

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5549112号
(P5549112)

(45) 発行日 平成26年7月16日(2014.7.16)

(24) 登録日 平成26年5月30日(2014.5.30)

(51) Int.Cl.

F I

G O 5 B 13/02 (2006.01)

G O 5 B 13/02 J

G O 5 B 11/42 (2006.01)

G O 5 B 11/42

請求項の数 4 (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願2009-116015 (P2009-116015)
 (22) 出願日 平成21年5月12日(2009.5.12)
 (65) 公開番号 特開2010-266967 (P2010-266967A)
 (43) 公開日 平成22年11月25日(2010.11.25)
 審査請求日 平成24年3月13日(2012.3.13)

(73) 特許権者 000005234
 富士電機株式会社
 神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号
 (74) 代理人 100108372
 弁理士 谷田 拓男
 (72) 発明者 中沢 親志
 東京都日野市富士町1番地 富士電機アド
 バンストテクノロジー株式会社内

審査官 青山 純

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 P I D調整装置およびP I D調整プログラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

制御対象を閉ループにて制御するP I D調節器のP I Dパラメータを求めるP I D調整装置であって、

記録部に記録された制御対象に入力する操作量の時系列データと該操作量に応じて制御対象から出力される制御量の時系列データとに基づき、制御対象を表現する複数の伝達関数のパラメータを求める伝達関数パラメータ取得手段と、

前記伝達関数パラメータ取得手段により求められたパラメータを有する各伝達関数が出力した推定制御量と実際の制御量との適合性を求める適合性取得手段と、

前記適合性取得手段により求められた適合性に基づき、最良の適合性を有する伝達関数を選択する又は選択させる最良伝達関数選択手段と、

前記最良伝達関数選択手段により選択された又は選択させた伝達関数を対象として、設定値応答及び外乱応答の結果から予め決めておいた評価指標を満たすべくP I D調節器のP I Dパラメータを探索する最適P I Dパラメータ探索手段とを備え、

前記最適P I Dパラメータ探索手段が用いる設定値応答及び外乱応答の結果は、制御量に白色ノイズを注入した状態の設定値応答及び外乱応答の結果であることを特徴とするP I D調整装置。

【請求項2】

請求項1記載のP I D調整装置において、前記最適P I Dパラメータ探索手段が用いる評価指標は、制御量とステップ状の設定値との差の2乗を時間で積分した指標であること

10

20

を特徴とする P I D 調整装置。

【請求項 3】

請求項 1 又は 2 記載の P I D 調整装置において、前記適合性取得手段が用いる適合性は、推定制御量、実際の制御量及び実際の制御量の平均値に基づく所定の適合率であることを特徴とする P I D 調整装置。

【請求項 4】

制御対象を閉ループにて制御する P I D 調節器の P I D パラメータを求める P I D 調整プログラムであって、P I D 調整御プログラムを実行する P I D 調整装置のコンピュータに、

記録部に記録された制御対象に入力する操作量の時系列データと該操作量に応じて制御対象から出力される制御量の時系列データとに基づき、制御対象を表現する複数の伝達関数のパラメータを求める伝達関数パラメータ取得ステップ、

前記伝達関数パラメータ取得ステップで求められたパラメータを有する各伝達関数が出力した推定制御量と実際の制御量との適合性を求める適合性取得ステップ、

前記適合性取得ステップで求められた適合性に基づき、最良の適合性を有する伝達関数を選択する又は選択させる最良伝達関数選択ステップ、

前記最良伝達関数選択ステップで選択された又は選択させた伝達関数を対象として、設定値応答及び外乱応答の結果から予め決めておいた評価指標を満たすべく P I D 調節器の P I D パラメータを探索する最適 P I D パラメータ探索ステップを実行させるための P I D 調整プログラムであって、

前記最適 P I D パラメータ探索ステップで用いる設定値応答及び外乱応答の結果は、制御量に白色ノイズを注入した状態の設定値応答及び外乱応答の結果であることを特徴とする P I D 調整プログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、制御対象を閉ループにて制御する P I D 調節器の P I D パラメータを求める P I D 調整装置等に関する。

【背景技術】

【0002】

P I D (Proportional Integral Derivate) 制御は、石油、化学、鉄鋼、紙パルプ、水環境等のいわゆるプロセス産業における制御方式において、90%以上を占めるといわれている基盤的制御技術であり、P I D 制御は、実用上不可欠な制御方式となっている。従来、制御対象の同定方法とその同定方法から得られたモデルである伝達関数をもとに P I D 調節器の制御パラメータを決定する P I D 調節器の調整方法、調整に用いるプログラムおよび P I D 調節装置に関しては、シミュレーションにより試行錯誤的に実施する方法が提案されてきた(特許文献 1 参照)。特許文献 1 に記載されているように、制御器シミュレーション部は作業員との対話処理に従って制御パラメータ(P I D パラメータ)の値を設定し、作業員は当該 P I D パラメータが適切なものである場合、制御器シミュレーション部へシミュレーションの終了指示を発行していた。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

上述のように、シミュレーションにより試行錯誤的に P I D パラメータを調整する場合、作業員は制御対象に関する経験・ノウハウを必要とする。このため、P I D 調節器の調整方法および P I D 調節装置等に関して、シミュレーションにより試行錯誤的に実施する方法は広く現場のエンジニアに普及させるには困難であるという問題があった。さらに、シミュレーションにより試行錯誤的に実施する方法は、調整労力と時間とを極めて要するという問題があった。

【0004】

そこで、本発明の目的は、上記問題を解決するためになされたものであり、P I D 調節器の調整方法およびP I D 調節装置等に関して、広く現場のエンジニアに普及させることが可能であり、且つ調整労力と時間とを著しく短縮することができるP I D 調整装置等を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0005】

