

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4722461号
(P4722461)

(45) 発行日 平成23年7月13日 (2011. 7. 13)

(24) 登録日 平成23年4月15日 (2011. 4. 15)

(51) Int. Cl. F I
G05B 13/04 (2006.01) G O 5 B 13/04
G05B 13/02 (2006.01) G O 5 B 13/02 J

請求項の数 34 外国語出願 (全 22 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2004-349714 (P2004-349714) (22) 出願日 平成16年12月2日 (2004. 12. 2) (65) 公開番号 特開2005-202934 (P2005-202934A) (43) 公開日 平成17年7月28日 (2005. 7. 28) 審査請求日 平成19年11月20日 (2007. 11. 20) (31) 優先権主張番号 60/526, 897 (32) 優先日 平成15年12月3日 (2003. 12. 3) (33) 優先権主張国 米国 (US)</p>	<p>(73) 特許権者 594120847 フィッシャー・ローズマウント システムズ、 インコーポレイテッド アメリカ合衆国 78759 テキサス オースティン リサーチ パーク プラザ ビルディング 111 リサーチ ブル ーバード 12301 (74) 代理人 100065868 弁理士 角田 嘉宏 (74) 代理人 100106242 弁理士 古川 安航 (74) 代理人 100110951 弁理士 西谷 俊男</p>
--	---

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 モデルスイッチングおよび属性補間を用いた適応型多変数プロセスコントローラ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

第1の多変数プロセスモデルを用いてプロセス制御を実行するプロセスコントローラにおいて用いるために二つ以上の単一入力単一出力(SISO)モデルからなる第1の多変数プロセスモデルを制御対象であるプロセスに適応させる方法であって、
前記第1の多変数プロセスモデルに含まれる前記SISOモデルの中から適応させるSISOモデルのサブセットを選択することと、
選択された前記SISOモデルのサブセットの各々を別々に適応させることと、
適応された前記SISOモデルを含む第2の多変数プロセスモデルを生成し、前記第2の多変数プロセスモデルを前記第1の多変数プロセスモデル又はその部分に代えて用いるために前記プロセスコントローラに供与することとを含み、
前記SISOモデルのサブセットを選択することが、
前記プロセスへの複数のプロセス入力の各々に対して、測定されたプロセス出力値と前記第1の多変数プロセスモデルにより作成されるプロセス出力値との間の誤差評価値を求め、
該誤差評価値と前記プロセス入力との間の相関評価値を決定することと、
該相関評価値に基づいて前記複数のプロセス入力のうちの一つを選択することと、
選択された前記プロセス入力のうちの一つを前記測定された前記プロセス出力に関連付けするSISOモデルを、前記SISOモデルのサブセットのうちの一つとして、前記第1の多変数プロセスモデルに含まれる前記SISOモデルの中から選択することとを含み、
 方法。

10

20

【請求項 2】

前記 S I S O モデルのサブセットを選択する前に、前記プロセスのプロセス入力またはプロセス出力に基づいて、モデル適応を実行する時期を決定することをさらに含む、請求項 1 記載の多変数プロセスモデル適応方法。

【請求項 3】

前記モデル適応を実行する時期を決定することが、前記プロセス入力または前記プロセス出力を表すデータを収集および格納することと、前記プロセス入力または前記プロセス出力の変化を検出して、前記変化が所定の量を越えるときに前記モデル適応を実行する時期と決定すべく収集された前記データを解析することとを含む、請求項 2 記載の多変数プロセスモデル適応方法。

10

【請求項 4】

前記相関評価値に基づいて前記複数のプロセス入力のうちの一つを選択することが、前記プロセス入力のうちの第一の入力が所定の量の変化を受けているか否かを判定することと、前記プロセス入力のうちの第一の入力が所定の量の変化を受けていると判定されたときに、選択された前記複数のプロセス入力のうちの一つとして前記プロセス入力の第一の入力を選択することとを含む、請求項 1 記載の多変数プロセスモデル適応方法。

【請求項 5】

前記相関評価値に基づいて前記複数のプロセス入力のうちの一つを選択することが、前記誤差評価値といずれのプロセス入力が最も強い相関関係を有するかを決定することと、
前記相関関係に関する該決定に基づいて、最も強い相関関係を有する前記プロセス入力と関連する前記 S I S O モデルのうちの一または複数を選択することとを含む、請求項 1 記載の多変数プロセスモデル適応方法。

20

【請求項 6】

選択された前記 S I S O モデルのサブセットの各々を別々に適応させることが、
 選択された前記 S I S O モデルのサブセットのうち少なくとも一つに対してモデルスイッチング適応技法を実行することを含む、請求項 1 記載の多変数プロセスモデル適応方法。

【請求項 7】

選択された前記 S I S O モデルのサブセットの各々を別々に適応させることが、
 選択された前記 S I S O モデルのサブセットのうち少なくとも一つに対して属性補間適応技法を実行することを含む、請求項 1 記載の多変数プロセスモデル適応方法。

30

【請求項 8】

前記第 2 の多変数プロセスモデルを前記プロセスコントローラに提供するまえに、適応された前記 S I S O モデルのサブセットを有する前記第 2 の多変数プロセスモデルの妥当性を検査することをさらに含む、請求項 1 記載の多変数プロセスモデル適応方法。

【請求項 9】

適応された前記 S I S O モデルのサブセットを有する前記第 2 の多変数プロセスモデルの妥当性を検査することが、
 適応された前記 S I S O モデルのサブセットを有する前記第 2 の多変数プロセスモデルが、
 適応された前記 S I S O モデルのサブセットを有しない前記第 1 の多変数プロセスモデルよりも小さなモデリング誤差を有するか否かを決定することを含む、請求項 8 記載の多変数プロセスモデル適応方法。

