出する。即ち、第2演算部33は、№60の出力を目的変数とし、状態量 A 及び状態量 B を説明変数とする近似関数 g_1 を導出する。より具体的に述べると、第2演算部33は、近似関数 g_1 を以下の(3)式にて表される1次関数として導出する。

【0071】

$$g_1 = c_0 + c_1 \cdot A + c_2 \cdot B \quad \dots (3)$$

【0072】

ここで、 c_0 、 c_1 及び c_2 は、近似関数 g_1 の係数である。 A は状態量 A の値、 B は状態量 B の値である。第2演算部33は、例えば、最小二乗法により、係数 c_0 、 c_1 及び c_2 を算出することにより近似関数 g_1 を求める。

10

【0073】

ステップS235において、第2演算部33は、領域外状態量 Out_1 を近似関数 g_1 に入力して得られた解 Est_1 を領域外状態量 Out_1 に対応する制御量として決定する。

【0074】

この理由は、以下のとおりである。前述したように、内燃機関の制御量は、一般的に状態量に対して非線形な関係を有しているため、制御量の変化の度合いは、状態量の大きさによって異なる。しかし、2つの状態量が互いに近接する場合、2つの状態量に対応するそれぞれの制御量の変化の度合いの違いは比較的小さくなる傾向がある。従って、領域外状態量に対応する制御量は、領域外状態量の近傍に存在する領域内状態量に対応する制御量の変化の度合いを利用することによって精度良く演算される。

20

【0075】

このような内燃機関の制御装置及び制御プログラムでは、第2演算部33は、領域外状態量 Out_1 と、領域内状態量のうち特定の状態量 In_11 とを通る1次関数 f_1 を演算する。次いで、第2演算部33は、参考状態量として、特定の状態量 In_11 と、特定の状態量以外の1次関数 f_1 上の状態量 In_12 及び In_13 とを選択する。

【0076】

さらに、第2演算部33は、特定の状態量 In_11 と、特定の状態量以外の1次関数上の状態量 In_12 及び In_13 とを入力値として№60によって参考制御量 $№11$ 、 $№12$ 及び $№13$ を演算する。そして、第2演算部33は、参考制御量を近似する関数である近似関数 g_1 を演算し、近似関数 g_1 に領域外状態量 Out_1 を代入することにより領域外状態量 Out_1 に対応する制御量 Est_1 を演算する。このため、領域外状態量 Out_1 に対応する制御量と参考状態量に対応する制御量とが異なっている場合であっても、内燃機関の制御精度の低下を抑制することができる。

30

【0077】

実施の形態3.

次に、実施の形態3に係る内燃機関の制御装置について説明する。実施の形態3に係る内燃機関の制御装置において、第2演算部33は、複数の1次関数を演算し、複数の近似関数を演算する。さらに、第2演算部33は、複数の参考制御量を演算し、領域外状態量に対応する複数の制御量を演算し、演算された複数の制御量を統計的に演算する。実施の形態3に係る内燃機関の制御装置は、このような点において、実施の形態1及び2に係る内燃機関の制御装置と異なっている。従って、以下、上記相違点を中心に説明する。

40

【0078】

図10は、実施の形態3の内燃機関の制御装置の第2演算部33が実行する制御量演算ルーチンを示すフローチャートである。図10のルーチンは、領域判定部31によって、入力された状態量が領域外状態量であると判定される毎に実行されるようになっている。

【0079】

第2演算部33は、図10のルーチンが開始すると、以下のステップS305からステップS340までの処理を順に実行する。

【0080】

50

ステップS305において、第2演算部33は、領域外状態量を取得する。

【0081】

ステップS310において、第2演算部33は、境界R1上の2点In11及びIn21を2つの参考状態量として選択する。

【0082】

図11は、参考状態量を選択するための方法を説明するための図である。図11に示した設定領域90は、図6に示した設定領域90と同様に定義された領域である。よって、この場合、領域内状態量のうち、領域外状態量Out1との間のユークリッド距離Deuが最小となる状態量はIn11である。従って、第2演算部33は、参考状態量としてIn11を選択する。

