

(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2020-38656
(P2020-38656A)

(43) 公開日 令和2年3月12日(2020.3.12)

(51) Int. Cl. F I テーマコード(参考)
G05B 13/02 (2006.01) G05B 13/02 A 5H004

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 23 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2019-159613 (P2019-159613) (22) 出願日 令和1年9月2日(2019.9.2) (31) 優先権主張番号 特願2018-165184 (P2018-165184) (32) 優先日 平成30年9月4日(2018.9.4) (33) 優先権主張国・地域又は機関 日本国(JP)</p>	<p>(71) 出願人 504133110 国立大学法人電気通信大学 東京都調布市調布ケ丘一丁目5番地1 (74) 代理人 110000925 特許業務法人信友国際特許事務所 (72) 発明者 池崎 太一 東京都調布市調布ケ丘一丁目5番地1 国立大学法人電気通信大学内 (72) 発明者 金子 修 東京都調布市調布ケ丘一丁目5番地1 国立大学法人電気通信大学内 Fターム(参考) 5H004 GA30 GB15 HA07 HB07 KB02 KB04 KB06 KB08 KB09 KC48 KC50</p>
--	---

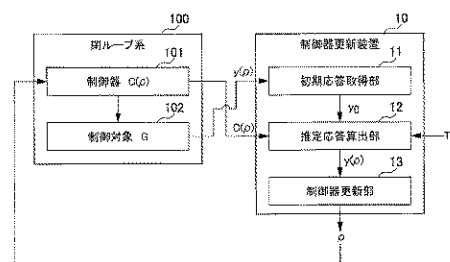
(54) 【発明の名称】 制御器更新装置及び制御器更新プログラム

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 閉ループ系に含まれる初期状態の初期制御器を簡易な手法により更新後制御器に更新する。

【解決手段】 制御器更新装置10は、初期応答取得部11、推定応答算出部12、制御器更新部13を備える。初期応答取得部11は、制御対象101及び初期制御器を含む初期閉ループ系の応答を初期応答として取得する。推定応答算出部12は、初期制御器の伝達関数と、更新後制御器の伝達関数と、制御対象及び更新後制御器を含む更新後閉ループ系の目標伝達関数を含むフィルタとして、初期応答から推定応答を算出する。制御器更新部13は、推定応答算出部12で算出された推定応答と、更新後閉ループ系の目標応答との差を示す評価関数に基づいて、初期制御器を更新後制御器に更新する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

制御対象及び初期制御器を含む初期閉ループ系の応答を初期応答として取得する初期応答取得部と、

前記初期制御器の伝達関数と、更新後制御器の伝達関数と、更新後閉ループ系の目標伝達関数を含むフィルタを、前記初期応答取得部で取得される前記初期応答に適用することにより得られる応答を推定応答として算出する推定応答算出部と、

前記推定応答算出部で算出される前記推定応答と、前記更新後閉ループ系の目標応答との差を示す評価関数に基づいて、前記初期制御器を前記更新後制御器に更新する制御器更新部と、

を備える制御器更新装置。

【請求項 2】

前記推定応答算出部で算出される前記推定応答と、前記更新後閉ループ系の目標応答との差を示す評価関数は、式(1)又は式(2)で表される

請求項 1 に記載の制御器更新装置。

$$J(\rho) = \left\| y_d - \left\{ (1 - T_d) \frac{C(\rho)}{C_0} + T_d \right\} y_0 \right\|^2$$

・・・(1)

$$J(\rho) = \left\| T_d \frac{1}{1 + GC_0} \left\{ 1 - \frac{C(\rho)}{C_d} \right\} r \right\|^2$$

・・・(2)

但し、 $J(\quad)$ ：評価関数、 y_d ：更新後閉ループ系の目標応答、 T_d ：更新後閉ループ系の目標伝達関数、 C_0 ：初期制御器の伝達関数、 $C(\quad)$ ：更新後制御器の伝達関数、 C_d ：制約式 $T_d = GC_d / (1 + GC_d)$ を満たす理想制御器の伝達関数、 y_0 ：初期閉ループ系の初期応答、 r ：制御量の希望値、 ρ ：パラメータ

【請求項 3】

前記制御器更新部により行われる前記初期制御器から前記更新後制御器への更新は、前記初期制御器の要素及び要素同士の接続関係を保持しつつ、前記更新後制御器の伝達関数のパラメータを調整することにより行われる、

請求項 1 又は請求項 2 に記載の制御器更新装置。

【請求項 4】

前記更新後制御器の要素及び要素同士の接続関係を設定する更新後制御器設定部をさらに備え、

前記制御器更新部により行われる前記初期制御器から前記更新後制御器への更新は、前記更新後制御器設定部により前記初期制御器の要素及び要素同士の接続関係が設定された前記更新後制御器の伝達関数のパラメータを更新することにより行われる、

請求項 1 又は請求項 2 に記載の制御器更新装置。

【請求項 5】

前記更新後制御器設定部は、前記更新後閉ループ系を I PD 制御器又は PI D 制御器に帰着させることにより、前記更新後制御器の要素及び要素同士の接続関係を設定し、

前記制御器更新部は、設定された前記 I PD 制御器又は前記 PI D 制御器を考慮し

10

20

30

40

50

た前記評価関数に基づいて、前記更新後制御器の伝達関数のパラメータを更新する、
請求項 4 に記載の制御器更新装置。

【請求項 6】

前記更新後制御器設定部は、前記更新後閉ループ系を内部モデル制御器に帰着させることにより、前記更新後制御器の要素及び要素同士の接続関係を設定し、

前記制御器更新部は、設定された前記内部モデル制御器を考慮した評価関数に基づいて、前記更新後制御器の伝達関数のパラメータを更新する、

請求項 4 に記載の制御器更新装置。

【請求項 7】

コンピュータに、

制御対象及び初期制御器を含む初期閉ループ系の応答を初期応答として取得する初期応答取得機能と、

前記初期制御器の伝達関数と、更新後制御器の伝達関数と、更新後閉ループ系の目標伝達関数を含むフィルタを、前記初期応答に適用することにより得られる応答を推定応答として算出する推定応答算出機能と、

前記推定応答と、前記更新後閉ループ系の目標応答との差を示す評価関数に基づいて、前記初期制御器を前記更新後制御器に更新する制御器更新機能と、

を実現させるための制御器更新プログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、制御器更新装置及び制御器更新プログラムに関する。

【背景技術】

【0002】

近年、実稼働データを直接的に用いて制御系を設計、更新するデータ駆動制御の研究が盛んに行われている。これは、センシング技術の向上により様々な可動データが集まり、これらの膨大なデータを如何に有効活用するかが、社会のニーズになっているからである。したがって、実応用の観点から制御器チューニングに対するニーズは極めて高くなっている。

【0003】

例えば、稼働状況にある制御器の保守点検のために制御パラメータを再チューニングする場合や、製造プロセスにおいて、使う材料や扱う製品が変更した場合などに、おのおのの特性に合わせて制御器をチューニングしなければならない場合がある。このような場合には、制御目的と状況に照らし合わせながら、制御対象の動特性を表す数式モデルを求めることが、最も理想的なアプローチとなる。これらの技術は、例えば、工場で生産される製品の仕様が変更された場合や、工場で使用される制御器が新しい制御器と交換される場合などに利用される、産業上重要な技術である。

【0004】

このような背景から、データを直接用いることで、制御器のパラメータをチューニングするデータ駆動型制御器チューニングとよばれる手法がいくつか提案されている。

もっとも直接的かつ理想的な手法は、目的を表現した評価関数をそのまま最適化する I F T (Iterative Feedback Tuning) と呼ばれる手法である。

しかしながら、この I F T は、その非線形最適化におけるパラメータを更新する度に実験を必要とするため、時間とコストがかかるという問題があった。

【0005】

そこで、1組のデータのみを用いた制御器パラメータのチューニング法として、V R F T (Virtual Reference Feedback Tuning) や F R I T (Fictitious Reference Iterative Tuning) という手法が提案されている。この2つの手法の大きな違いは、V R F T では、目標応答の伝達関数のマッチングを入力で評価するのに対し、F R I T では出力で評価する点である。

10

20

30

40

50

【 0 0 0 6 】

発明者は、特に F R I T アプローチを使って、1組のデータのみで所望のパラメータを与えること、そして外乱除去のためのチューニングと状態フィードバックゲインを更新する方法を提案した（非特許文献 1 参照）。