この発明のP I D 調整装置は、制御対象を閉ループにて制御するP I D 調節器のP I D パラメータを求めるP I D 調整装置であって、記録部に記録された制御対象に入力する操作量の時系列データと該操作量に応じて制御対象から出力される制御量の時系列データとに基づき、制御対象を表現する複数の伝達関数のパラメータを求める伝達関数パラメータ取得手段と、前記伝達関数パラメータ取得手段により求められたパラメータを有する各伝達関数が出力した推定制御量と実際の制御量との適合性を求める適合性取得手段と、前記適合性取得手段により求められた適合性に基づき、最良の適合性を有する伝達関数を選択する又は選択させる最良伝達関数選択手段と、前記最良伝達関数選択手段により選択された又は選択させた伝達関数を対象として、設定値応答及び外乱応答の結果から予め決めておいた評価指標を満たすべくP I D 調節器のP I D パラメータを探索する最適P I D パラメータ探索手段とを備え、前記最適P I D パラメータ探索手段が用いる設定値応答及び外乱応答の結果は、制御量に白色ノイズを注入した状態の設定値応答及び外乱応答の結果であることを特徴とする。

【0007】

ここで、この発明のP I D 調整装置において、前記最適P I D パラメータ探索手段が用いる評価指標は、制御量とステップ状の設定値との差の2乗を時間で積分した指標とすることができる。

【0008】

ここで、この発明のP I D 調整装置において、前記適合性取得手段が用いる適合性は、推定制御量、実際の制御量及び実際の制御量の平均値に基づく所定の適合率とすることができる。

【0009】

この発明のP I D 調整プログラムは、制御対象を閉ループにて制御するP I D 調節器のP I D パラメータを求めるP I D 調整プログラムであって、P I D 調整プログラムを実行するP I D 調整装置のコンピュータに、記録部に記録された制御対象に入力する操作量の時系列データと該操作量に応じて制御対象から出力される制御量の時系列データとに基づき、制御対象を表現する複数の伝達関数のパラメータを求める伝達関数パラメータ取得ステップ、前記伝達関数パラメータ取得ステップで求められたパラメータを有する各伝達関数が出力した推定制御量と実際の制御量との適合性を求める適合性取得ステップ、前記適合性取得ステップで求められた適合性に基づき、最良の適合性を有する伝達関数を選択する又は選択させる最良伝達関数選択ステップ、前記最良伝達関数選択ステップで選択された又は選択させた伝達関数を対象として、設定値応答及び外乱応答の結果から予め決めておいた評価指標を満たすべくP I D 調節器のP I D パラメータを探索する最適P I D パラメータ探索ステップを実行させるためのP I D 調整プログラムであって、前記最適P I D パラメータ探索ステップで用いる設定値応答及び外乱応答の結果は、制御量に白色ノイズを注入した状態の設定値応答及び外乱応答の結果であることを特徴とするP I D 調整プログラムである。

【発明の効果】

【0011】

本発明のP I D 調整装置等によれば、P I D 調整装置の最適P I D パラメータ探索部が、最良伝達関数選択部により選択されたまたは選択させた伝達関数を対象として、設定値S Vに対する設定値応答および外乱dに対する外乱応答の結果から予め決めておいた評価指標を満たすように、P I D 調節器のP I D パラメータを探索することができる。この結果、作業者が制御対象に関する経験・ノウハウに基づき、P I D パラメータの決定を試行

錯誤的に行う必要がなくなるため、P I D調節器の調整方法およびP I D調節装置等に関して、広く現場のエンジニアに普及させることが可能となり、加えて調整労力と時間とを著しく短縮することができるという効果がある。

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図1】本発明の実施例1におけるP I D調整装置を示す図である。

【図2】伝達関数パラメータ取得部32の構成を示す図である。

【図3】最良伝達関数選択部36が適合性F I T (%) に基づき、最良の適合性を有する伝達関数を選択するまたは選択させる状態を示す図である。

【図4】最適P I Dパラメータ探索部38の機能を説明するための図である。

10

【図5】図4で説明した設定値S V、外乱dおよび制御量P Vのタイムチャートである。

【図6】P I D調整装置30の各機能をすべてソフトウェアにより実現した場合の処理の流れを示すフローチャートである。

【図7】本発明の実施例2におけるP I D調整装置を示す図である。

【図8】実施例2における最適P I Dパラメータ探索部38の機能を説明するための図である。

【図9】図8で説明した設定値S V、外乱dおよび制御量P Vのタイムチャートを示す図である。

【図10】本発明のP I D調整プログラムを実行するP I D調整装置30内のコンピュータの内部回路40を示すブロック図である。

20

【発明を実施するための形態】

【0013】

以下、各実施例について図面を参照して詳細に説明する。

【実施例1】

【0014】

図1は、本発明の実施例1におけるP I D調整装置を示す。図1において、符号10は制御対象、20は制御対象10を閉ループにて制御するP I D調節器、30はP I D調節器20のP I Dパラメータを求めるP I D調整装置である。図1に示されるように、P I D調節器20から制御対象10へ操作量M Vが入力され、当該操作量M Vと外乱dとに応じて制御対象10から制御量P Vが出力される。P I D調整装置30は、図1に示されるように、伝達関数パラメータ取得部（伝達関数パラメータ取得手段）32、適合性取得部（適合性取得手段）34、最良伝達関数選択部（最良伝達関数選択手段）36および最適P I Dパラメータ探索部（最適P I Dパラメータ探索手段）38の各機能を有している。以下、図1および他の図面を適宜参照しながら説明する。