10

【0083】

さらに、第2演算部33は、選択された参考状態量In11から、境界R1に沿って領域外状態量Out1から遠ざかる方向に、状態量A軸方向の変化量2に相当する量だけ変化させたときの状態量を、もう1つの参考状態量In21として選択する。

【0084】

ステップS315において、第2演算部33は、領域外状態量と2つの参考状態量とをそれぞれ通る1次関数f1及びf2を導出する。

【0085】

ステップS320において、第2演算部33は、領域内状態量のうち、1次関数f1及びf2上の点を参考状態量として選択する。

20

【0086】

この場合、第2演算部33は、参考状態量In11から、1次関数f1に沿って領域外状態量Out1から遠ざかる方向に、状態量A軸方向の変化量1に相当する量だけ変化させたときの状態量を、参考状態量In12として選択する。さらに、第2演算部33は、参考状態量In12から、1次関数f1に沿って領域外状態量Out1から遠ざかる方向に、状態量A軸方向の変化量1に相当する量だけ変化させたときの状態量を、参考状態量In13として選択する。

【0087】

第2演算部33は、参考状態量In21から、1次関数f2に沿って領域外状態量Out1から遠ざかる方向に、状態量A軸方向の変化量1に相当する量だけ変化させたときの状態量を、参考状態量In22として選択する。さらに、第2演算部33は、参考状態量In22から、1次関数f2に沿って領域外状態量Out1から遠ざかる方向に、状態量A軸方向の変化量1に相当する量だけ変化させたときの状態量を、参考状態量In23として選択する。

30

【0088】

ステップS325において、第2演算部33は、選択された参考状態量In11、In12、In13、In21、In22及びIn23を入力値としてNN60によって参考制御量を演算する。

【0089】

図12は、参考状態量とこれらに対応するNN60の出力である参考制御量、及び参考制御量の近似関数を示した図である。図12に示したように、第2演算部33は、参考状態量In11をNN60に入力し、NN60により演算されてNN60から出力された量NNo11を参考制御量として決定する。同様に、第2演算部33は、参考状態量In12、In13、In21、In22及びIn23をそれぞれNN60に入力し、NN60から出力された値NNo12、NNo13、NNo21、NNo22及びNNo23を参考制御量として決定する。

40

【0090】

ステップS330において、第2演算部33は、演算された参考制御量NNo11、NNo12及びNNo13についての近似関数g1と、参考制御量NNo21、NNo22及びNNo23についての近似関数g2とをそれぞれ導出する。第2演算部33は、近似

50

関数 g_1 及び g_2 を $NN60$ の出力を目的変数とし、状態量 A 及び状態量 B を説明変数とする 1 次関数として導出する。近似関数 g_1 及び g_2 は (3) 式にて表される関数である。

【0091】

ステップ $S335$ において、第 2 演算部 33 は、領域外状態量 $Out1$ を近似関数 g_1 及び g_2 に入力して、それぞれ得られた解 $Est1$ 及び $Est2$ を算出する。

【0092】

ステップ $S340$ において、第 2 演算部 33 は、2 つの解 $Est1$ と $Est2$ の平均値を領域外状態量に対応する制御量として決定する。

【0093】

このような内燃機関の制御装置及び制御プログラムでは、第 2 演算部 33 は、複数の 1 次関数 f_1 及び f_2 を演算し、複数の近似関数 g_1 及び g_2 を演算する。さらに、第 2 演算部 33 は、複数の参考制御量を演算し、領域外状態量 $Out1$ に対応する複数の制御量 $Est1$ 及び $Est2$ を演算し、演算された複数の制御量 $Est1$ 及び $Est2$ を統計的に演算する。このため、領域外状態量 $Out1$ に対応する制御量と参考状態量に対応する制御量とが異なっている場合であっても、内燃機関の制御精度の低下をより抑制することができる。