【 0 0 0 7 】

また、発明者は、これらのデータ駆動制御の問題点の一つに、得られた制御器を実装したときの閉ループ系の応答を実装前に厳密に保証できないという問題があることに着目した。そして、これらの問題を解決する一つのアプローチとして、E R I T (Estimated Response Iterative Tuning) という手法を提案している（非特許文献 2 参照）。

この E R I T は、2 自由度制御系のフィードフォワード部の更新に特化して、出力データのみを用いてデータ駆動型制御器を更新することにより、得られる閉ループ系の制御器更新後の応答を実装前に推定することができる。

【 先行技術文献 】

【 非特許文献 】

【 0 0 0 8 】

【 非特許文献 1 】 金子修：データ駆動型制御器チューニング - F R I T アプローチ - 計測と制御 第52巻 第10号（2013年10月号） pp 853 859、

【 非特許文献 2 】 中村，金子：目標応答を達成する二自由度制御器チューニングの新しいアプローチ—Estimated Response Iterative Tuning の提案—第61回システム制御情報学会研究発表講演会，315 3（2017）

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 9 】

しかしながら、上述した V R F T、F R I T 及び E R I T には、それぞれ良い点もあるが、改善すべき点もある。例えば、V R F T は、理想フィルタにより初期実験特性に依存しない更新が可能であるが、一方で、計算を行うためにはデータからフィルタを作る必要がある。フィルタ性能と更新性能には依存関係があるので、フィルタの設計コストが高くなるという問題がある。さらに、理想的なフィルタを用いる場合、フィルタ設計にシステム同定と同等な作業を要するため、データ駆動制御の1回の更新性が崩れてしまうという問題も起こり得る。

【 0 0 1 0 】

F R I T は、過去の研究成果が多く、拡張も含めて実用例が多いという利点があるが、ほとんどの場合、更新計算に非線形最適化を必要とするため、計算コストが高く、かつ局所最適解への収束リスクも存在するという問題がある。さらに、現在数多く使用されている P I D (Proportional Integral and Differential) 制御器の更新計算にも同様に非線形最適化を必要とするので、実応用面の利便性に問題がある。

【 0 0 1 1 】

これに対して、E R I T は、後述する図 2 に示すような一般的なフィードバック系に対して使用できないという問題がある。すなわち、E R I T が使用できるシステムは、実験結果が出力信号のみでよく、使用するデータ量を削減できる点で有利である。また、E R I T は、応答性のみの更新になるので、閉ループの安定性が保証されている状況であれば、更新後の制御器の安定性も保証されるという利点がある。

しかしながら、これまでの E R I T は、2 自由度系のフィードフォワード制御器の更新に限られており、1 自由度系の制御器の更新には利用できないという問題があった。

【 0 0 1 2 】

そこで、発明者らは、V R F T、F R I T 及び E R I T のそれぞれの利点をうまく抽出した V I M T (Virtual Internal Model Tuning) という新たな手法を考案した。発明者らが提案する V I M T 手法では、必要とする実験データは E R I T と同じ制御器からの出力データのみである。また、V I M T における評価関数の着目点は、E R I T と同じ予測応答と目標応答であり、初期実験のデータ構造も E R I T と同じ閉ループである。さらに

、VIMTでは、フィルタ設計が不要となり、PID制御器でも最小二乗法で解くことができる点で有利であるといえる。なお、VIMTという名称は、発明者らが命名したものである。

【0013】

本発明の目的は、VIMTという出力データに着目した手法を用いることで、目標応答への追従により応答性の向上を図り、閉ループ系に含まれる制御器を簡易かつ最適に更新することができる制御器更新装置及び制御器更新プログラムを提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0014】

本発明の制御器更新装置は、制御対象及び初期制御器を含む初期閉ループ系の応答を初期応答として取得する初期応答取得部と、初期制御器の伝達関数と、更新後制御器の伝達関数と、更新後閉ループ系の目標伝達関数を含むフィルタを、初期応答取得部で取得される初期応答に適用することにより得られる応答を推定応答として算出する推定応答算出部を備える。

また、本発明の制御器更新装置は、推定応答算出部で算出された推定応答と、更新後閉ループ系の目標応答との差を示す評価関数に基づいて、初期制御器を更新後制御器に更新する制御器更新部と、を備える。

【0015】

また、本発明は、以下の(a)～(c)の機能をコンピュータで実現するための制御器更新プログラムである。

(a) 制御対象及び初期制御器を含む初期閉ループ系の応答を初期応答として取得する初期応答取得機能、

(b) 初期制御器の伝達関数と、更新後制御器の伝達関数と、更新後閉ループ系の目標伝達関数を含むフィルタを、初期応答取得機能により取得される初期応答に適用することにより得られる応答を推定応答として算出する推定応答算出機能、

(c) 推定応答算出機能により算出される推定応答と、更新後閉ループ系の目標応答との差を示す評価関数に基づいて、初期制御器を更新後制御器に更新する制御器更新機能。

【発明の効果】

【0016】

本発明によれば、閉ループ系に含まれる制御器を簡易かつ最適に更新することができる。

【図面の簡単な説明】

【0017】

【図1】本発明の第一の実施形態に係る閉ループ系及び制御器更新装置の機能的な構成例を示すブロック図である。

【図2】本発明の第一の実施形態に係る閉ループ系の構成例を示すブロック図である。

【図3】本発明の第一の実施形態に係る閉ループ系の構成例のうち、2自由度制御系に適用したブロック図である。

【図4】本発明の第一の実施形態に係る閉ループ系の構成例の中の理想的な更新後の条件を加えたブロック図である。

【図5】本発明の第一の実施形態に係る台車の位置決め制御系の例を示す図である。

【図6】本発明の第一の実施形態に係る台車の位置決め制御系の目標応答及び制御器更新装置による更新の前後における台車の位置決め制御系の応答の例を示す図である。

【図7】本発明の第一の実施形態に係る閉ループ系及び制御器更新装置が実行する処理例を示すフローチャートである。

【図8】本発明の第二の実施形態に係る閉ループ系及び制御器更新装置の機能的な構成例を示すブロック図である。

【図9】本発明の第二の実施形態に係る初期閉ループ系の構成例を示すブロック図である。

【図10】本発明の第二の実施形態に係る更新後閉ループ系の構成例を示すブロック図で

10

20

30

40

50

ある。

【図 1 1】本発明の第二の実施形態に係る初期閉ループ系の応答、更新後閉ループ系の応答及び目標応答の例を示す図である。

【図 1 2】本発明の第二の実施形態に係る閉ループ系の制御器更新装置が実行する処理例を示すフローチャートである。

【図 1 3】本発明の第三の実施形態に係る閉ループ系の更新後閉ループ系の構成例を示すブロック図である。

【図 1 4】本発明の第三の実施形態に係る初期閉ループ系の応答、更新後閉ループ系の応答及び目標応答の例を示す図である。

【図 1 5】本発明の第三の実施形態に係る閉ループ系の制御器更新装置が実行する処理例を示すフローチャートである。

10

【発明を実施するための形態】

【0018】

< 第一の実施形態における閉ループ系の構成と機能 >

図 1 から図 4 を参照して、第一の実施形態に係る閉ループ系 100 と制御器更新装置 10 の構成とその機能について説明する。

【0019】

図 1 は、本発明の第一の実施形態に係る 1 自由度の閉ループ系 100 及び制御器更新装置 10 の機能的な構成を示すブロック図である。図 2 は、代表的な閉ループ系 100 の構成を示すブロック図である。

20

図 1 に示すように、制御器更新装置 10 は、初期応答取得部 11 と、推定応答算出部 12 と、制御器更新部 13 を備える。また、閉ループ系 100 は、制御器 101 と制御対象 102 を備える。制御器更新装置 10 は、閉ループ系 100 の制御器 101 を更新する。

【0020】

制御器更新装置 10 は、1 自由度の閉ループ系 100 が出力する応答 y () が目標応答 y_d に近づくように、制御器 101 のパラメータ を更新する。

なお、制御器更新装置 10 は、図 2 に示す 1 自由度の閉ループ系 100 が備える制御器 101 及び制御対象 102 の各要素及びこれらの要素同士の接続関係を変更しない。ここでいう要素には、制御器 101、制御対象 102 等の伝達要素の他に、加え合わせ点も含まれる。

30

【0021】

図 2 は、代表的な 1 自由度系の閉ループ系の例を示したものであり、図 2 では、制御器 101 の伝達関数を符号「C」で表し、制御対象 102 の伝達関数を符号「G」で表している。以下、図 1 に示す制御器更新装置 10 の構成及びその動作についてさらに詳細に説明する。