30

【0015】

図1に示されるように、伝達関数パラメータ取得部32は、記録部（後述するディスク等の記録装置48）に記録された制御対象10に入力する操作量M Vの時系列データ（点線で示される方のM V）とこの操作量M Vに応じて制御対象10から出力される制御量P Vの時系列データ（点線で示される方のP V）とに基づき、制御対象10を表現する複数の伝達関数のパラメータを求める。

40

【0016】

図2は、伝達関数パラメータ取得部32の構成を示す。図2において、符号11ないし17はオフラインにて予め構造を決めておいた制御対象10を表現する複数の伝達関数である。図2に示されるように、伝達関数11は一次系（または一次おくれ要素）+むだ時間（またはむだ時間要素）、伝達関数12は二次系（または二次おくれ要素）+むだ時間、伝達関数13は一次系+積分系（積分要素）+むだ時間、伝達関数14は二次系+積分系、伝達関数15は二次系（振動系：二次おくれ要素の減衰係数 ζ が $0 < \zeta < 1$ であり、ステップ応答が振動的）+むだ時間、伝達関数16は積分系+むだ時間、伝達関数17は非最小位相系である。以上のように、図2では7種類の伝達関数11ないし17の例を示したが、他の伝達関数を用いてもよいことは勿論である。伝達関数パラメータ取得部32

50

は、操作量 MV の時系列データと操作量 MV に応じて制御対象 10 から出力される制御量 PV の時系列データとから、各伝達関数 11 ないし 17 のパラメータである、ゲイン定数 G^* 、時定数 T^* 、 T_1^* 、 T_2^* 、 T_3^* 、むだ時間 L^* 、減衰係数 ζ^* 、固有角周波数 ω^* を求める。これらの各伝達関数 11 ないし 17 のパラメータは、以下の式 1 で示される目的関数 J の最小値を求めることにより得ることができる。

【0017】

【数1】

$$\min J = \int (PV^* - PV)^2 dt \quad (1)$$

10

【0018】

ここで、 PV^* は推定された制御量である。式 1 は（無制約）非線形最適化問題となるため、例えばニュートン法、準ニュートン法、最急降下法等を適用することにより式 1 の最小値 J を求めることができる。

【0019】

図 1 に示されるように、適合性取得部 34 は、伝達関数パラメータ取得部 32 により求められたパラメータを有する各伝達関数が出力した推定制御量（点線で示される PV^* ）と実際の制御量（点線で示される方の PV ）との適合性を求める。伝達関数パラメータ取得部 32 により求められた k 番目の推定制御量を $PV^*(k)$ 、 k 番目の実際の制御量を $PV(k)$ 、制御量 $PV(k)$ の平均値を、

20

【0020】

【数2】

PV

【0021】

とすると、適合性は、以下の式 2 で表される適合率 $FIT(\%)$ により求めることができる。

【0022】

【数3】

$$FIT(\%) = 1 - \frac{\sqrt{\sum_{k=1}^N (PV^*(k) - PV(k))^2}}{\sum_{k=1}^N (PV(k) - \overline{PV})^2} \quad (2)$$

30

【0023】

ここで、 N は時系列データのデータ数を表す。本明細書では、推定制御量 PV^* と実際の制御量 PV との 2 つのデータ比較に上記適合率 $FIT(\%)$ を採用した。しかし、適合率 $FIT(\%)$ の代わりに 2 つのデータの相関を用いることも可能である。

40

【0024】

図 1 に示されるように、最良伝達関数選択部 36 は、適合性取得部 34 により求められた適合性 $FIT(\%)$ （点線で示される FIT ）に基づき、最良の適合性を有する伝達関数を選択するまたは選択させる。図 3 は、最良伝達関数選択部 36 が適合性 $FIT(\%)$ に基づき、最良の適合性を有する伝達関数を選択するまたは選択させる状態を示す。図 3 で図 2 と同じ符号を付した箇所は同じ要素を示すため説明は省略する。図 3 に表形式で、伝達関数欄、適合率欄および選択欄と、各伝達関数 11 ないし 17 とが示されている。上記選択するまたは選択させる状態は、当該表形式により後述するディスプレイ等の表示装

50

置 4 4 に表示することができる。最良伝達関数選択部 3 6 は、図 3 に示すように、各伝達関数 1 1 等に対して計算された適合率 F I T (%) を各伝達関数欄に対応する適合率欄に表示し、最も適合率 F I T (%) が良い伝達関数を選択欄にチェック等を表示することにより選択する。図 3 では、伝達関数 1 1 を選択した状態が表示されている。選択は最良伝達関数選択部 3 6 が適合率 F I T (%) の値により自動的に選択するが、手動にて任意の伝達関数 1 1 等を選択することも可能である。この場合、後述するマウス等の入力操作部 5 1 を用いて選択欄中の所望の矩形をクリックすることにより選択することができる。

【 0 0 2 5 】

図 1 に示されるように、最適 P I D パラメータ探索部 3 8 は、最良伝達関数選択部 3 6 により選択されたまたは選択させた伝達関数 1 1 等（点線で示される 1 1 等）を対象として、設定値（後述する S V ）に対する設定値応答および外乱（後述する d ）に対する外乱応答の結果から予め決めておいた評価指標を満たすように、P I D 調節器 2 0 の P I D パラメータを探索する。