40

【請求項 10】

適応された前記 S I S O モデルのサブセットを有する前記第 2 の多変数プロセスモデルの妥当性を検査することが、
 適応された前記 S I S O モデルのサブセットを有する前記第 2 の多変数プロセスモデルが同一のプロセス入力データおよびプロセス出力データに対して作用して、適応された前記 S I S O モデルのサブセットを有しない前記第 1 の多変数プロセスモデルよりもさらに優れた制御を行うか否かを決定することを含む、請求項 8 記載の多変数プロセスモデル適応方

50

法。

【請求項 1 1】

選択された前記 S I S O モデルのサブセットの各々を別々に適応させることが、パラメータに基づく S I S O モデルを適応させることを含む、請求項 1 記載の多変数プロセスモデル適応方法。

【請求項 1 2】

前記パラメータに基づく S I S O モデルが、一次遅れ + むだ時間モデルである、請求項 1 1 記載の多変数プロセスモデル適応方法。

【請求項 1 3】

選択された前記 S I S O モデルのサブセットの各々を別々に適応させることが、
ノンパラメトリックベースの S I S O モデルを適応させることを含む、請求項 1 記載の多変数プロセスモデル適応方法。

10

【請求項 1 4】

前記ノンパラメトリックベースの S I S O モデルが、ステップ応答モデルおよびインパルス応答モデルのうちの一つである、請求項 1 3 記載の多変数プロセスモデル適応方法。

【請求項 1 5】

選択された前記 S I S O モデルのサブセットの各々を別々に適応させることが、前記ノンパラメトリックベースの S I S O モデルの属性を調整することを含む、請求項 1 3 記載の多変数プロセスモデル適応方法。

【請求項 1 6】

前記ノンパラメトリックベースの S I S O モデルの属性を調整することが、
前記ノンパラメトリックベース S I S O モデルの、
(1) 応答が最初に観察されるまでの時間、
(2) すべてのステップ応答係数における各 1 以上のステップ係数値、および
(3) 応答曲線の傾斜
のうちの一つを調整することを含む、請求項 1 5 記載の多変数プロセスモデル適応方法。

20

【請求項 1 7】

プロセスの制御に用いられるプロセス制御システムであって、
前記プロセスの制御に用いられる二つ以上の単一入力単一出力 (S I S O) モデルからなる 第 1 の多変数プロセスモデルを有するプロセスコントローラと、
前記プロセスコントローラに通信可能に接続されているモデル適応ユニットとを備えており、
該モデル適応ユニットが、
前記第 1 の多変数プロセスモデルに含まれる前記 S I S O モデルの中から適応させる前記 S I S O モデルのサブセットを選択するように構成された第一のユニットと、
選択された前記 S I S O モデルのサブセットの各々を変更するように構成された第二のユニットと、
変更された前記 S I S O モデルを含む第 2 の多変数プロセスモデルを生成するように構成された第三のユニットと、
前記第 1 の多変数プロセスモデル又はその部分に代えて用いるべく、前記第 2 の多変数プロセスモデルを前記プロセスコントローラに供与するように構成された第四のユニットと
を有してなり、
前記第一のユニットが、複数のプロセス入力の各々に対して、測定されたプロセス出力と前記第 1 の多変数プロセスモデルにより作成されるプロセス出力との間の誤差評価値を求め、該誤差評価値と前記プロセス入力との間の相関評価値を決定するとともに、
該相関評価値を利用して前記複数のプロセス入力のうちの一つを選択し、
選択された前記プロセス入力のうちの一つを前記測定されたプロセス出力に関連付けする S I S O モデルを、前記 S I S O モデルのサブセットのうちの一つとして、前記第 1 の多変数プロセスモデルに含まれる前記 S I S O モデルのうちから選択するように構成されている、
プロセス制御システム。

30

40

50

【請求項 18】

前記モデル適応ユニットが、適応サイクルを開始する時期を決定すべく、前記プロセスの一または複数のプロセス入力またはプロセス出力の変化を検出するように構成されたスーパーバイザユニットをさらに備えてなる、請求項 17 記載のプロセス制御システム。

【請求項 19】

前記スーパーバイザユニットが、データ収集ユニットを備えているとともに、該データ収集ユニットに前記一または複数のプロセス入力またはプロセス出力のうちの一つを表すデータを収集および格納し、

前記一または複数のプロセス入力またはプロセス出力のうちの一つの変化が所定の量を越えたときに前記適応サイクルを開始する時期と決定するために、収集された前記データを解析するように構成されている、請求項 18 記載のプロセス制御システム

10

【請求項 20】

前記第二のユニットが、選択された前記 S I S O モデルのサブセットのうちの一つに対してモデルスイッチングモデル適応技法を実行してなる、請求項 17 記載のプロセス制御システム。

【請求項 21】

前記第二のユニットが、選択された前記 S I S O モデルのサブセットのうちの一つに対して属性補間モデル適応技法を実行してなる、請求項 17 記載のプロセス制御システム。

【請求項 22】

前記モデル適応ユニットは、前記第四のユニットが前記第 2 の多変数プロセスモデルを前記プロセスコントローラに提供するまえに、変更された前記 S I S O モデルのサブセットを用いて前記第 2 の多変数プロセスモデルを検査するように構成された妥当性検査ユニットをさらに備えてなる、請求項 17 記載のプロセス制御システム。

20

【請求項 23】

選択された前記 S I S O モデルのサブセットのうちの一つが、パラメータに基づく S I S O モデルである、請求項 17 記載のプロセス制御システム。

【請求項 24】

前記パラメータに基づく S I S O モデルが、一次遅れ + むだ時間モデルである、請求項 23 記載のプロセス制御システム。

30

【請求項 25】

選択された前記 S I S O モデルのサブセットのうちの一つが、ノンパラメトリックベースの S I S O モデルである、請求項 17 記載のプロセス制御システム。