【0022】

図 1、図 2 に示す制御器 101 は、制御対象 102 を含む閉ループ系 100 の全体が安定するように制御対象を制御する。また、制御対象 102 は、比較的取り扱いが容易な線形時不変の一入力出力の制御対象であり、伝達関数 G は既知である。

【0023】

これ以降、特に更新前あるいは更新後のいずれかに予め定められている場合を除き、閉ループ系 100 と制御器 101 の初期状態と更新後状態を区別するために、初期閉ループ系を「100₀」、初期制御器を「101₀」と記載し、更新後閉ループ系を「100₁」、更新後制御器を「101₁」と記載することにする。なお、初期状態と更新後状態を特に区別して説明しない場合には、単に閉ループ系 100、制御器 101 と記載する。

40

【0024】

制御器更新装置 10 の初期応答取得部 11 は、初期制御器 101₀ を含む初期閉ループ系 100₀ の制御対象 102 からの応答を初期応答 y_0 として取得し、初期応答 y_0 を推定応答算出部 12 に送る。ここでいう初期制御器 101₀ は、パラメータ が更新される前の制御器であり、初期閉ループ系 100₀ は、パラメータ が更新される前の閉ループ

50

系である。

【 0 0 2 5 】

ここで、制御対象 1 0 2 からの初期応答 y_0 は、制御量の希望値 r 、初期制御器 1 0 1 の伝達関数 C_0 及び制御対象 1 0 2 の伝達関数 G を用いて、数 1 式で表される。

【 0 0 2 6 】

【 数 1 】

$$y_0 = \frac{GC_0}{1+GC_0} r$$

【 0 0 2 7 】

また、更新後制御器 1 0 1 の伝達関数 $C(\rho)$ とパラメータ ρ が更新された後における閉ループ系 1 0 0 の応答 $y(\rho)$ は、数 1 式と同様に、制御量の希望値 r 、更新後制御器 1 0 1 の伝達関数 $C(\rho)$ 、制御対象 1 0 2 の伝達関数 G を用いて数 2 式で表される。

【 0 0 2 8 】

【 数 2 】

$$y(\rho) = \frac{GC(\rho)}{1+GC(\rho)} r$$

【 0 0 2 9 】

さらに、上述した数 1 式及び数 2 式を用いて制御量の希望値 r を消去すると、数 3 式が導出される。

【 0 0 3 0 】

【 数 3 】

$$y(\rho) = \frac{GC(\rho)}{1+GC(\rho)} \frac{1+GC_0}{GC_0} y_0$$

【 0 0 3 1 】

ここで、まず比較のために、図 3 を参照して、既に述べた E R I T を 2 自由度系に適用した例について説明する。図 3 に示すように、フィードフォワード制御を行う制御器 1 0 1_{FF} の伝達関数を「 C_{FF} 」、フィードバック制御を行う制御器 1 0 1_{FB} の伝達関数を「 C_{FB} 」、フィードフォワード部を含む閉ループ制御系 1 0 0 の理想的更新装置としての制御器 1 0 3 の目標伝達関数を「 T_d 」とすると、数 1 式は数 4 式のように表すことができる。また、数 2 式も同様に、数 5 式のように表すことができる。なお、「 C_{FF}^0 」は、フィードフォワード制御を行う初期制御器 1 0 1_{FF0} の伝達関数であり、「 $C_{FF}(\rho)$ 」は、フィードフォワード制御を行う更新後制御器 1 0 1_{FF} の伝達関数である。また、数 4 式と数 5 式を用いて制御量の希望値 r を消去すると、数 6 式が導出される。

【 0 0 3 2 】

【 数 4 】

$$y_0 = \frac{(C_{FF}^0 + T_d C_{FB}) G}{1+GC_{FB}} r$$

【 0 0 3 3 】

【数 5】

$$y(\rho) = \frac{(C_{FF}(\rho) + T_d C_{FB})G}{1 + GC_{FB}} r$$

【0034】

【数 6】

$$y(\rho) = \frac{C_{FF}(\rho) + T_d C_{FB}}{C_{FF}^0 + T_d C_{FB}} y_0$$

【0035】

さらに、図 3 について説明すると、フィードフォワード制御器 101_{FF} の伝達関数 $C_{FF} = T_d G_M^{-1}$ として、このモデルの伝達関数 G_M が制御対象 102 の伝達関数 G にほぼ等しいと仮定すると ($G_M = G$)、数 5 式は、 $y(\rho) = T_d r$ となる。この場合には、制御するモデルが既知であることが前提になるが、このように、E R I T を用いた 2 自由度制御系では、安定性及び応答性について個別に設計することが可能である。この点は 2 自由度系に適用される E R I T の強みになると言ってもよい。

20

【0036】

上述したように、数 6 式は、2 自由度系のフィードフォワード部を含む閉ループ制御系 100 の初期応答 y_0 と目標伝達関数 T_d により応答 $y(\rho)$ を記述したものである。

このように、2 自由度系のフィードフォワード部を E R I T により更新する場合、上述した数 6 式に示す制御器 101_{FF} の伝達関数「 $C_{FF}(\rho)$ 」、ひいてはこの伝達関数のパラメータを最適化することにより、図 3 に示す制御器 101_{FF} を更新することができる。

【0037】

しかし、図 2 に示した 1 自由度の閉ループ系 100 が備える制御器 101 を E R I T により更新する場合、数 5 式が制御対象 102 の伝達関数 G を含んでいるため、数 5 式を用いて直接的に制御器 101 を更新することができない。

30

【0038】

そこで、第一の実施形態に係る制御器更新装置 10 を使用して、下に記載の数 7 式で表される更新後閉ループ系 100 の理想とされる目標伝達関数 T_d と更新後制御器 101 の理想とされる目標応答 y_d との関係を用いて、更新後制御器 101 の伝達関数 $C(\rho)$ を求めることを考える。

ここで、目標伝達関数 T_d とは、更新後閉ループ系 100 が目標応答 y_d を出力する場合における更新後閉ループ系 100 の伝達関数である。なお、数 7 式は、制約式とも呼ばれる。

【0039】

図 4 は、図 2 に示す閉ループ系 100 に加えて、理想的更新装置である制御器 103 の目標伝達関数 T_d と、この目標伝達関数 T_d に制御量の希望値 r を供給して得られる目標応答 y_d の関係を示した図である。この図 4 から数 7 式と既に図 2 で説明した数 2 式が導かれる。ここで、数 2 式の制御量の希望値 r の係数である 1 自由度系の伝達関数が、目標伝達関数 T_d と一致することが理想的な更新後の条件となる。言い換えると、数 8 式の制約式の成立が理想的な更新後の条件である。なお、目標伝達関数 T_d は、設計者が予め定める関数である。

40

【0040】

【数 7】

$$y_d = T_d r$$

【0041】

【数 8】

$$\frac{GC(\rho)}{1+GC(\rho)} = T_d$$

【0042】

10

数 8 式を変形して、制御対象 102 の伝達関数 G を求めると、伝達関数 G は、数 9 式のようなになる。

【0043】

【数 9】

$$G = \frac{T_d}{(1-T_d)C(\rho)}$$

【0044】

20

そして、この数 9 式を数 3 式に代入すると、下の数 10 式が導出される。数 10 式に含まれる応答 y () は、推定応答と呼ばれる。図 1 に示す制御器更新装置 10 の推定応答算出部 12 は、数 10 式を用いて推定応答を算出し、算出した推定応答を制御器更新部 13 に送る。

【0045】

具体的には、図 1 に示すように、推定応答算出部 12 は、制御器 101 から初期制御器 101 の伝達関数 C_0 を受け取る。また、推定応答算出部 12 には、更新後制御器 101 の伝達関数 C () 及び更新後閉ループ系 100 の目標伝達関数 T_d が与えられる。

【0046】

30

推定応答算出部 12 は、初期制御器 101 の伝達関数 C_0 と、更新後制御器 101 の伝達関数 C () と、更新後閉ループ系 100 の目標伝達関数 T_d が加えられる一種のフィルタとしての役割を果たす。そして、この推定応答算出部 12 に初期応答取得部 11 で取得された初期応答 y_0 が供給されると、推定応答算出部 12 は、数 10 式から得られる応答 y () を推定応答として算出し、算出した推定応答 y () を制御器更新部 13 に送る。