10

【 0 0 2 6 】

図 4 は、最適 P I D パラメータ探索部 3 8 の機能を説明するための図である。図 4 で図 1 と同じ符号を付した箇所は同じ要素を示すため説明は省略する。図 4 に示されるように、初めに設定値 S V にステップ状の信号を入力し、ステップ応答が収束した後、外乱 d にステップ上の信号を入力し、出力である制御量 P V から評価指標を計算する。図 5 は、図 4 で説明した設定値 S V 、外乱 d および制御量 P V のタイムチャートを示す。図 5 (A) は設定値 S V 、図 5 (B) は外乱 d 、図 5 (C) は制御量 P V 、横軸はいずれも時間であり、時間 t_d は操作量 M V に外乱 d が加えられた時間を示す。図 4 に示される評価指標の計算では、以下の式 3 で表される I S E (Integral of Squared Error) を用いて評価指標を計算する。

20

【 0 0 2 7 】

【 数 4 】

$$\min F = \int_0^{\infty} \{e(t)\}^2 dt \quad (3)$$

30

【 0 0 2 8 】

ここで、 $e(t) = P V - S V$ である。即ち、評価指標は制御量 P V とステップ状の設定値 S V との差の 2 乗を時間で 0 から無限大まで積分した指標である。図 5 では、 $e(t)$ につき、制御量 P V の立ち上がり時間の部分と外乱応答が加えられた部分とを示してある。評価指標である式 3 は、例えば、パーティクル・スウォーム・オプティマイゼーション (Particle Swarm Optimization: P S O) 等の探索手法により、P I D 調節器 2 0 のパラメータである、比例ゲイン K_P 、積分時間 T_i 、微分時間 T_D を求めることができる。

【 0 0 2 9 】

P S O は、簡単化した社会モデルのシミュレーションを通して開発されたモダン・ヒューリスティック (Modern heuristic: M H) 手法の 1 つであり、鳥の群れの動きを連続変数の 2 次元空間で表現することを通して開発された。

40

【 0 0 3 0 】

P S O については、J. Kennedy and R. Eberhart による “Particle Swarm Optimization” (Proc. of IEEE International Conference on Neural Networks, Vol. IV, pp.1942-1948, Perth, Australia, 1995.) または吉田・福山他による「電圧信頼度を考慮した Particle Swarm Optimization による電圧無効電力制御方式の検討」(電気学会論文誌 B, 119 巻 12 号, 1999 年 12 月)、特開 2 0 0 0 - 1 1 6 0 0 3 「電圧無効電力制御方法」、特開 2 0 0 2 - 5 1 4 6 4 「配電系統における状態推定法」等を参照されたい。

【 0 0 3 1 】

P S O では、各エージェント (P S O では、群れの個々をエージェントと呼ぶ。) の位

50

置（状態量）を x 、 y 座標で表し、各エージェントの速度を v_x （ x 方向の速度）、 v_y （ y 方向の速度）で表現する。各エージェントの位置および速度の情報から、次時点における各エージェントの位置を更新することができる。

【0032】

上記エージェントの概念に基づき、鳥の群れ全体が何らかの目的関数を最適化するような行動をとると考えると、以下のような最適化が考えられる。即ち、各エージェントは、各々の探索における目的関数の従前における最も評価の高い最良値 $pbest$ と、その時の位置（状態量）を示す x 、 y 座標とを覚えている。各エージェントは、各エージェントが保有する最良値 $pbest$ の集団の中で最も評価の高い値、即ち、当該集団の従前の目的関数の最良値 $gbest$ を共有している。各エージェントは、現在の位置（ x 、 y 座標）および現在の速度（ v_x 、 v_y ）を持っている。各エージェントは、現在の位置（ x 、 y 座標）および速度（ v_x 、 v_y ）と、最良値 $pbest$ 、 $gbest$ との間の距離に応じて、最良値 $pbest$ 、 $gbest$ の存在する位置へ進むように方向を変更しようとする。

10

【0033】

上記変更しようとする行動は速度で表現される。各エージェントの速度は、現在の速度と最良値 $pbest$ 、 $gbest$ とを用いて、式4のように修正することができる。

【0034】

$$V_i^{k+1} = w \times V_i^k + c_1 \times rand() \times (pbest_i - s_i^k) + c_2 \times rand() \times (gbest - s_i^k) \quad (4)$$

20

【0035】

但し、 V_i^k は、エージェント i の速度、 $rand()$ は、0～1までの一様乱数、 s_i^k は、エージェント i の探索 k 回目の位置（探索点）、 $pbest_i$ は、エージェント i の最良値 $pbest$ 、 w はエージェント速度に対する重み関数、 c_1 、 c_2 は、各項に対する重み係数である。

【0036】

上記式4を用いることにより、各エージェント i の従前の最良値 $pbest_i$ および集団の最良値 $gbest$ に確率的に近づくような速度 V_i^{k+1} を求めることができ、速度 V_i^{k+1} により、各エージェント i の現在の位置（探索点） s_i^k を式5のように修正することができる。

30

【0037】

$$s_i^{k+1} = s_i^k + V_i^{k+1} \quad (5)$$

【0038】

具体的には、PSOのエージェントの状態変数は、PIDパラメータである比例ゲイン K_p 、積分時間 T_i 、微分時間 T_d とする。

【0039】

次に、エージェントの初期値として、エージェントの位置 s_i および速度 v_i を設定する。なお、エージェントの数 i は事前に設定しておく。

【0040】

続いて、式4および式5の計算を繰り返すことにより、最適解を探索する。ここで、繰り返し回数 k は事前に設定しておく。最適解を探索する際に、繰返しの各ステップ毎に、各エージェント i の評価と、各探索点の最良値 $pbest_i$ および集団の最良値 $gbest$ の更新を行う。