【請求項 26】

前記ノンパラメトリックベースの S I S O モデルが、ステップ応答モデルおよびインパルス応答モデルのうちの一つである、請求項 25 記載のプロセス制御システム。

【請求項 27】

前記第二のユニットが、前記ノンパラメトリックベースの S I S O モデルの、

(1) 応答が最初に観察されるまでの時間、

(2) すべてのステップ応答係数における各 1 以上のステップ係数値、および

(3) 応答曲線の傾斜

40

のうちの一つを調整することによって、前記ノンパラメトリックベースの S I S O モデルの属性を調整するように構成されている、請求項 25 記載のプロセス制御システム。

【請求項 28】

前記プロセスコントローラが、モデル予測制御型コントローラである、請求項 17 記載のプロセス制御システム。

【請求項 29】

二つ以上の単一入力単一出力 (S I S O) モデルからなる第 1 の多変数プロセスモデルを有するプロセス制御システムにおいて用いられるモデル適応ユニットであって、コンピュータ読み取り可能媒体と、

50

プロセッサ上で実行されるように構成されかつ前記コンピュータ読み取り可能媒体に格納されているプログラムとを備えており、

該プログラムが、

前記第 1 の多変数プロセスモデルに含まれる前記 S I S O モデルの中から適応させる前記 S I S O モデルのサブセットを選択するように構成された第一のルーチンと、

選択された前記 S I S O モデルのサブセットの各々を適応させるように構成された第二のルーチンと、

適応された前記 S I S O モデルを含む第 2 の多変数プロセスモデルを生成するように構成された第三のルーチンと

前記第 2 の多変数プロセスモデルを前記第 1 の多変数プロセスモデル又はその部分に代えて用いるために前記プロセス制御システムに供与するように構成された第四のルーチンとを有しており、

前記第一のルーチンが、前記プロセスへの複数のプロセス入力の各々に対して、測定されたプロセス出力と前記第 1 の多変数プロセスモデルにより作成されるプロセス出力との間の誤差評価値を求め、該誤差評価値と前記プロセス入力との間の相関評価値を決定し、

該相関評価値を用いて前記複数のプロセス入力のうちの一つを選択し、

選択された前記プロセス入力のうちの一つを前記測定されたプロセス出力に関連付けする S I S O モデルを、前記 S I S O モデルのサブセットのうちの一つとして、前記第 1 の多変数プロセスモデルに含まれる前記 S I S O モデルのうちから選択する、モデル適応ユニット。

【請求項 30】

前記プログラムが、適応サイクルを開始する時期を決定すべく、前記プロセス制御システムの制御対象であるプロセスのプロセス入力またはプロセス出力の変化を検出するように構成されたスーパーバイザルーチンをさらに備えてなる、請求項 29 記載のモデル適応ユニット。

【請求項 31】

前記第二のルーチンが、選択された前記 S I S O モデルのサブセットのうちの一つに対してモデルスイッチング適応技法を実行してなる、請求項 29 記載のモデル適応ユニット。

【請求項 32】

前記第二のルーチンが、選択された前記 S I S O モデルのサブセットのうちの一つに対して属性補間適応技法を実行してなる、請求項 29 記載のモデル適応ユニット。

【請求項 33】

前記プログラムは、前記第四のルーチンが、前記第 2 の多変数プロセスモデルを前記プロセス制御システムに提供するまえに、適応された前記 S I S O モデルのサブセットを用いて前記第 2 の多変数プロセスモデルを検査する妥当性検査ルーチンをさらに備えてなる、請求項 29 記載のモデル適応ユニット。

【請求項 34】

選択された前記 S I S O モデルのサブセットのうちの一つが、ノンパラメトリックベースの S I S O モデルであり、前記第二のルーチンが、前記ノンパラメトリックベースの S I S O モデルの、

(1) 応答が最初に観察されるまでの時間、

(2) すべてのステップ応答係数における各 1 以上のステップ係数値、および

(3) 応答曲線の傾斜

のうちの一つを調整することによって前記ノンパラメトリックベースの S I S O モデルの属性を調整してなる、請求項 29 記載のモデル適応ユニット。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明にかかる方法および装置は、一般的にプロセス制御技術に関するものであり、さ

10

20

30

40

50

らに詳細には、モデル適応プロシージャ中にモデルスイッチングおよびパラメータ補間のうちの一方または両方を実行する適応型多変数制御技術に関するものである。

【背景技術】

【0002】

本発明は、ここで参照することによりその全内容を明示的に援用する、2003年4月21日に出願された、表題が「適応フィードバック/フィードフォワードPIDコントローラ(Adaptive Feedback/Feedforward PID Controller)」である米国特許出願番号第10/419,582号に関連している。また、この米国特許出願番号第10/419,582号は、ここで参照することによりその全内容を明示的に援用する、2000年6月20日に出願され2003年6月10日に米国特許第6,577,908B 10

【0003】

大規模な製造工場および化学精製所などの如き自動化されたシステムにおいて適応プロセス制御を実現するためにロジックに基づくコントローラスイッチング戦略を用いることが当該技術分野において知られている。ロジックに基づくスイッチング戦略の説明の一例として、たとえば、モールス(Morse)、エフ・エム・ペイト(F.M. Pait)、およびエス・アール・ウェラ(S.R. Weller)、「自己調整制御のためのロジックに基づくスイッチング戦略(Logic-Based Switching Strategies for Self-Adjusting Control)」、決定および制御に関する第33回IEEE会議(IEEE 33rd Conference on Decision and Control)(1994年12月)が挙げられる。一般的にいえば、ロジックに基づくコントローラ-スイッチング戦略は、プリルーテッドコントローラによるアプローチとモデルに基づくパラメータ化コントローラによるアプローチとして一般的に区別されている二つのアプローチのうちの一つに分類されうる。 20