【0047】

【数 10】

$$y(\rho) = \left\{ (1-T_d) \frac{C(\rho)}{C_0} + T_d \right\} y_0$$

【0048】

閉ループ制御系 100 を評価するためには、数 10 式の左辺の推定応答 y () と更新後閉ループ系 100 の目標応答 y_d との差を小さくすればよいので、評価関数 J () を数 11 式のように定め、 J () の値の大きさによって閉ループ制御系 100 の評価が行われる。つまり、 J () の値は小さければ小さいほど閉ループ制御系 100 の性能が良いと評価される。

【0049】

50

【数 1 1】

$$J(\rho) = \|y_d - y(\rho)\|^2$$

【0050】

そこで、数 10 式を数 11 式に代入すると、下の数 12 式が得られる。図 1 に示す制御器更新装置 10 の制御器更新部 13 は、数 12 式を用いて評価関数 $J(\rho)$ の値が最小になるパラメータ ρ を算出する。

すなわち、制御器更新部 13 は、推定応答算出部 12 が算出する推定応答 $y(\rho)$ と、更新後閉ループ系 100 の目標応答 y_d との差を示す評価関数 $J(\rho)$ に基づいて、更新後制御器 101 のパラメータ ρ を算出する。そして、制御器更新部 13 は、初期制御器 101₀ の要素及び要素同士の接続関係を保持しつつ、更新後制御器 101 の伝達関数 $C(\rho)$ のパラメータ ρ を調整して、初期制御器 101₀ を更新後制御器 101 に更新する。

10

【0051】

【数 1 2】

$$J(\rho) = \left\| y_d - \left\{ (1 - T_d) \frac{C(\rho)}{C_0} + T_d \right\} y_0 \right\|^2$$

【0052】

さらに、この数 12 式に、数 1 式と数 7 式を代入すると、「 y_d 」、「 y_0 」が消去されて数 13 式が得られる。すなわち、数 12 式と数 13 式は、用いられる記号が異なるだけで実質的に同じ式である。

【0053】

【数 1 3】

$$J(\rho) = \left\| T_d \frac{1}{1 + GC_0} \left\{ 1 - \left(\frac{1}{T_d} - 1 \right) GC(\rho) \right\} r \right\|^2$$

【0054】

ここで、上述した数 8 式で表される制約式を満たす制御器 101 の伝達関数 $C(\rho)$ を理想的制御器の伝達関数「 C_d 」とすると、数 8 式は、数 14 式のように書き換えることができる。

【0055】

【数 1 4】

$$\frac{GC_d}{1 + GC_d} = T_d$$

40

【0056】

そして、数 13 式と数 14 式から数 15 式が導出される。数 15 式に示される評価関数 $J(\rho)$ は、目標伝達関数 T_d 、初期閉ループ系の感度関数 $1 / (1 + GC_0)$ 及び制御器 101 の相対誤差の積の 2 乗で示されている。

言い換えると、数 15 式は、目標伝達関数 T_d 、初期閉ループ系の感度関数 $1 / (1 +$

50

GC₀)及び制御器101の相対誤差の積からなるフィルタを制御量の希望値rに適用することを意味している。

つまり、制御器更新部13は、上述した数12式又は数13式で表される評価関数J()あるいは数15式で表される評価関数J()のいずれかの評価関数J()を任意に選択して、初期制御器101を更新後制御器101に更新することができる。

【0057】

【数15】

$$J(\rho) = \left\| T_d \frac{1}{1+GC_0} \left\{ 1 - \frac{C(\rho)}{C_d} \right\} r \right\|^2$$

【0058】

<第一の実施形態を台車の位置決め制御に適用した具体例>

以上、説明したように、数1式から数15式を用いて、制御器更新装置10の構成と機能及び制御器更新装置10による制御器101の更新方法を説明した。

次に、上述した制御器更新装置10とその更新方法を、例えば、図5に示す台車の位置決め制御系500に適用する例を説明する。

図5は、本発明の第一の実施形態に係る台車の位置決め制御系の例を示す図である。

20

【0059】

図5に示すように、台車の位置決め制御系500は、台車501と、ゴムベルト502と、サーボモータ503と、プーリ504と、PID制御器505を備える。

【0060】

台車501は、ゴムベルト502に固定されている。ゴムベルト502は、サーボモータ503とプーリ504との間に所定の張力が加えられた状態で取り付けられている。サーボモータ503は、ゴムベルト502をサーボモータ503とプーリ504との間で回転させる。プーリ504は、内部に搭載されている不図示のポテンシオメータにより、台車501の移動距離を計測し、この計測した移動距離をPID制御器505にフィードバックする。PID制御器505は、プーリ504からのフィードバックに基づいてサーボモータ503の回転を制御する。

30

【0061】

ここで、PID制御器505の伝達関数Cは、PID制御器505のパラメータ = [k_p, k_i, k_d]及びラプラス演算子sを含む数16式で表される。ここで、図5に示されるコンピュータ装置をPID制御器505として使うため、数16式では、パラメータは、比例、積分、微分のそれぞれのパラメータを示す[k_p, k_i, k_d]を使っているが、これを一般化してパラメータ = [1, 2, 3]と記載することもできる。

【0062】

【数16】

$$C = k_p + k_i \frac{1}{s} + k_d s$$

40

【0063】

また、図5に示す台車の位置決め制御系500の目標伝達関数T_dは、ラプラス演算子sを含む数17式で表される。数17式は、図5に示す台車の位置決め制御系500の目標伝達関数T_dを、台車501の運動を決める運動方程式に基づいてラプラス演算子で与えた式である。

【0064】

50

【数 1 7】

$$T_d = \frac{2}{s+2}$$

【0 0 6 5】

さらに、この場合における評価関数 $J(\rho)$ は、 $\rho = [k_p, k_i, k_d] = [\rho_1, \rho_2, \rho_3]$ を用いて、数 1 2 式及び数 1 6 式から数 1 8 式が導出される。

【0 0 6 6】

【数 1 8】

$$J(\rho) = \left\| y_d - T_d y_0 - \frac{(1-T_d)}{C_0} \left[1 \quad \frac{1}{s} \quad s \right] y_0 \begin{bmatrix} \rho_1 \\ \rho_2 \\ \rho_3 \end{bmatrix} \right\|^2$$

10

【0 0 6 7】

図 1 の制御器更新装置 1 0 の初期応答取得部 1 1 は、例えば、初期パラメータを $\rho_1 = k_p = 1.000$, $\rho_2 = k_i = 1.000$, $\rho_3 = k_d = 0.100$ として初期応答 y_0 を取得する。推定応答算出部 1 2 は、数 1 8 式のノルム記号内の第 2 項及び第 3 項で表される応答を推定応答 $y(\rho)$ として算出する。制御器更新部 1 3 は、数 1 8 式で表される評価関数 $J(\rho)$ の値を小さくする更新後パラメータ ρ を計算して、 $\rho_1 = k_p = 0.305$, $\rho_2 = k_i = 0.001$, $\rho_3 = k_d = 0.043$ を算出し、これらの更新後パラメータ ρ の値により P I D 制御器 5 0 5 を更新する。

20

【0 0 6 8】

図 6 は、本発明の第一の実施形態に係る台車の位置決め制御系 5 0 0 の目標応答 y_d 及び制御器更新装置 1 0 による更新の前後における台車の位置決め制御系 5 0 0 の応答例を示す図である。

図 6 に示されるように、P I D 制御器 5 0 5 には、二点鎖線 A 1 で示される制御量の希望値 r 及び一点鎖線 B 1 で示される目標応答 y_d が設定されている。

30

制御器更新装置 1 0 による更新前には、P I D 制御器 5 0 5 は、図 6 に破線 D 1 で示すオーバーシュートを含む応答を示している。一方、制御器更新装置 1 0 による更新後には、P I D 制御器 5 0 5 は、図 6 に実線 E 1 で示すように、一点鎖線 B 1 で示された目標応答 y_d に追従する応答を示している。

【0 0 6 9】

< 第一の実施形態に係る閉ループ系の処理 >

次に、図 7 のフローチャートを参照して、第一の実施形態に係る制御器更新装置 1 0 により実行される制御器 1 0 1 の更新処理について説明する。

制御器更新装置 1 0 の初期応答取得部 1 1 は、制御対象 1 0 2 及び初期制御器 1 0 1 0 を含む初期閉ループ系 1 0 0 0 の応答を初期応答 y_0 として取得する (ステップ S 1 1 0)。また、この初期応答 y_0 は、推定応答算出部 1 2 に送られる。