40

【0041】

ここで、各エージェント i の評価は、以下の手順で行うことができる。まず、エージェント i の状態変数 s_i を、PIDパラメータである比例ゲイン K_p 、積分時間 T_i 、微分時間 T_d に設定する、次に、設定値 SV に対する設定値応答および外乱 d に対する外乱応答の結果から、評価指標（式3）を評価する。すべてのエージェントの評価結果に基づいて、各探索点の最良値 $pbest_i$ および集団の最良値 $gbest$ を決定する。指定された繰り返し回数 k が終了した後、集団の最良値 $gbest$ の状態量をPIDパラメータで

50

ある比例ゲイン K_p 、積分時間 T_i 、微分時間 T_D としたものを、最適なPIDパラメータとする。以上により、PID調節器20の最適なPIDパラメータを求めることができる。

【0042】

図1に示されるPID調整装置30の伝達関数パラメータ取得部32等の各機能は、ソフトウェアまたはハードウェアを一部または全部に用いて実現することができる。図6は、PID調整装置30の各機能をすべてソフトウェアにより実現した場合の処理の流れをフローチャートで示す。ソフトウェアまたはハードウェアを一部または全部に用いて実現した場合も同様のフローチャートにより説明することができる。

【0043】

図6に示されるように、制御対象10を閉ループにて制御するPID調節器20のPIDパラメータを求めるPID調整プログラムは、当該PID調整プログラムを実行するPID調整装置のコンピュータ(後述するCPU41)に、以下の各ステップを実行させる。まず、記録部(後述する記録装置48等)に記録された制御対象10に入力する操作量MVの時系列データと操作量MVに応じて制御対象10から出力される制御量PVの時系列データとに基づき、制御対象10を表現する複数の伝達関数11等のパラメータを求める(伝達関数パラメータ取得ステップ。ステップS10)。次に、伝達関数パラメータ取得ステップ(ステップS10)で求められたパラメータを有する各伝達関数11等が出力した推定制御量 PV^* と実際の制御量PVとの適合性(適合率FIT(%))を求める(適合性取得ステップ。ステップS12)。続いて、適合性取得ステップ(ステップS12)で求められた適合性に基づき、最良の適合性を有する伝達関数を選択するまたは選択させる(最良伝達関数選択ステップ。ステップS14)。最後に、最良伝達関数選択ステップ(ステップS14)で選択されたまたは選択させた伝達関数を対象として、設定値SVに対する設定応答および外乱dに対する外乱応答の結果から予め決めておいた評価指標(式3)を満たすように、PID調節器20のPIDパラメータを探索する(最適PIDパラメータ探索ステップ。ステップS16)。

【0044】

以上より、本発明の実施例1によれば、PID調整装置30は、伝達関数パラメータ取得部32、適合性取得部34、最良伝達関数選択部36および最適PIDパラメータ探索部38の各機能を有している。伝達関数パラメータ取得部32は、記録部(後述する記録装置48等)に記録された制御対象10に入力する操作量MVの時系列データとこの操作量MVに応じて制御対象10から出力される制御量PVの時系列データとに基づき、制御対象10を表現する複数の伝達関数のパラメータ(ゲイン定数 G^* 、時定数 T^* 、 T_1^* 、 T_2^* 、 T_3^* 、むだ時間 L^* 、減衰係数 ζ^* 、固有角周波数 ω^*)を求める。伝達関数は、オフラインにて予め構造を決めておいた制御対象10を表現する複数(例えば図2に示される7つの伝達関数11等)を用いることが好適であるが、これらの伝達関数11等に限定されるものではない。各伝達関数11ないし17のパラメータは、式1で示される目的関数Jの最小値を求めることにより得ることができる。適合性取得部34は、伝達関数パラメータ取得部32により求められたパラメータを有する各伝達関数が出力した推定制御量(点線で示される PV^*)と実際の制御量(点線で示される方のPV)との適合性を求める。適合性は、式2で表される適合率FIT(%)により求めることができる。適合率FIT(%)の代わりに2つのデータの相関を用いることも可能である。最良伝達関数選択部36は、適合性取得部34により求められた適合性FIT(%)に基づき、最良の適合性を有する伝達関数を選択するまたは選択させる。上記選択するまたは選択させる状態は後述するディスプレイ等の表示装置44に表示することができる。選択は最良伝達関数選択部36が適合率FIT(%)の値により自動的に選択するが、手動にて任意の伝達関数11等を選択することも可能である。最適PIDパラメータ探索部38は、最良伝達関数選択部36により選択されたまたは選択させた伝達関数11等を対象として、設定値SVに対する設定値応答および外乱dに対する外乱応答の結果から予め決めておいた評価指標を満たすように、PID調節器20のPIDパラメータを探索する。評価指標の

10

20

30

40

50

計算は、式 3 で表される $I S E$ を用いて行うことができる。評価指標である式 3 は、例えば、 $P S O$ 等の探索手法を有する探索手段により、 $P I D$ 調節器 20 のパラメータである、比例ゲイン K_p 、積分時間 T_i 、微分時間 T_D を求めることができる。

【0045】

以上のように本発明の実施例 1 によれば、 $P I D$ 調整装置 30 の最適 $P I D$ パラメータ探索部 38 が、最良伝達関数選択部 36 により選択されたまたは選択させた伝達関数 11 等を対象として、設定値 $S V$ に対する設定値応答および外乱 d に対する外乱応答の結果から予め決めておいた評価指標を満たすように、 $P I D$ 調節器 20 の $P I D$ パラメータを探索することができる。この結果、作業者が制御対象 10 に関する経験・ノウハウに基づき、 $P I D$ パラメータの決定を試行錯誤的に行う必要がなくなるため、 $P I D$ 調節器の調整方法および $P I D$ 調節装置等に関して、広く現場のエンジニアに普及させることが可能となり、加えて調整労力と時間とを著しく短縮することができる。