【0004】

プリルーテッドコントローラチューニングとは、原則的に、事前定義された一組の有力なコントローラに含まれている有力なコントローラを評価することである。この評価は、満足 of いく機能を有するコントローラが特定されると終了する。プリルーテッドコントローラチューニングシステムは設計が容易であり、コントローラの構造に関する要求項目がほとんどない。しかしながら、プリルーテッドコントローラチューニングシステムのこのような利点も、チューニング時間に関する性能が劣悪であるために、見劣りがするものとなっている。すなわち、事前定義された一組の有力なコントローラからの最適なコントローラの選択に必要な時間が非常に長い。 30

【0005】

一般的に、モデルに基づくパラメータ化コントローラは、二つ以上のパラメータ依存サブシステムと、出力推定誤差を生成するモデルと、内部コントローラとから構成されている。動作状態では、適切に定義された一組のモデルによる推定に基づく制御信号が、被制御プロセスに伝達される。モデルに基づくパラメータ化コントローラにより、「サイクリックスイッチング」の概念に基づいてコントローラスイッチング戦略が具象化される。サイクリックスイッチングは、プロセスに対するさらなる励起信号の提供の有無に関係なく用いられうる。 40

【0006】

プロセス適応制御に対するサイクリックスイッチングアプローチに関する有益な説明として、ケイ・エス・ナレンドラ(K.S. Narendra)およびジェイ・バラクリシュナン(J. Balakrishnan)、「複数モデルを用いた適応制御(Adaptive Control Using Multiple Models)」、自動制御に関するIEEE報告(IEEE Transactions on Automatic Control)、第42巻、第2号、177~187ページ(1997年2月)が 50

挙げられる。この文献は、複数のパラメータと、当該複数のパラメータに対応するモデルパラメータを有しかつ並列に動作するN個のモデルとによって特徴付けされるコントローラを備えたプロセス制御システムを開示している。いずれの時点においても、スイッチングルールにより、一つのモデルとそれに対応するパラメータ化コントローラとが選択され、それに対応する制御入力がプロセスの制御に用いられる。これらのモデルは、プロセス要件、オペレータの必要要件、およびその他の適切な考慮すべき事項に応じて、固定パラメトリックモデルであってもよいし、適応パラメトリックモデルであってもよい。固定パラメトリックモデル制御システムは、未知のプロセスのパラメータに十分に近いパラメータにより特徴付けられる少なくとも一つのモデルの存在を担保する簡易かつ有効な手段を提供する。

10

【0007】

固定パラメトリックモデルを用いる、サイクリックスイッチングに基づくプロセス制御システムは、高速な適応速度を提供するが、プロセスコントローラ内に非常に多くのモデルを設計・格納する必要がある。なお、固定モデルは、有限の数のプロセス環境または状態のみを正確に表現できる。また固定モデルは、プロセス精度を漸近的に向上させるために、適応モデルを用いる必要がある。

【0008】

現実的にいえば、モデルに基づくスイッチング戦略は、妥当なプロセス近似が非常に多くのモデルを必要とすることに起因する複数の問題をもたらす。たとえば、固定モデル型自己チューナを含む簡易な単一入力単一出力(SISO)システムは、十分なプロセス性能を達成するには何百もの固定モデルを含むことが当然予想される。したがって、システムがさらに複雑になると、たとえば多変数システムになると、カスタマイズされる固定モデルの必要数は指数関数的に増えることになり、それにより、システム設定時間およびシステム必要メモリが増大する。より効果的に解決するには、特定のモデル構造およびコントローラタイプを検討する必要があり、簡易スイッチング戦略をさらに改良されたプロシージャに切り替えることが考えられる。

20

【0009】

ダーリン(Dahlin)コントローラに対する改良されたモデルに基づくアプローチが、ゲンドロン(Gendron)、「原因不明のまたは変動する遅延を有するプラントのデッドタイム補償器(Improving the Robustness of Dead-Time Compensation for Plants with Unknown or Varying Delay)」、制御システム会議90(Control System 90 Conference)(1990年、ヘルシンキ)、において提案されている。この文献は、デッドタイム変化に基づくプロセス適応を実現する簡易な一次遅れ+むだ時間プロセスモデルを開示している。簡易なモデルスイッチングに依存するというより、むしろ、上記のコントローラは、さまざまなデッドタイムにより特徴付けされる一組のモデルの重み付け合計に基づいたプロセスモデルを用いる。この一組のモデルの各々は、プロセス出力値の予測値を生成すべくなくしてあり、その対応する重みは、予測誤差の関数の単関数として、自動的に調整される。この基本概念が、拡張されて、ダーリンコントローラ構成内のプロセスゲインおよびデッドタイムの変動を含むようになってきている。

30

40

【0010】

一般的に、適応PIDコントローラ的设计のための有力なアプローチは、直接アプローチと、間接アプローチまたはモデルに基づくアプローチとである。上述のように、モデルに基づくアプローチは、スイッチング戦略を用いる制御システムに対して有効であり、かつ、適応スイッチングPIDコントローラを設計するための適切な出発点を提供する。また、モデルに基づくアプローチは、モデルパラメータの変動を追跡するための、逐次最小自乗(RLS)推定器と結合された、モデル同定に基づく適応PIDコントローラを提供することが知られている。逐次モデル同定器に付随する典型的な問題としては、初期パラメータの選定の難しさ、励起の不十分さ、フィルタリング、パラメータウィンドアップ、