【0094】

なお、実施の形態 3 において、第 2 演算部 33 は、2 つの近似関数 g_1 及び g_2 を算出し、2 つの解 $Est1$ 及び $Est2$ を算出したが、3 つ以上の近似関数を算出してもよい。

【0095】

さらに、実施の形態 3 において、第 2 演算部 33 は、算出された 2 つの解 $Est1$ 及び $Est2$ を平均化することにより、領域外状態量 $Out1$ に対応する制御量を演算した。しかし、第 2 演算部 33 は、2 つの解 $Est1$ 及び $Est2$ の最大値、最小値、加重平均等の統計処理により領域外状態量 $Out1$ に対応する制御量を演算してもよい。

【0096】

また、実施の形態 3 において、変化量 2 は、状態量 A 軸方向の変化量として設定されていたが、状態量 B 軸方向の変化量として設定されてもよい。言い換えると、変化量 2 は、 n 次元空間のいずれの軸方向の変化量として設定されてもよい。

【0097】

また、実施の形態 2 及び 3 において、変化量 1 及び 2 は、一定値でもよいし、領域外状態量 $Out1$ の大きさ及びユークリッド距離 Deu の大きさに応じた変数でもよい。変化量 1 は、目的の演算精度に合わせて調整されればよい。

【0098】

また、実施の形態 2 及び 3 において、変化量 1 は、状態量 A 軸方向の変化量であったが、状態量 B 軸方向の変化量であってもよい。言い換えると、変化量 1 は、 n 次元空間のいずれの軸方向の変化量であってもよい。

【0099】

また、実施の形態 2 及び 3 において、参考状態量は、1 つの 1 次関数上において 3 点選択されたが、少なくとも 2 点を選択されればよい。

【0100】

また、実施の形態 $1 \sim 3$ において、参考状態量は、領域内状態量のうち、ユークリッド距離 Deu を最小にする状態量として選択されていた。しかし、参考状態量は、領域外状態量の n 次元空間中の位置に応じたルックアップテーブルによって予め設定されてもよい。

【0101】

また、実施の形態 $1 \sim 3$ において、基準小範囲、横幅 w_1 及び縦幅 w_2 は一定値に定められていたが、状態量 A 及び状態量 B の大きさに応じた値であってもよい。

【0102】

10

20

30

40

50

また、状態量 A 及び状態量 B の 2 つのパラメータを座標軸とした 2 次元空間上において、設定領域 90 外の状態量の値に対して制御量を演算した。しかし、NN60 に入力するパラメータとして状態量を n 個使用する場合には、n 次元空間において同様の方法により制御量を演算してもよい。

【0103】

また、設定領域の設定方法は、上記の方法に限定されない。例えば、設定領域は、以下の手順で設定されてもよい。

(1) 学習装置は、準備された教師データをすべて用いて NN60 に学習させる。

(2) 学習装置は、学習済みの NN60 に教師入力データを入力し、NN60 の出力データと教師出力データとを用いて NN60 の演算精度を算出する。

(3) 学習装置は、算出された演算精度が目標の演算精度を満足するような教師入力データの範囲を設定領域として設定する。

【0104】

また、複数の状態量のうちの 1 つについて、実際に使用される運転領域の全域を網羅する教師データが収集されたことにより、当該状態量の範囲を制限する必要がないと判明した場合、当該状態量を設定領域のパラメータから省いてもよい。これによれば、設定領域 90 の設定が簡素化され、学習装置の演算負荷が低減される。

【0105】

また、演算部 30 の利用するニューラルネットワークの構成は、上記の構成に限定されない。演算部 30 は、例えば、畳み込みニューラルネットワーク、再帰型ニューラルネットワーク等を利用してよい。また、ニューラルネットワークの学習方法は、上記の学習方法に限定されない。