40

【0 0 7 0】

推定応答算出部 1 2 は、初期制御器 1 0 1 0 の伝達関数 C_0 と、更新後制御器 1 0 1 の伝達関数 $C(\rho)$ と、更新後閉ループ系 1 0 0 の目標伝達関数 T_d を含むフィルタとしての機能を有する。言うまでもなく、更新後閉ループ系 1 0 0 には、更新後制御器 1 0 1 と制御対象 1 0 2 が含まれる。そして、推定応答算出部 1 2 は、初期応答取得部 1 1 から供給される初期応答 y_0 に基づいて、推定応答 $y(\rho)$ を算出し (ステップ S 1 2 0)、算出した推定応答 $y(\rho)$ を制御器更新部 1 3 に送る。

【0 0 7 1】

50

次に、制御器更新部 13 は、推定応答 $y(\)$ と、更新後閉ループ系 100 の目標応答 y_d との差を示す評価関数 $J(\)$ に基づいて、初期制御器 101 を更新後制御器 101 に更新する (ステップ S130)。

【0072】

以上、第一の実施形態に係る制御器更新装置 10 の処理について説明した。繰り返しになるが、制御器更新装置 10 は、制御対象 102 及び初期制御器 101 を含む初期閉ループ系 100 の応答 y を初期応答として取得する。そして、上述した数 10 式で表される応答 $y(\)$ を推定応答として算出し、数 12 式、数 13 式又は数 15 式で表される評価関数 $J(\)$ に基づいて、初期制御器 101 を更新後制御器 101 に更新する。

【0073】

上述のように、制御器更新装置 10 は、閉ループ系 100 に含まれる制御器 101 を簡易かつ最適に更新することができる。また、制御器更新装置 10 は、数 9 式の推定応答 $y(\)$ 及び更新後パラメータ により、更新後制御器 101 の応答 $y(\)$ を推定することができる。これにより、制御器更新装置 10 は、更新後制御器 101 の実装に要する労力を削減することができる。さらに、閉ループ系 100 の数式モデルと現実の系の間には、例えば摩擦や機械のガタツキ等により誤差が発生するが、本発明の制御器更新装置 10 のようなデータ駆動制御では、動特性モデルを求めることなく、直接的に信号の状態 で制御器 101 を調整することが可能である。したがって、現実の系と数式モデルとの擦り合わせ等の作業をなくして、閉ループ系 100 に含まれる制御器 101 を更新することができる。

【0074】

なお、制御器更新装置 10 の制御器更新部 13 は、数 12 式又は数 13 式で表される評価関数 $J(\)$ に基づいて、図 5 に示す PID 制御器 505 (初期制御器 101 に相当) を I PD 制御器又は PID 制御器 505 (更新後制御器 101 とに相当) に更新してもよい。ここでいう I PD 制御器及び PID 制御器は、線形時不変の制御器の一例として挙げられるものである。

【0075】

< 第二の実施形態に係る閉ループ系の構成と動作 >

次に、図 8 から図 11 を参照して、第二の実施形態に係る制御器更新装置 20 の構成と動作について説明する。なお、第二の実施形態の説明において、第一の実施形態と重複する説明は省略する。

【0076】

図 8 は、本発明の第二の実施形態に係る制御器更新装置 20 の機能的な構成例を示すブロック図である。図 9 は、第二の実施形態に係る更新前閉ループ系 200 の構成例を示すブロック図である。図 10 は、第二の実施形態に係る更新後閉ループ系 200 の構成例を示すブロック図である。

【0077】

図 8 に示すように、制御器更新装置 20 は、初期応答取得部 21、更新後制御器設定部 22、推定応答算出部 23 及び制御器更新部 24 を備える。制御器更新装置 20 は、第一の実施形態に係る制御器更新装置 10 と異なり、更新後閉ループ系 200 を I PD 制御器又は PID 制御器に帰着させることにより、図 9 に示す 1 自由度の更新前閉ループ系 200 が備える制御器 201 の要素及びこれらの要素同士の接続関係を設定する。

【0078】

そして、制御器更新装置 20 は、更新後の閉ループ系 200 が出力する応答 $y(\)$ が目標応答 y_d に近づくように、制御器 201 のパラメータ を更新する。図 9 は、作図上では図 2 と同じ構成になっているが、図 9 の制御器 201 は、I PD 制御器又は PID 制御器に帰着させている点で図 2 の制御器 101 とは異なる。

【0079】

以下、制御器更新装置 20 についてさらに具体的に説明する。なお、第二の実施形態に示す I PD 制御器又は PID 制御器は、あくまでも一例であり、線形時不変の制御器

10

20

30

40

50

であればどのようなものであってもよい。

図 9 に示すように、更新前閉ループ系 200 は、制御器 201 と、制御対象 202 を含む。制御器 201 及び制御対象 202 に対する条件は、図 2 に示した第一の実施形態に係る制御器 101 及び制御対象 102 と同様である。

【0080】

制御器更新装置 20 の初期応答取得部 21 は、初期制御器 201₀ を含む初期閉ループ系 200₀ の応答を初期制御器 201 の初期応答 y_0 として取得し、初期応答 y_0 を推定応答算出部 23 に供給する。

初期応答 y_0 は、制御量の希望値 r 、初期制御器 201 の伝達関数 C_0 及び制御対象 202 の伝達関数 G を用いて、第一の実施形態に係る数 1 式と同様の式で表される。

10

【0081】

更新後制御器設定部 22 は、更新後閉ループ系 200 を I PD 制御器又は PI D 制御器に帰着させることにより、更新後制御器 201 の要素及び要素同士の接続関係を設定する。具体的には、更新後制御器設定部 22 は、更新後制御器 201 の要素及び要素同士の接続関係を示す情報を受け付け、この設定を実行する。この情報は、線形時不変の制御器 201 (例えば、I PD 制御器、PI D 制御器など) と制御器 201 の接続関係を示している。

【0082】

図 10 に示すように、更新後制御器設定部 22 は、例えば、図 9 に示す更新前制御器 201 を更新後に制御器 201₁ 及び制御器 201₂ の 2 つに分割して設定する。この例では、図 9 に示す制御器 201 が初期制御器 201₀ であり、図 10 に示す制御器 201₁ 及び制御器 201₂ が更新後制御器 201 になる。したがって、図 9 の制御器 201 は初期制御器 201₀ と同じものである。

20

図 10 に示す更新後閉ループ系 200 において、パラメータ ρ が更新された後における更新後閉ループ系 200 の応答 $y(\rho)$ は、更新後制御器 201₁ の伝達関数 $C_1(\rho)$ 及び更新後制御器 201₂ の伝達関数 $C_2(\rho)$ を用いて、数 19 式のように表すことができる。

【0083】

【数 19】

$$y(\rho) = \frac{GC_1(\rho)}{1 + G(C_1(\rho) + C_2(\rho))} r$$

【0084】

また、図 9 に示す更新前制御器 201 を図 10 に示す更新後制御器 201₁ 及び更新後制御器 201₂ に更新する場合における制約式は、数 20 式で表される。数 20 式の右辺の「 T_d 」は理想的更新装置 (制御器 201₁ と制御器 201₂) の目標伝達関数である。

【0085】

【数 20】

$$\frac{GC_1(\rho)}{1 + G(C_1(\rho) + C_2(\rho))} = T_d$$

40

【0086】

ここで、図 9 の更新前の閉ループ系 200 から初期応答 y_0 を求めると、数 1 式と同じ式が得られ、この数 1 式を数 19 式に代入して制御量の希望値 r を消去すると、数 21 式が導出される。ただし、「 C_0 」は、図 9 の制御器 201 の更新前の伝達関数である。

50

【 0 0 8 7 】

【 数 2 1 】

$$y(\rho) = \frac{G(C_1(\rho) + C_2(\rho))}{1 + G(C_1(\rho) + C_2(\rho))} \frac{1 + GC_0}{GC_0} y_0$$

【 0 0 8 8 】

そして、数 2 1 式と、数 2 0 式とから伝達関数 G を消去して、推定応答 y () を求めると、数 2 2 式のようなになる。

【 0 0 8 9 】

【 数 2 2 】

$$y(\rho) = \left\{ (1 - T_d) \frac{C_1(\rho)}{C_0} - \frac{C_2(\rho)}{C_0} T_d + T_d \right\} y_0$$

【 0 0 9 0 】

そして、このようにして求めた数 2 2 式の推定応答 y () を、数 1 2 式の評価関数 J () に代入すると、数 2 3 式が求められる。

【 数 2 3 】

$$J(\rho) = \left\| y_d - T_d y_0 - (1 - T_d) \frac{C_1(\rho)}{C_0} y_0 + T_d \frac{C_2(\rho)}{C_0} y_0 \right\|^2$$