50

パラメータ追跡速度の緩慢さが挙げられる。これらの変数が複雑であるとともに正確な推定量の計算が困難であるので、公知の、モデルに基づく適応PIDコントローラは、プロセスモデルを簡略化することにより、その性能を向上しうることが当該技術分野においてよく知られている。

【0011】

簡略化された、モデルに基づく適応コントローラの一例として、がアストロム (Astrom) およびハグランド (Hagglund)、「周波数応答技術に基づく工業用適応コントローラ (Industrial Adaptive Controllers Based on Frequency Response Techniques)」、オートマチカ (Automatica)、第27巻、第4号、599~609ページ (1991年) を挙げることができる。概して、この文献は、周波数ドメインにおいてプロセスモデル適応を実行し、設定値の変更および、自然現象による外乱にตอบสนองしてチューニングを行うように設計されたコントローラを開示している。さらに詳細には、チューニング周波数は、プロセスの入出力に対して帯域通過フィルタを適用することにより選択され、そのフィルタの通過帯域の周波数は、オートチューナ (オンデマンド型チューナ) により定義される。このオートチューナは、適応チューナの動作に先立ってリレイ振動技術を用いて最終周期を定義し、簡易化されたRLS推定器を用いてそのチューニング周波数に対するプロセスゲインを定義する。このオートチューナは、プロセスゲインの変化を追跡する機能を有している。しかしながら、デッドタイムまたは時定数に変化が発生すると、追跡されたポイントは、もはや、 $-$ 位相を示しておらず、コントローラによるチューニングが不正確なものとなる。

【0012】

さらに、複数のチューニング周波数を適用し、インターポレータを用いて $-$ 位相を有する周波数を確定することにより、チューニングを向上させることが知られている。あるいは、単一のチューニング周波数を適用し、各チューニングサイクルのあと、 $-$ 位相に追従するために周波数を調整することが可能である。両方のチューナモデルは、その後の設定値変更および自然現象による外乱に対応し、コントローラ出力部または設定値入力部において外部励起を入力しうる。このようなオートチューナは、従来技術におけるようなサイズ制約およびセットアップ制約を有していないが、従来技術よりも非常に複雑である。

【0013】

さらに、両方のチューナモデルは、最終ゲインおよび最終周期の二つのパラメータのみしか認識しない初期の適応モデルを用いている。このような簡易な2パラメータ適応モデルを組み込んでいるチューナモデルは、Ziegler-Nicholsチューニングまたはその改良バージョンに対して適切であるが、内部モデル制御 (IMC) または λ チューニングが好ましい用途においては不適切である。RLS同定器をフィードフォワード制御の静的ゲインの決定に用いてもよいが、このRLS同定器アプローチは、適切なフィードフォワード制御に必要なプロセスフィードフォワードダイナミクスに欠けている。さらに、このアプローチは、フィードフォワード信号が負荷外乱であり、また、摂動信号をフィードバック経路に入力することができないため、励起が十分でないという問題を有している。

【0014】

フィードフォワード適応に対する他の解決策が、ブリストルおよびハンセンにより、表題が「多変数適応フィードフォワードコントローラ (Multivariable Adaptive Feedforward Controller)」である米国特許第5,043,863号に開示されている。この特許は、外乱負荷を含むように設計された微分方程式に基づくモデルを開示している。このプロセスモデルは、測定されたプロセスデータに基づいて周期的に更新される。ここで、外乱は、プロジェクション法によりもたらされるモーメント関係およびコントロール関係により特徴づけされる。一般的に、導かれる解決策は、非常に複雑であり、かなりの励振を必要とし、上述のRLS同定器によるアプローチ

とほとんど同じである。さらに、導かれる解決策は、フィードフォワード制御に対してのみ適切であり、フィードバック付き適応コントローラに対して適用不能である。

【0015】

米国特許第6,577,908号には、適応スイッチングプロシージャを大幅に修正、改良したものが開示されている。この適応スイッチングプロシージャは、モデル補間に代えて、パラメータ補間・モデル位置調整技術を導入しており、この技術は、適応に用いられるモデルの数を飛躍的に減少させることを可能にする。この特許に開示されているコントローラは、適応時間の短縮、プロセスモデル評価の完全性、およびプロセス励起に関する要求項目の削減という特徴を有している。

【0016】

今日まで、以上で説明したモデルおよびパラメータの適応およびスイッチング技術は、単純なプロセスモデルには適するが、単一入力単一出力(SISO)コントローラシステムを適応するためだけの利用に留まっており、コントローラが一または複数の入力に基づいて二つ以上の変数を同時に制御するような多変数制御状況に対して適用されてこなかった。しかしながら、多変数制御、とくに多変数制御の一つの特定の形式であるモデル予測制御(MPC)は、急速に、複雑な制御状況に対する有用な制御戦略となってきた。したがって、多変数コントローラに対して適用することができ、これらのコントローラがランタイム中に適応することを可能とし、これにより、プロセスや設定値などの変更に対する反応を向上させ、さらに優れた制御を実現させるような適応戦略を提供することが望まれている。

【発明の開示】

【課題を解決するための手段】

【0017】

適応MPCプロセス制御システムの如き適応多変数プロセス制御システムは、二つ以上のSISOモデルからなるセットから構成されているかまたは二つ以上のSISOモデルからなるセットとして特徴付けされる多変数プロセスモデルを有する多変数プロセスコントローラと、該多変数プロセスモデルを適応させる適応システムとを備えている。一般的に言えば、適応システムは、スーパーバイザを有しており、該スーパーバイザは、適応サイクルを開始するのに十分なプロセス入力の変化を検出し、このような変化を検出した場合、適応の実行に必要なプロセス入力データおよびプロセス出力データを収集する。次いで、スーパーバイザは、前記多変数プロセスモデル内のSISOモデルのうちの適応させるべきサブセットを決定し、それによって、前記多変数プロセスモデルを適応させる。このようなSISOモデルの選択は、各プロセス出力に対して、どのプロセス入力、実際の(測定された)プロセス出力と多変数プロセスモデルにより作成されたプロセス出力との間の誤差と最も強い相関関係を有しているかを判定し、これらの最も強い相関関係を有する入力をモデリング誤差を有するプロセス出力と関連づけるSISOモデルを選択することによって行われうる。所望ならば、適応には、変化が所定の量である入力と関連するSISOモデルのみが選択されてもよい。