【0106】

また、実施の形態 1 ~ 3 の内燃機関の制御装置 10 の各機能は、処理回路によって実現される。図 13 は、実施の形態 1 ~ 3 の内燃機関の制御装置 10 の各機能を実現する処理回路の第 1 の例を示す構成図である。第 1 の例の処理回路 100 は、専用のハードウェアである。

【0107】

また、処理回路 100 は、例えば、単回路、複合回路、プログラム化したプロセッサ、並列プログラム化したプロセッサ、ASIC (Application Specific Integrated Circuit)、FPGA (Field Programmable Gate Array)、又はこれらを組み合わせたものが該当する。また、制御装置 10 の各機能それぞれを個別の処理回路 100 で実現してもよいし、各機能をまとめて処理回路 100 で実現してもよい。

【0108】

また、図 14 は、実施の形態 1 ~ 3 の内燃機関の制御装置 10 の各機能を実現する処理回路の第 2 の例を示す構成図である。第 2 の例の処理回路 200 は、プロセッサ 201 及びメモリ 202 を備えている。

【0109】

処理回路 200 では、内燃機関の制御装置 10 の機能は、ソフトウェア、ファームウェア、又はソフトウェアとファームウェアとの組み合わせにより実現される。ソフトウェア及びファームウェアは、プログラムとして記述され、メモリ 202 に格納される。プロセッサ 201 は、メモリ 202 に記憶されたプログラムを読み出して実行することにより、各機能を実現する。

【0110】

メモリ 202 に格納されたプログラムは、上述した各部の手順又は方法をコンピュータに実行させるものであるとも言える。ここで、メモリ 202 とは、例えば、RAM (Random Access Memory)、ROM (Read Only Memory)、フラッシュメモリ、EPROM (Erasable Programmable Read Only Memory)、EEPROM (Electrically Era

10

20

30

40

50

sable and Programmable Read Only Memory) 等の、不揮発性又は揮発性の半導体メモリである。また、磁気ディスク、フレキシブルディスク、光ディスク、コンパクトディスク、ミニディスク、DVD等も、メモリ202に該当する。

【0111】

なお、上述した各部の機能について、一部の専用のハードウェアで実現し、一部をソフトウェア又はファームウェアで実現するようにしてもよい。

【0112】

このように、処理回路は、ハードウェア、ソフトウェア、ファームウェア、又はこれらの組み合わせによって、上述した各部の機能を実現することができる。

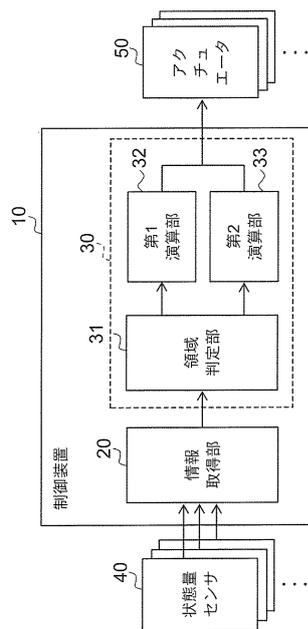
10

【符号の説明】

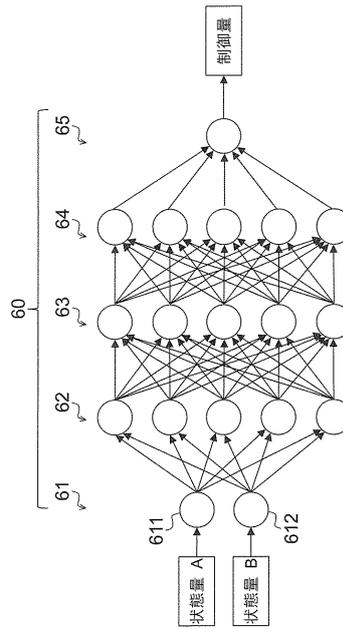
【0113】

10 内燃機関の制御装置、20 情報取得部、30 演算部、31 領域判定部、32 第1演算部、33 第2演算部、40 状態量センサ、60 ニューラルネットワーク(NN)、70 学習装置、81 教師入力データ、90 設定領域、Out1 領域外状態量。