【 0 0 9 1 】

すなわち、図 9 に示した更新前制御器 2 0 1 を、図 1 0 に示す更新後制御器 2 0 1₁ 及び更新後制御器 2 0 1₂ に更新する場合における評価関数 J () は、更新後制御器 2 0 1₁ の伝達関数 C₁ () 及び更新後制御器 2 0 1₂ の伝達関数 C₂ () を含む数 2 3 式で表される。

【 0 0 9 2 】

そして、制御器更新部 2 4 は、数 2 0 式を用いて数 2 3 式の評価関数 J () の値が小さくなるパラメータ を算出することにより、更新前制御器 2 0 1 (初期制御器 2 0 1₀) を線形時不変の更新後制御器 2 0 1₁ と更新後制御器 2 0 1₂ に更新する。

【 0 0 9 3 】

次に、図 9 に示す更新前制御器 2 0 1 (初期制御器 2 0 1₀ としての P I D 制御器) を更・BR>後制御器 2 0 1 (2 0 1₁、及び 2 0 1₂) としての I P D 制御器に更新する具体例について説明する。

【 0 0 9 4 】

初期制御器 2 0 1₀ としての P I D 制御器の伝達関数 C₀ は、パラメータ = [k_p, k_i, k_d] 及びラプラス演算子 s を含む数 2 4 式で表される。

【 0 0 9 5 】

【 数 2 4 】

$$C_0 = k_p + k_i \frac{1}{s} + k_d s$$

【 0 0 9 6 】

更新後制御器 2 0 1 としての I P D 制御器に含まれる制御器、すなわち図 1 0 に示

10

20

30

40

50

した更新後制御器 201₁ の伝達関数 C_1 は、パラメータ k_i 及びラプラス演算子 s を含む数 25 式で表される。

【0097】

【数 25】

$$C_1 = \frac{k_i}{s}$$

【0098】

また、更新後制御器 201 としての I PD 制御器に含まれる制御器、すなわち図 10 に示した更新後制御器 201₂ の伝達関数 C_2 は、パラメータ k_p 、 k_d 及びラプラス演算子 s を含む数 26 式で表される。

【0099】

【数 26】

$$C_2 = k_p + k_d s$$

【0100】

また、図 10 に示す更新後閉ループ系 200 の目標伝達関数 T_d は、ラプラス演算子 s を含む数 27 式で表される。

【0101】

【数 27】

$$T_d = \left(\frac{1}{s+1} \right)^3$$

【0102】

ここで、初期応答取得部 21 において、例えば、初期パラメータを $k_p = 1.000$ 、 $k_i = 1.000$ 、 $k_d = 0.100$ として初期応答 y_0 を取得する。推定応答算出部 23 は、数 23 式のノルム記号内の第 2 項、第 3 項及び第 4 項で表される応答を推定応答 $y(\quad)$ として算出する。

制御器更新部 13 は、数 23 式で表される評価関数 $J(\quad)$ の値を小さくする更新後パラメータとして $k_p = 0.003$ 、 $k_i = 0.001$ 、 $k_d = 0.297$ を算出した。そして、制御器更新部 13 は、算出した更新後パラメータの値により図 9 に示した制御器 201 を図 10 に示す制御器 201₁ 及び制御器 201₂ に更新する。

【0103】

図 11 は、本発明の第二の実施形態に係る初期閉ループ系 200₀ の初期応答 y_0 、更新後閉ループ系 200 の応答 $y(\quad)$ 及び目標応答 y_d の例を示す図である。更新後制御器 201 としての制御器 201₁ 及び制御器 201₂ には、図 11 に二点鎖線 A2 で示された制御量の希望値 r 及び一点鎖線 B2 で示された目標応答 y_d が設定されている。

【0104】

制御器更新装置 20 による更新前には、初期制御器 201₀ としての制御器 201 は、図 11 に破線 D2 で示したようなオーバーシュートする応答を示している。一方、制御器更新装置 20 による更新の後には、更新後制御器 201 としての制御器 201₁ 及び制御器 201₂ は、図 11 に実線 E2 で示すように、一点鎖線 B2 で示された目標応答 y_d に追従する応答 $y(\quad)$ を示している。

【0105】

次に、図 12 のフローチャートを参照して、第二の実施形態に係る制御器更新装置 20 が実行する処理について説明する。

【0106】

10

20

30

40

50

図 8 に示す制御器更新装置 20 の初期応答取得部 21 は、制御対象 202 及び初期制御器 201 を含む初期閉ループ系 200 の応答を初期応答 y_0 として取得する (ステップ S210)。また、この初期応答 y_0 は、推定応答算出部 12 に送られる。

【0107】

更新後制御器設定部 22 は、更新後閉ループ系 200 を I PD 制御器又は PID 制御器に帰着させることにより、図 10 に示す更新後制御器 201 (201₁、201₂) の要素及び要素同士の接続関係を設定する (ステップ S220)。

【0108】

推定応答算出部 23 は、初期制御器 201 の伝達関数 C_0 と、更新後制御器 201 (201₁、201₂) の伝達関数 C_1 ()、 C_2 () と、更新後閉ループ系 200 の目標伝達関数 T_d を含むフィルタ機能を持っており、初期応答 y_0 が入力されると、これを推定応答 y () として算出する (ステップ S230)。そして、推定応答算出部 23 は、算出した推定応答 y () を制御器更新部 24 に送る。

10

【0109】

制御器更新部 24 は、推定応答 y () と、更新後閉ループ系 200 の目標応答 y_d との差を示す数 23 式に示す評価関数 J () に基づいて、初期制御器 201 を線形時不変の更新後制御器 201 (201₁、201₂) に更新する (ステップ S240)。すなわち、制御器更新部 24 は、設定された I PD 制御器あるいは PID 制御器を考慮した評価関数 J () に基づいて、図 10 に示す更新後制御器 201₁ 及び更新後制御器 201₂ の伝達関数 C_1 () 及び C_2 () のパラメータを更新する。

20

【0110】

以上、第二の実施形態に係る制御器更新装置 20 の構成と動作について説明した。繰り返すと、制御器更新装置 20 は、制御対象 202 及び初期制御器 201 を含む初期閉ループ系 200 の応答 y_0 を初期応答として取得する。そして、制御器更新装置 20 は、数 19 式及び第一の実施形態に係る数 1 式から制御量の希望値 r を消去して導出される数 21 式と、数 21 式から数 20 式を用いて制御対象の伝達関数 G を消去して数 22 式を得る。制御器更新装置 20 は、この数 22 式により導出される応答 y () を推定応答として算出する。さらに、上述した数 23 式で表される評価関数 J () に基づいて、初期制御器 201 を更新後制御器 201 (201₁、201₂) に更新する。このため、制御器更新装置 20 も、第一の実施形態に係る制御器更新装置 10 と同様の効果を奏する。

30

【0111】

< 第三の実施形態に係る制御器更新装置の構成と動作 >

次に、図 13 から図 15 を参照して、本発明の第三の実施形態に係る制御器更新装置の構成と動作を説明する。第三の実施形態は、第二の実施形態の変形例であり、制御器更新装置の構成は、図 8 に示した制御器更新装置 20 と同じである。したがって、第三の実施形態の説明でも、第一の実施形態及び第二の実施形態の説明と重複する部分の説明は省略する。

【0112】

第三の実施形態における制御器更新装置 20 は、更新後閉ループ系 200 を内部モデル制御器に帰着させる点で、第二の実施形態とは異なる。すなわち、制御器更新装置 20 は、図 13 に示すように、更新後閉ループ系 300 を内部モデル制御器に帰着させることにより、更新後制御器 301 の要素及び要素同士の接続関係を設定する。

40

そして、図 8 に示す制御器更新装置 20 の制御器更新部 24 で内部モデル制御器を考慮した評価関数 J () に基づいて、初期制御器 301 を線形時不変の更新後制御器 301 に更新する。ここで、内部モデル制御器は、線形時不変の制御器である。以下、第三の実施形態における制御器更新装置 20 について、さらに具体的に説明する。

【0113】

上述した数 8 式を満たす制御対象 202 (図 8 参照) の伝達関数 G を図 13 に示す制御対象 302 の伝達関数 G_M () とすると、数 8 式の変形式として数 28 式が成立する。

50

【 0 1 1 4 】

【 数 2 8 】

$$C(\rho) = \frac{T_d}{(1 - T_d)G_M(\rho)}$$

【 0 1 1 5 】

数 2 8 式及び数 1 1 式から数 2 9 式が導出される。数 2 9 式は、図 9 に示した閉ループ系 2 0 0 を、図 1 3 に示す内部モデル制御器を実行する閉ループ系 3 0 0 に帰着させる式である。