【0018】

次に、適応システムは、標準的なまたは公知のモデルスイッチング技法およびパラメータ補間技法を実行し、選択されたSISOモデルの各々を適応させる。SISOモデルのうちの一または複数が適応されたあと、結果として得られた多変数プロセスモデルは、当該多変数プロセスモデル(すなわち、適応されたSISOモデルおよび適応されていないSISOモデルの両方を有するプロセスモデル)が、同一のプロセス入力データおよびプロセス出力データに対して動作して現在のまたは適応されていない多変数プロセスモデルよりもさらに優れた制御を行うか否か、および/または所定の量だけモデル誤差を削減するか否かを判定することによりその妥当性が検査される。適応された多変数プロセスモデルが現在の多変数プロセスモデルよりも性能が優れている場合、当該適応された多変数プロセスモデル(または、それに付随する適応されたSISOモデル)は、多変数コントローラにより用いられる形式に変更され、次いで、プロセス制御において多変数プロセス制

10

20

30

40

50

御システムで用いられるべく提供される。

【 0 0 1 9 】

もちろん、適応プロシージャは、十分な量のプロセス入力またはプロセス出力の変化が検出される毎に、プロセス入力またはプロセス出力が強制的に変更されたあとなどの如き必要または所望に応じて、繰り返されてもよい。さらに、プロセスの複雑さに応じておよび充足させるべき演算要求事項に応じて適応プロシージャの速度を変更することができるようにするために、いかなる数の S I S O モデルをいかなる特定の適応プロシージャ中に適応してもよい。

【 0 0 2 0 】

本明細書に記載の多変数適応プロシージャは、一次遅れ + むだ時間モデルの如きパラメータに基づく S I S O モデルを用いて、またはステップ応答モデルもしくはインパルス応答モデルの如きノンパラメトリック型モデルを用いて適用されてうる。後の方のケースの場合、適応プロシージャは、選択されたプロセスモデルの各々を進展または適応させるために、モデルスイッチングおよびモデル属性補間（モデルパラメータ補間はモデル属性補間のサブセットである）を用いる。このケースの場合、パラメータに基づくモデルのモデルゲイン、時定数、およびデッドタイムの如き一または複数のパラメータを変更する代わりに、ノンパラメトリックモデルの応答が最初に観察されるまでの時間、等級、勾配などの如きノンパラメトリックモデルの属性が変更され、新規のまたは適応されたノンパラメトリックモデルを決定するために、これらの属性の変更に基づいて補間が実行されうる。

【 発明を実施するための最良の形態 】

【 0 0 2 1 】

図 1 は、プロセス 10 において多変数制御を提供すべくモデル予測制御 (MPC) を用いる適応多変数プロセス制御システム 8 の一例を示している。この制御システム 8 は、ここで参照することによりその全内容を明示的に援用するところの米国特許第 6,577,908 号に開示されているフィードバック/フィードフォワード (FB/FC) PID 制御システムといくぶん設計が類似している。事実、制御システム 8 は、以下でさらに詳細に説明するように、米国特許第 6,577,908 号に開示されている PID 制御システムコンポーネントを用いる。

【 0 0 2 2 】

図 1 に示されているように、適応多変数プロセス制御システム 8 は、標準的なまたは典型的な MPC システム 12 を備えており、当該 MPC システム 12 は、プロセス 10 の制御に用いられる操作変数 (MV) 信号を生成する MPC コントローラに接続されたプロセスモデルブロック 14 を有している。一般的にいえば、プロセスモデルブロック 14 は、一組の単一入力単一出力 (SISO) モデルからなりうる多変数プロセスモデル 14a を有しており、SISO モデルの各々は、一次遅れ + むだ時間モデルの如きパラメトリックモデルまたはステップ応答曲線の如きノンパラメトリックモデルでありうる。また、SISO モデルの各々は、制御変数 (CV) または補助変数 (AV) とも呼ばれるプロセス出力のうちの一つに関して、MPC コントローラ 16 により生成される CV および測定される外乱変数 (DV)、すなわちプロセス入力の一つに対する関係または応答を定義する。動作状態では、プロセスモデルブロック 14 は、MV および測定された DV を受信し、その内部の多変数プロセスモデル 14a を用いて、プロセス 10 の予測される未来応答値 (未来 CV 値および未来 AV 値) を規定する予測されるまたは未来の出力軌跡信号を生成する。この予測された出力軌跡信号はベクトル加算器 18 へ伝達される。

【 0 0 2 3 】

また、MPC 制御システム 12 は、設定値予測ユニットまたは設定値予測ブロック 20 を備えている。この設定値予測ユニット 20 は、プロセス出力 (CV および AV) のうちの一または複数の各々に対する個別の設定値信号でありうるプロセス設定値信号 SP を受信すべくなくしてあるとともに、予測される未来設定値を規定する設定値軌跡信号を生成すべくなくしてある。また、たとえば、設定値予測ユニット 20 は、プロセス 10 に対する未来設定値の