10

【実施例 2】

【0046】

図 7 は、本発明の実施例 2 における $P I D$ 調整装置を示す。図 7 で図 1 と同じ符号を付した箇所は同じ要素を示すため説明は省略する。実施例 2 が実施例 1 と異なる点は、図 7 に示されるように、制御量 $P V$ に白色ノイズ w (上記式 4 の重み関数とは異なる。) が注入した状態となっている点にある。

【0047】

図 8 は、実施例 2 における最適 $P I D$ パラメータ探索部 38 の機能を説明するための図である。図 8 で図 7 と同じ符号を付した箇所は同じ要素を示すため説明は省略する。図 8 に示されるように、制御量 $P V$ に白色ノイズ w を注入した状態で、初めに設定値 $S V$ にステップ状の信号を入力し、ステップ応答が収束した後、外乱 d にステップ上の信号を入力し、出力である制御量 $P V$ から評価指標を計算する。図 9 は、図 8 で説明した設定値 $S V$ 、外乱 d および制御量 $P V$ のタイムチャートを示す。図 9 (A) は設定値 $S V$ 、図 9 (B) は外乱 d 、図 9 (C) は制御量 $P V$ 、横軸はいずれも時間であり、時間 t_d は操作量 $M V$ に外乱 d が加えられた (+) 時間を示す。図 9 (C) に示されるように、制御量 $P V$ に白色ノイズ w が注入された状態がわかる。制御量 $P V$ に白色ノイズ w を注入することで、 $P I D$ パラメータのハイゲイン化 (最適 $P I D$ パラメータのゲインが大きくなる現象) を防ぐことができる。以上のように、実施例 2 では、 $P I D$ 調整装置 30 の最適 $P I D$ パラメータ探索部 38 が用いる設定値 $S V$ に対する設定値応答および外乱 d に対する外乱応答の結果は、制御量 $P V$ に白色ノイズ w を注入した状態の設定値応答および外乱応答の結果である。最適 $P I D$ パラメータ探索部 38 は、制御量 $P V$ に白色ノイズ w を注入した状態の設定値応答および外乱応答の結果から、予め決めておいた評価指標を満たすように、 $P I D$ 調節器 20 のパラメータを探索する。図 8 に示される評価指標の計算では、実施例 1 と同様に、式 3 で表される $I S E$ を用いて評価指標を計算する。図 9 では、実施例 1 と同様に、 $e(t)$ につき、制御量 $P V$ の立ち上がり時間の部分と外乱応答が加えられた部分とを示してある。評価指標である式 3 は、実施例 1 と同様に、 $P S O$ 等の探索手法により、 $P I D$ 調節器 20 のパラメータである、比例ゲイン K_p 、積分時間 T_i 、微分時間 T_D を求めることができる。

20

30

40

【0048】

実施例 2 における $P I D$ 調整装置 30 の他の機能については実施例 1 と同様であるため、説明は省略する。 $P I D$ 調整装置 30 の各機能は、実施例 1 と同様に、ソフトウェアまたはハードウェアを一部または全部に用いて実現することができる。 $P I D$ 調整プログラムの機能についても、最適 $P I D$ パラメータ探索ステップ (ステップ S16) で用いる設定値応答および外乱応答の結果は、制御量 $P V$ に白色ノイズ w を注入した状態の設定値応答および外乱応答の結果である点を除き実施例 1 と同様であるため、説明は省略する。

【0049】

以上より、本発明の実施例 2 によれば、制御量 $P V$ に白色ノイズ w を注入した状態で、初めに設定値 $S V$ にステップ状の信号を入力し、ステップ応答が収束した後、外乱 d にス

50

トップ上の信号を入力し、出力である制御量 P V から評価指標を計算する。最適 P I D パラメータ探索部 3 8 は、制御量 P V に白色ノイズ w を注入した状態の設定値応答および外乱応答の結果から、予め決めておいた評価指標を満たすように、P I D 調節器 2 0 のパラメータを探索する。以上により、実施例 1 の効果に加えて、制御量 P V に白色ノイズ w を注入することで、P I D パラメータのハイゲイン化（最適 P I D パラメータのゲインが大きくなる現象）を防ぐことができるという効果を得ることができる。

【実施例 3】

【0050】

上述したように、本発明の P I D 調整装置 3 0 は全体をハードウェアとして実現することもでき、あるいは一部または全体をソフトウェアとして実現することも可能である。図 10 は、本発明の P I D 調整プログラムを実行する P I D 調整装置 3 0 内のコンピュータの内部回路 4 0 を示すブロック図である。図 10 に示されるように、C P U 4 1、R O M 4 2、R A M 4 3、画像制御部 4 6、コントローラ 4 7、入力制御部 5 0 および外部 I / F 部 5 2 はバス 5 3 に接続されている。図 10 において、上述の本発明の P I D 調整プログラムは、R O M 4 2、ディスク 4 8 または D V D 若しくは C D - R O M 4 9 等の記録媒体（脱着可能な記録媒体を含む。）に記録されている。ディスク 4 8（記録部）には、伝達関数パラメータ取得部 3 2 が用いる操作量 M V の時系列データファイル 6 1 および制御量の時系列データファイル 6 2 等を記録しておくことができる。これらの時系列データファイル 6 1 等は D V D 若しくは C D - R O M 4 9 等の記録媒体 4 9 に記録されていてもよい。伝達関数パラメータ取得部 3 2 が求めた複数の伝達関数のパラメータ、適合性取得部 3 4 が求めた適合率 F I T（％）、最良伝達関数選択部 3 6 が選択したまたは選択させた伝達関数等は一時的に R A M 4 3 に記録しておくことができる。P I D 調整プログラムは、R O M 4 2 からバス 5 3 を介し、あるいはディスク 4 8 または D V D 若しくは C D - R O M 4 9 等の記録媒体からコントローラ 4 7 を経由してバス 5 3 を介し R A M 4 3 へロードされる。画像制御部 4 6 は、所望の画像データ、例えば図 3 に示される最良伝達関数選択部 3 6 が適合性 F I T（％）に基づき、最良の適合性を有する伝達関数を選択するまたは選択させる状態を示す画像データを V R A M 4 5 へ送出する。ディスプレイ等の表示装置 4 4 は V R A M 4 5 から送出された上記画像データ等を表示する。V R A M 4 5 は表示装置 4 4 の一画面分のデータ容量に相当する容量を有している画像メモリである。入力操作部 5 1 はコンピュータに入力を行うためのマウス、テンキー等の入力装置であり、入力制御部 5 0 は入力操作部 5 1 と接続され入力制御等を行う。外部 I / F 部 5 2 はコンピュータの外部と接続する際のインタフェース機能を有している。