10

【 0 1 1 6 】

【 数 2 9 】

$$J(\rho) = \left\| y_d - \left\{ T_d \frac{G_M^{-1}(\rho)}{C_0} + T_d \right\} y_0 \right\|^2$$

【 0 1 1 7 】

図 1 3 は、本発明の第三の実施形態に係る更新後閉ループ系 3 0 0 の構成例を示すブロック図である。

20

図 1 3 に示すように、閉ループ系 3 0 0 は、制御器 3 0 1 と、制御対象 3 0 2₁ と、制御対象 3 0 2₂ を含む。制御器 3 0 1 は、伝達関数 $T_d G_M^{-1}$ を有する。制御対象 3 0 2₁ は、実際に存在する制御器であり、伝達関数 G を有する。また、制御対象 3 0 2₂ は、内部モデル制御器に帰着させたことによりモデル化された制御器であり、伝達関数 G_M を有する。

【 0 1 1 8 】

以下、数 2 8 式及び数 2 9 式を用いて、制御器更新装置 2 0 により制御器 3 0 1 を更新する方法を説明する。

【 0 1 1 9 】

制御対象 3 0 2₂ の内部モデルの伝達関数 $G_M(\)$ は、パラメータ ρ_1, ρ_2, ρ_3 及びラプラス演算子 s を含む数 3 0 式で表される。但し、「 $G_M^{-1}(\)$ 」は、「 $1 / G_M(\)$ 」を表す。

30

【 0 1 2 0 】

【 数 3 0 】

$$G_M^{-1}(\rho) = \rho_1 + \rho_2 s + \rho_3 s^2$$

【 0 1 2 1 】

また、図 1 3 に示した閉ループ系 3 0 0 の目標伝達関数 T_d は、ラプラス演算子 s を含む数 3 1 式で表される。数 3 1 式も、設計者が任意に設定する式である。

40

【 0 1 2 2 】

【 数 3 1 】

$$T_d = \left(\frac{2}{s + 2} \right)^2$$

【 0 1 2 3 】

さらに、上述した数 2 9 式及び数 3 0 式から評価関数 $J(\)$ は、数 3 2 式で表される。また、数 3 0 式は、パラメータ ρ_1, ρ_2, ρ_3 について線形化されている。

【 0 1 2 4 】

50

【数 3 2】

$$J(\rho) = \left\| y_d - T_d y_0 - \frac{T_d}{C_0} \begin{bmatrix} 1 & s & s^2 \end{bmatrix} y_0 \begin{bmatrix} \rho_1 \\ \rho_2 \\ \rho_3 \end{bmatrix} \right\|^2$$

【0125】

この場合、制御器更新装置 20 は、最小二乗法により、数 3 3 式で表されるモデルを取
得する。

10

【0126】

【数 3 3】

$$G_M = \frac{46.97}{s^2 + 7.52s + 0.01}$$

【0127】

図 1 4 は、本発明の第三の実施形態に係る初期閉ループ系の応答、更新後閉ループ系の
応答及び目標応答の例を示す図である。更新後制御器 301 は、図 1 4 に二点鎖線 A 3
で示された制御量の希望値及び一点鎖線 B 3 で示された目標応答が設定されている。

20

制御器更新装置 20 による更新前には、制御器 301 は、図 1 4 に破線 D 3 で示すよう
なオーバーシュートを含む応答を示している。一方、制御器更新装置 20 による更新後
には、制御器 301 は、図 1 4 に実線 E 3 で示すように、一点鎖線 B 3 で示された目標
応答に追従する応答を示している。

【0128】

次に、図 1 5 のフローチャートを参照して、本発明の第三の実施形態に係る制御器更新
装置 20 が実行する処理例について説明する。

図 8 に示した制御器更新装置 20 の初期応答取得部 21 は、制御対象 202 及び初期制
御器 201 を含む初期閉ループ系 200 の応答を初期応答 y_0 として取得する（ステ
ップ S 310）。また、初期応答取得部 21 は、この初期応答 y_0 を推定応答算出部 22
に送る。

30

【0129】

更新後制御器設定部 22 は、図 8 に示した更新後閉ループ系 200 を図 1 3 に示す更
新後閉ループ系 300 の内部モデル制御器 301 に帰着させることにより、更新後制御
器 301 の要素及び要素同士の接続関係を設定する（ステップ S 320）。

【0130】

推定応答算出部 23 は、初期制御器 301 の伝達関数 C_0 と、更新後制御器 301
の伝達関数 $C(\)$ と、制御対象 302₁、302₂ 及び更新後制御器 301 を含む更
新後閉ループ系 300 の目標伝達関数 T_0 を含むフィルタとしての機能を持つ。そして
、このフィルタとしての推定応答算出部 23 に初期応答取得部 21 からの初期応答 y_0 が
加えられると、推定応答算出部 23 は、初期応答 y_0 を推定応答 $y(\)$ に変換する算出
処理を行う（ステップ S 330）。また、推定応答算出部 23 は、算出した推定応答 $y(\)$
を制御器更新部 24 に送る。

40

【0131】

制御器更新部 24 は、推定応答 $y(\)$ と、更新後閉ループ系 300 の目標応答 y_0
との差を示す、数 3 2 式に示す評価関数 $J(\)$ に基づいて、図 9 に示す初期制御器 20
1 を、線形時不変の図 1 3 に示す更新後制御器 301 に更新する（ステップ S 340）。
すなわち、制御器更新部 24 は、設定された内部モデル制御器を考慮した評価関数 $J(\)$
に基づいて、更新後制御器 301 の伝達関数のパラメータ を更新する。

50

【 0 1 3 2 】

以上、第三の実施形態に係る制御器更新装置 2 0 について説明した。制御器更新装置 2 0 は、更新後閉ループ系 3 0 0₀ を内部モデル制御器に帰着させることにより、更新後制御器 3 0 1 の要素及び要素同士の接続関係を設定する。

そして、制御器更新装置 2 0 は、制御器更新部 2 4 により図 1 3 に示す内部モデル制御器を考慮した評価関数 J () に基づいて、図 9 に示す初期制御器 2 0 1₀ を図 1 3 に示す更新後制御器 3 0 1 に更新する。このため、制御器更新装置 2 0 は、制御器や閉ループ系の目標伝達関数を与えた場合における指針を提供することができる。

【 0 1 3 3 】

なお、上述した第一の実施形態、第二の実施形態及び第三の実施形態では、閉ループ系が出力する応答の差、すなわち推定応答と、更新後閉ループ系の目標応答との差に基づいて、初期制御器を更新後制御器に更新したが、本発明は、これに限定されない。第一の実施形態、第二の実施形態又は第三の実施形態に係る制御器更新装置は、閉ループ系に入力される信号の差に基づいて、初期制御器を更新後制御器に更新してもよい。

【 0 1 3 4 】

また、上述した各装置は、内部にコンピュータを有している。そして、上述した各処理の過程は、プログラム形式でコンピュータにより読み取り可能な記録媒体に記憶されており、このプログラムをコンピュータが読み出して実行することにより実行される。ここでコンピュータにより読み取り可能な記録媒体は、例えば、磁気ディスク、光磁気ディスク、C D - R O M、D V D - R O M、半導体メモリである。また、通信回線を経由してこのプログラムをコンピュータに配信し、コンピュータにこのプログラムを実行させてもよい。

【 0 1 3 5 】

また、上述したプログラムは、上述した機能の一部を実現するためのものであってもよい。さらに、上述した機能をコンピュータシステムに予め記録されているプログラムとの組み合わせで実現できるもの、いわゆる差分プログラムであってもよい。

【 0 1 3 6 】

以上、本発明の実施形態について図面を参照して詳述したが、具体的な構成はこの実施形態に限られるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲の設計変更等も含まれる。

【 符号の説明 】

【 0 1 3 7 】

1 0、2 0 制御器更新装置、1 1、2 1 初期応答取得部、2 2 更新後制御器設定部、1 2、2 3 推定応答算出部、1 3、2 4 制御器更新部、1 0 0、2 0 0、3 0 0 閉ループ系、1 0 0₀、2 0 0₀、3 0 0₀ 初期閉ループ系、1 0 0、2 0 0、3 0 0 更新後閉ループ系、1 0 1、2 0 1、3 0 1 制御器、1 0 3 制御器（理想的更新装置）、1 0 2、2 0 2、3 0 2₁、3 0 2₂ 制御対象、1 0 1₀、2 0 1 初期制御器、1 0 1、2 0 1 (2 0 1₁、2 0 1₂)、3 0 1 更新後制御器、5 0 0 台車の位置決め制御系、5 0 1 台車、5 0 2 ゴムベルト、5 0 3 サーボモータ、5 0 4 プーリ、5 0 5 P I D 制御器