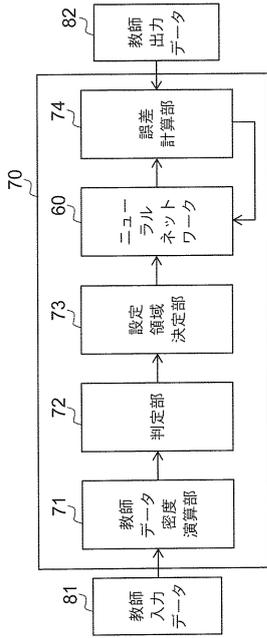
【図1】



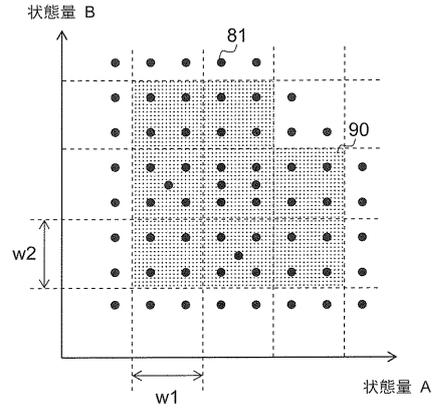
【図2】



【図3】



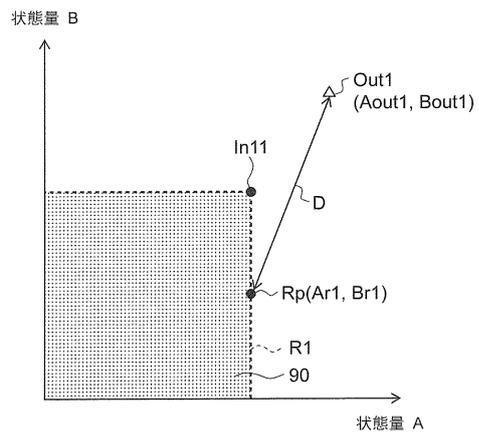
【図4】



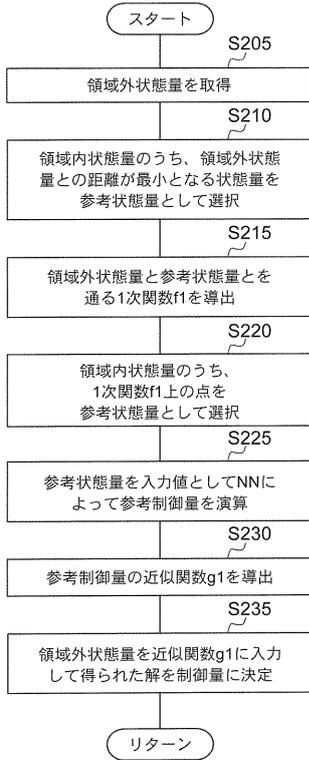
【図5】



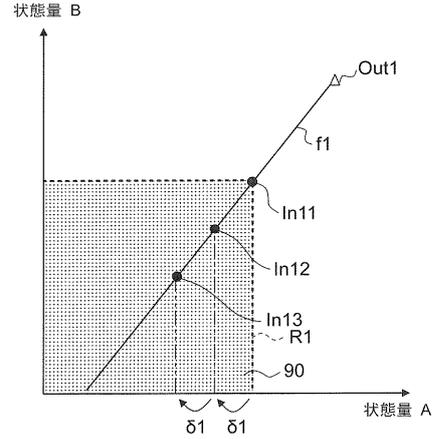
【図6】



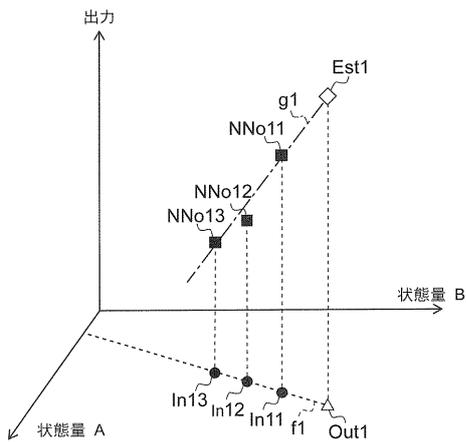
【図7】



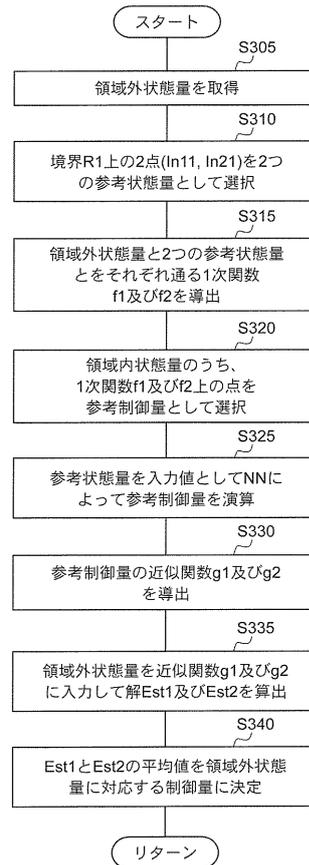
【図8】



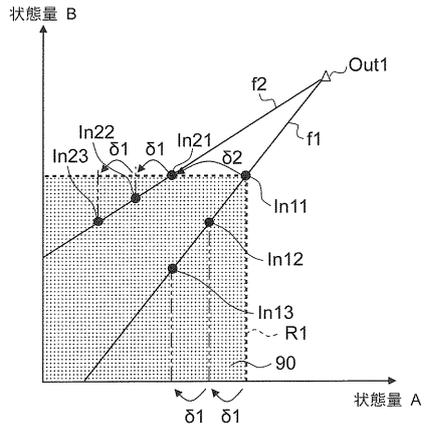
【図9】



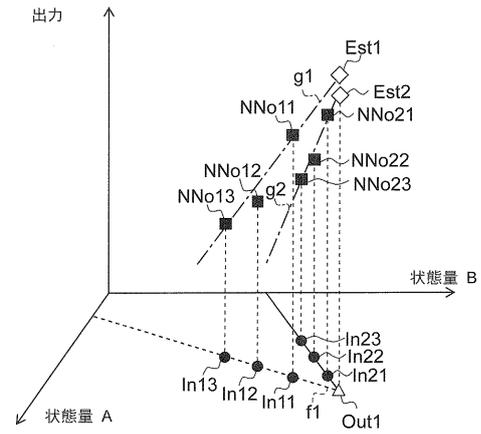
【図10】



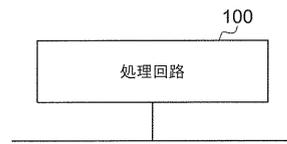
【図 1 1】



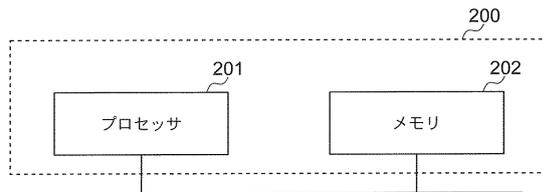
【図 1 2】



【図 1 3】



【図 1 4】



フロントページの続き

(72)発明者 田中 翼

東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内

(72)発明者 北尾 武史

兵庫県神戸市中央区中町通二丁目1番18号 三菱電機コントロールソフトウェア株式会社内

(72)発明者 牧野 倫和

東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内

審査官 小笠原 恵理

(56)参考文献 特開2019-116881(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

F02D 45/00

G05B 13/02