【0051】

上述のように C P U 4 1 が本発明の P I D 調整プログラムを実行することにより、本発明の目的を達成することができる。P I D 調整プログラムは上述のように D V D 若しくは C D - R O M 4 9 等の記録媒体の形態でコンピュータ C P U 4 1 に供給することができ、P I D 調整プログラムを記録した D V D 若しくは C D - R O M 4 9 等の記録媒体も同様に本発明を構成することになる。P I D 調整プログラムを記録した記録媒体としては上述された記録媒体の他に、例えばメモリ・カード、メモリ・スティック、光ディスク、F D 等を用いることができる。

【産業上の利用可能性】

【0052】

本発明の活用例として、石油、化学、鉄鋼、紙パルプ、水環境等のいわゆるプロセス産業における P I D 制御方式に適用することができる。

【符号の説明】

【0053】

10 制御対象、 11、12、13、14、15、16、17 伝達関数、 20 P I D 調節器、 30 P I D 調整装置、 32 伝達関数パラメータ取得部、 34 適合性取得部、 36 最良伝達関数選択部、 38 最適 P I D パラメータ探索部、 40 内部回路、 41 C P U、 42 R O M、 43 R A M、 44 表示装置

、 45 VRAM、 46 画像制御部、 47 コントローラ、 49 DVD、 CD-ROM、 50 入力制御部、 51 入力操作部、 52 外部I/F部、 53 バス、 61 操作量MVの時系列データファイル、 62 制御量の時系列データファイル。