変更を示すオプティマイザ（図示せず）に接続されうる。また、設定値予測ユニット20により生成される設定値軌跡信号もベクトル加算器18に伝達され、当該ベクトル加算器は、予測されたプロセス出力軌跡信号と予測された設定値軌跡信号との間の差を定義する誤差軌跡信号を演算する。この誤差軌跡信号は、MPCコントローラ16の入力部に伝達される。MPCコントローラ16は、公知の方法でこの誤差軌跡信号を用いて操作変数（MV）を生成する。次いで、これらの操作変数が、プロセス10の入力部に伝達され、それにより、プロセス10が制御される。

【0024】

通例のように、制御変数（CV）および所望ならば補助変数（AV）を含むプロセス10の出力値は、加算器22に戻され、そこで同一期間にわたって予測される（多変数プロセスモデル14aにより生成される）モデル出力値と組み合わせられ、現在のモデル出力誤差が求められる。次いで、このモデル出力誤差は、プロセスモデルブロック14に戻され、そこで、プロセスモデルブロック14により予測された出力値を補正するために、標準的な方法で処理される。

10

【0025】

いうまでもなく、MPC制御システム12は、慣用技術であり、当該技術分野において公知のものである。したがって、プロセス10のMPC制御または他の多変数制御を実現すべく公知の方法でMPC制御システム12を作成または修正することは当業者にとって明らかである。さらに、本明細書記載の適応技術は、MPCコントローラとの関連において用いられているが、同様に、他のモデルに基づく多変数プロセス制御システムにおいて

20

【0026】

さらに図1を説明すると、モデル適応ネットワーク30を利用することにより、以前までは単一入力単一出力（SISO）モデルに基づく制御システムでの使用だけに制限されていたモデルスイッチング技法および/またはパラメータ（もしくはモデル属性）補間技法を用いて、MPC制御システム12において利用される多変数プロセスモデル14aを適応させうる。

【0027】

図1に示されているように、モデル適応ネットワーク30は、適応プロセスを制御しうるスーパーバイザ32と、多変数プロセスモデル14aに使用するために評価されうる、異なる潜在的な能力を備えた一組のモデルを格納しうるモデルセットブロック34と、このモデルセットブロック34内のモデルを評価し、適応プロセスにおいて用いるべきモデルパラメータまたはモデル属性の重みづけを決定するモデル評価ブロック36とを有している。また、モデル適応ネットワーク30は、多変数プロセスモデル14aのコンポーネントにおいて用いられるべきモデルパラメータ値またはモデル属性値を決定するパラメータ/属性補間ブロック38と、適応されたときでありかつプロセスモデルブロック14に新規の多変数プロセスモデルを代入するまえに、その新規のモデルの動作の妥当性を検査するために用いられるモデル妥当性検査ブロック40と、MPC制御システム12において利用すべくプロセスモデルブロック14により用いられる形態に新規のまたは適応されたプロセスモデルの形態を変更するモデル形式変更ブロック42とを含んでいる。

30

40

【0028】

適応ネットワーク30の動作は、典型的なMPCアプリケーションでプロセス10をモデル化すべくブロック14内の多変数プロセスモデル14aが動作する様式をまず説明することにより最も良く理解されるであろう。このために、図2は、複数の入力 IN_i （ $i = 1 \sim j$ ）と複数の出力 OUT_i （ $i = 1 \sim n$ ）とを有する多変数プロセスモデル14aの一般化された形態を示している。入力 IN_i は、操作変数（ MV_1 、 MV_2 など）および測定外乱変数（ DV_1 、 DV_2 など）でありうる一方、出力 OUT_i は、制御変数（ CV_1 、 CV_2 など）および補助変数（ AV_1 、 AV_2 など）でありうる。

【0029】

さまざまな入力信号 IN_i （ $i = 1 \sim j$ ）により予測出力信号 OUT_i （ $i = 1 \sim n$ ）が

50

もたらされるまたは生成される様式をモデル化する一つの技法としては、まず入力/出力の各対に対して異なる単一入力単一出力(SISO)モデルを定義することにより、各入力信号 IN_i に対する各出力信号 OUT_i の応答を関連づけすることが挙げられる。したがって、図2のプロセスモデルでは、 n 個のSISOモデルの j 倍の数のモデルが存在することになり、各SISOモデルが、入力信号 IN_i のうちの一つのみの入力信号に対する出力信号 OUT_i のうちの一つの応答を定義する。本明細書で用いられる場合、SISOモデルが、 $Model(In, Out)$ で示されており、変数「In」が1から j (全入力数)の範囲であり、変数「アウト」が1から n (全出力数)の範囲である。したがって、入力信号 IN_3 に対する出力信号 OUT_2 の時間経過応答を定義するSISOモデルは $Model(3, 2)$ ということになる。

10

【0030】

次に、図3に示されているように、SISOモデル、すなわち $In = 1 \sim j$ の範囲である $Model(In, i)$ の各々の出力の合計として、特定の出力信号 OUT_i が決定されてもよい。換言すれば、多変数線形プロセスをモデル化する一つのアプローチでは、プロセス出力が、プロセス入力の各々とそのプロセス出力との間の関係を定義するSISOモデルの出力を重ね合わせたもの(総和)であると仮定する。いうまでもなく、すべてのプロセス出力 OUT_i ($i = 1 \sim n$)をこの方法でモデル化するし、 OUT_i 信号の各々と IN_i 信号の各々が、定常状態に至るまでの時間の如き特定の期間にわたる関係を定義する時間依存信号であってもよい。この結果として、図1の多変数プロセスモデルブロック14は、ある時間範囲にわたる OUT 信号の各々の値を定義する軌跡信号またはベクトルを定義する。