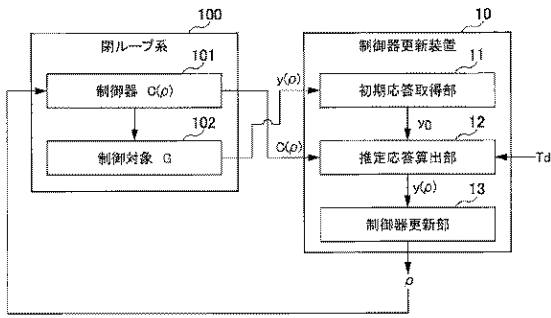
10

20

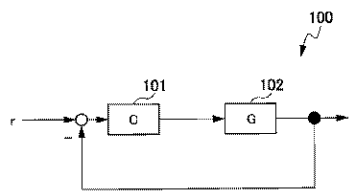
30

40

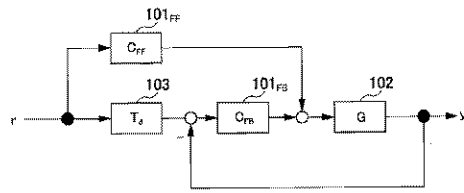
【図1】



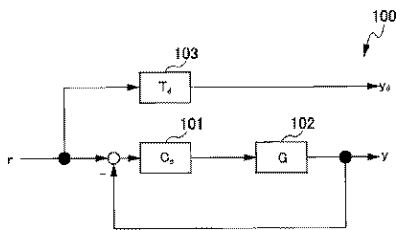
【図2】



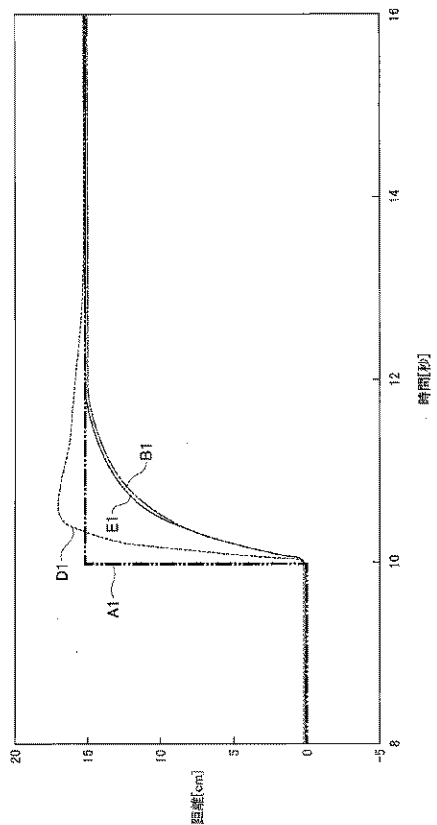
【図3】



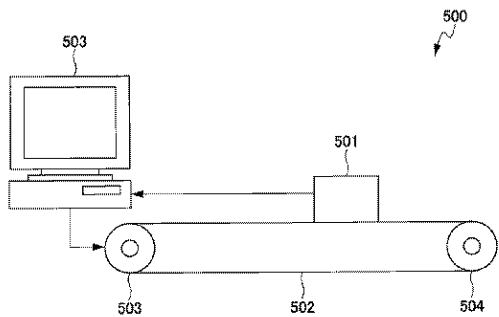
【図4】



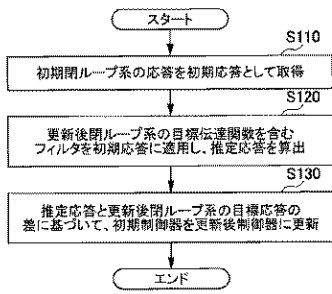
【図6】



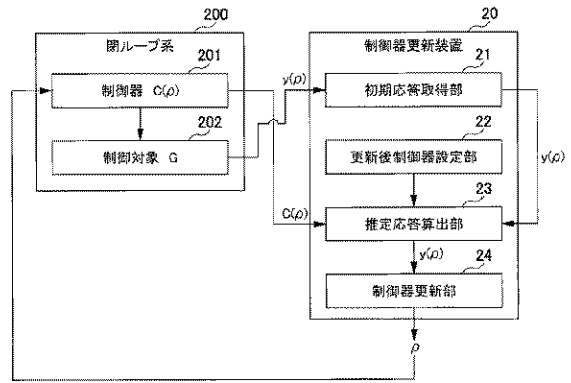
【図5】



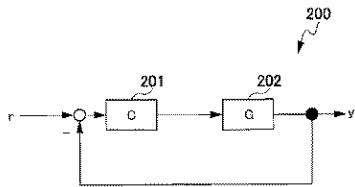
【 図 7 】



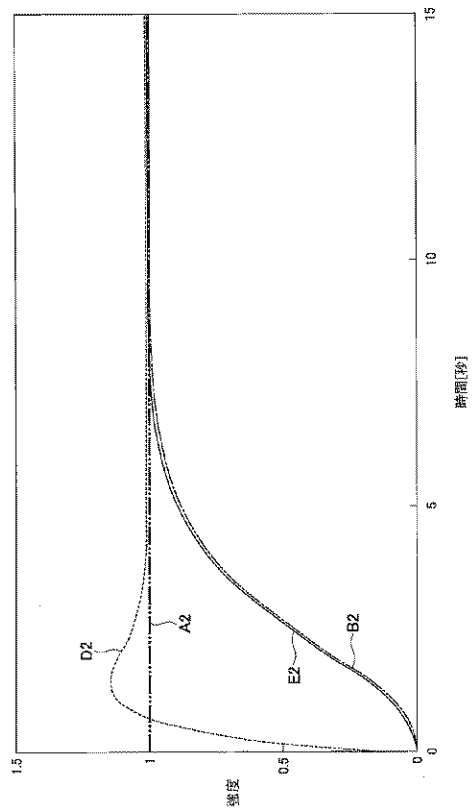
【 図 8 】



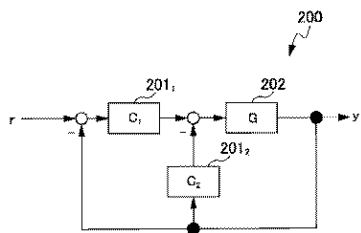
【 図 9 】



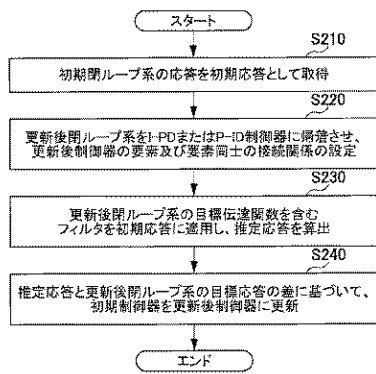
【 図 1 1 】



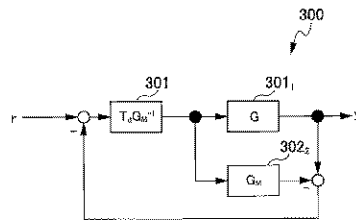
【 図 1 0 】



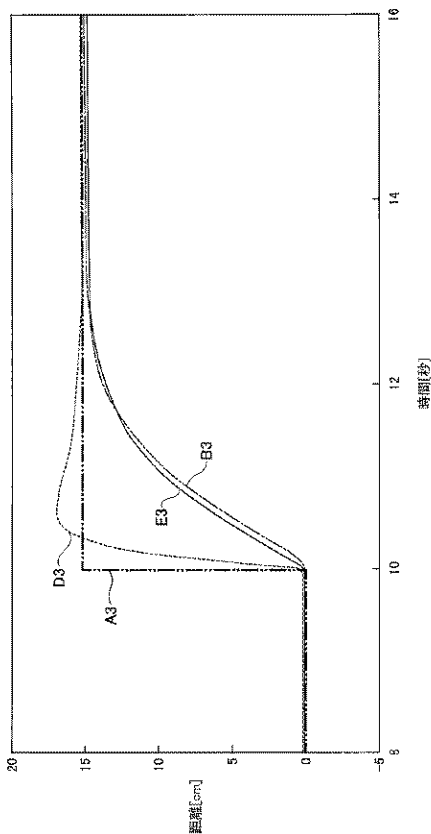
【図12】



【図13】



【図14】



【図15】