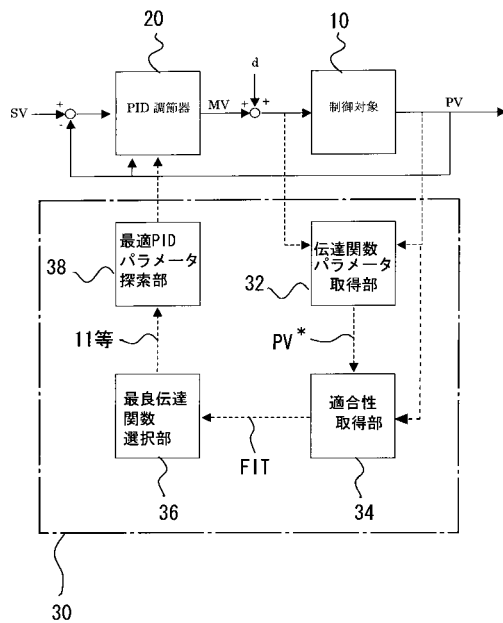
【先行技術文献】

【特許文献】

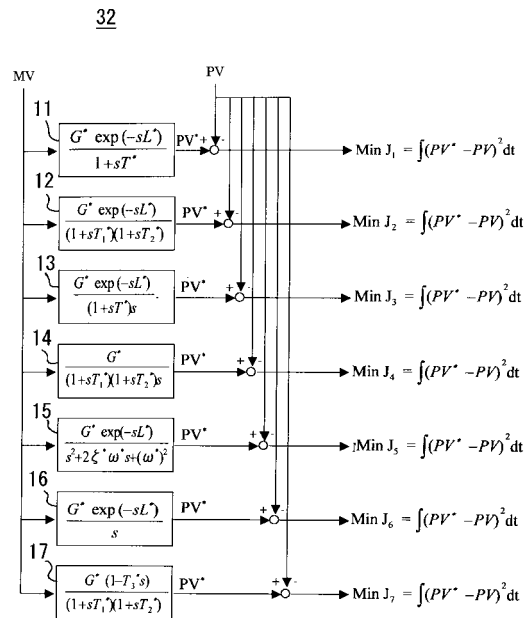
【0054】

【特許文献1】特開2004-38428号公報

【図1】



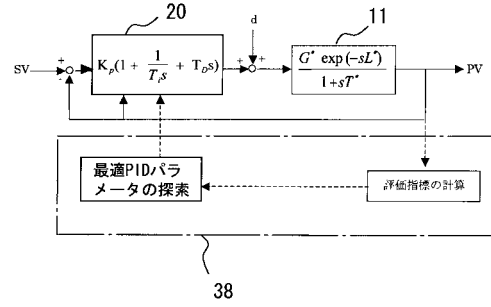
【図2】



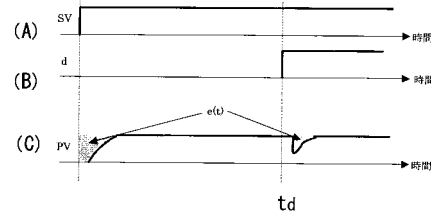
【図 3】

	伝達関数	適合率 %	選択
11	$\frac{G^* \exp(-sL^*)}{1+sT^*}$	91.0%	☒
12	$\frac{G^* \exp(-sL^*)}{(1+sT_1^*)(1+sT_2^*)}$	93.0%	☐
13	$\frac{G^* \exp(-sL^*)}{(1+sT^*)s}$	70.0%	☐
14	$\frac{G^*}{(1+sT_1^*)(1+sT_2^*)s}$	65.0%	☐
15	$\frac{G^* \exp(-sL^*)}{s^2+2\xi^*\omega^*s+(\omega^*)^2}$	90.0%	☐
16	$\frac{G^* \exp(-sL^*)}{s}$	40.0%	☐
17	$\frac{G^* (1-T_3^*s)}{(1+sT_1^*)(1+sT_2^*)}$	50.0%	☐

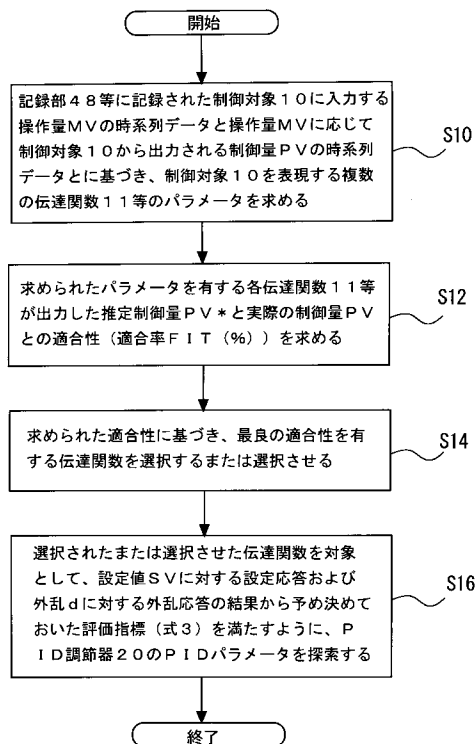
【図 4】



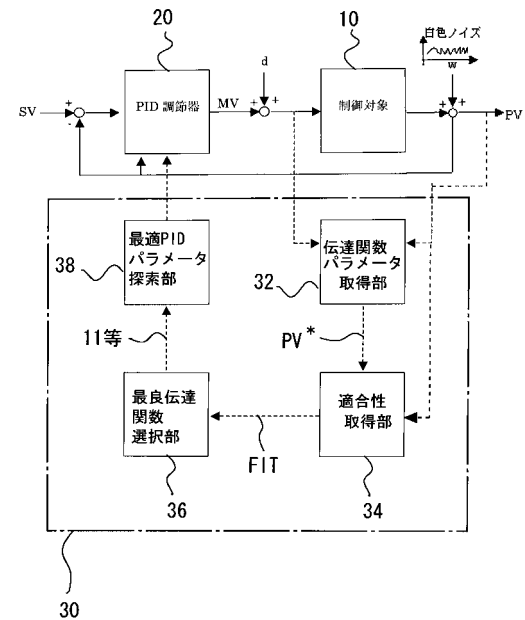
【図 5】



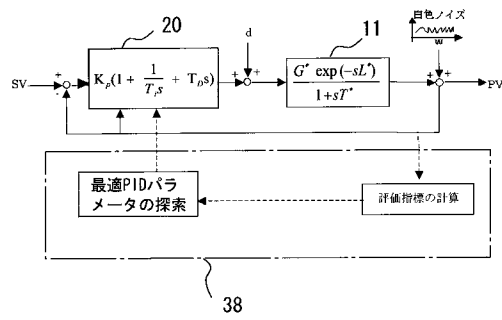
【図 6】



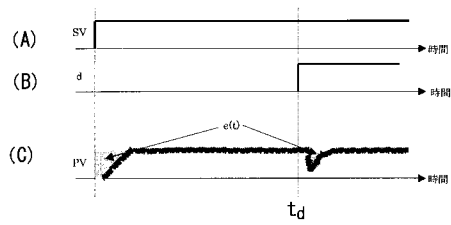
【図 7】



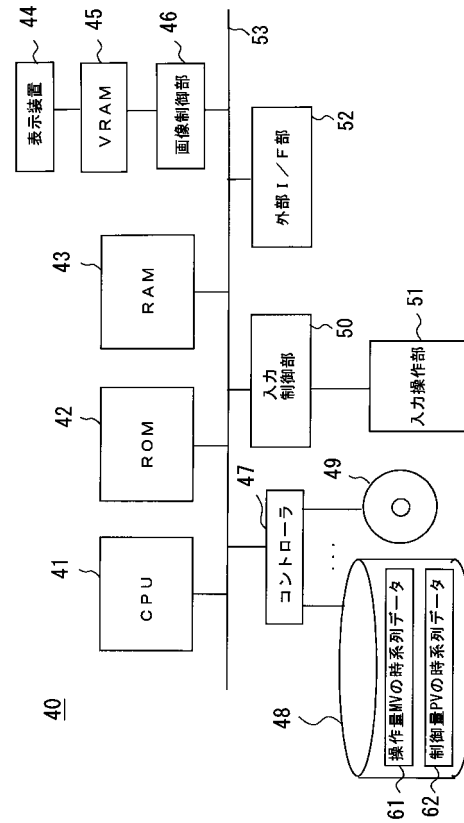
【図 8】



【図 9】



【図 10】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2004-038428(JP,A)
特開平08-016205(JP,A)
特開2007-287153(JP,A)
特開平07-023404(JP,A)
特開2001-273005(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G05B 13/02
G05B 11/42