20

【0031】

一般的に言えば、図3に示されているSISOモデル $MODEL(In, Out)$ は、一次遅れ+むだ時間モデル(または、その他のパラメトリックモデル)の如きパラメータの基づくモデルまたはパラメトリックモデルであってもよく、または対応する入力の変化に応答するある経過時間範囲の出力信号を定義するステップ応答モデルの如きノンパラメトリックモデルであってもよい。もちろん、本明細書記載のモデルに加えてまたはそれらに代えて、他のタイプのパラメトリックモデルおよびノンパラメトリックモデル(たとえば、インパルスモデル、ランプモデルなど)を用いてもよい。

【0032】

さらに、図1を説明すると、適応システム30は、MPCコントローラシステム12に用いられるべき新規の多変数プロセスモデルを生成するために、多変数プロセスモデル14aで用いられるSISOモデルのうちの一または複数を適応させるように動作する。一般的に言えば、各適応サイクルまたは各適応スキャン中、適応システム30は、プロセス10の(多変数プロセスモデル14aにより作成される)予測プロセス出力値と実際の(測定される)出力値との間の誤差に対する個々のSISOモデルの寄与に基づいて、SISOモデルのうちのを適応させるべきかを決定する。次いで、適応システム30は、モデルセット34、モデル妥当性検査ブロック36、およびパラメータ/属性補間ブロック38を用いて、適応させるべく特定された各SISOモデルを中心としてプロセスモデル化を実行する。このモデルセンタリングは、特定されたSISOモデルを修正または変更する様式を決定するモデルパラメータ補間技法またはモデル属性補間技法の形態で達成されうる。適応システム30は、このプロシージャ中またはその終了時点において、新規に適応されたSISOモデルの妥当性検査をモデル妥当性検査ブロック40を用いて行い、当該適応されたSISOモデル(すなわち、当該適応されたSISOモデルを組み合わせ得られる適応多変数プロセスモデル)がMPC制御システム12により現在用いられている多変数プロセスモデル14aよりもよい性能を有することを確認する。

30

40

【0033】

新規のもしくは適応された多変数プロセスモデルまたは当該多変数プロセスモデルを構成する一もしくは複数のSISOモデルが、プロセスモデルブロック14内で用いられている現在の多変数プロセスモデル14aよりも小さなモデル誤差を実現するものとしてその妥

50

当性が検証された場合、モデル形式変更ブロック42は、適応された多変数プロセスモデルの形式または当該適応された多変数プロセスモデルを構成する適応されたS I S Oモデルの形式を、プロセスモデルブロック14により用いられうる形式に変更する。したがって、たとえば、モデル形式変更ブロック42は、パラメトリックタイプのS I S Oモデルをステップ応答モデルに形式変更し、M P C制御システム12において用いるためこのステップ応答モデルをプロセスモデルブロック14に供しうる。

【 0 0 3 4 】

プロセス10の動作中、図1のスーパーバイザ32は、C V信号、A V信号、D V信号、M V信号の各々の表示データを受信し、プロセス出力(C VおよびA V)の変化、プロセス入力(M V)の変化、および外乱入力(D V)の変化を検出すべく動作する。プロセス入力 10のうちのいずれか(たとえば、M VまたはD V)の変化が最低レベルを超えた場合、スーパーバイザ32は、モデル評価プロシージャを開始し、多変数プロセスモデル14aに関連するS I S Oモデルのうちのいずれを適応させる必要があるか否かを決定する。検出された変化は、瞬間的なもの、すなわち一回のスキャン期間にわたるものである場合や、または段階的なものであり、所定の期間(または、所定の回数)のコントローラスキャン)にわたり検出される場合がある。事実、多変数プロセスでは、たいていの場合、変化は複数の入力と出力とに同時に発生する。このことは、本明細書記載の適応プロシージャの動作にとって理想的である。

【 0 0 3 5 】

プロセス入力において、(所望ならば、監視されている信号に基づいて変えてもよい) 一または複数の所定量の変化を検出したあと、スーパーバイザ32は、たとえば定常状態に至るまでの時間の如き特定の期間のプロセス入力データおよびプロセス出力データを収集・格納する。適応プロシージャを開始させると考えられる変化が、段階的なものである場合、すなわち複数スキャンにわたって発生する場合、スーパーバイザ32は、適応プロシージャの開始に必要とされる所定量にその変化がいまだに達していない場合であったとしても、適応プロシージャ中に適応済多変数プロセスモデルの動作の分析に必要なデータを入手するために、その変化の開始地点に関連する入力データおよび出力データを収集する必要がある。 20

【 0 0 3 6 】

いずれの場合であっても、プロセス入力データおよびプロセス出力データが収集され、メモリ(図1に明示的には図示せず) に格納されたあと、スーパーバイザ32は、プロセスモデルブロック14において用いられている現在のプロセスモデル14aとプロセス10に対する測定入力または収集入力に基づくプロセス10からの実際の測定出力との間の誤差を評価し、必要があれば、多変数プロセスモデル14a内のS I S Oモデルのうちのいずれを適応させる必要があるかを決定しうる。このように、すべてのS I S Oモデルをいずれかの特定の適応プロセス中に適応させうるが、このようなことが、必ずしも必要とは限らず、実際、適応サイクルが長くなってしまう場合もある。これに代えて、スーパーバイザ32は、以下で説明する適応プロシージャが適用されるS I S Oモデルのサブセットをまず決定しうる。ここで、このサブセットは、その数が、プロセスモデル14a内のS I S Oモデルの数よりも少ない。したがって、(プロセスモデルブロック14において用いられているS I S O 40モデルをすべて組み合わせたものである) 多変数プロセスモデルを全体的にまたは部分的に適応しうる。ある種の出力に対するモデル誤差が非常に小さい場合、特定の出力に対するモデル誤差とそのプロセス入力のうちのまたは複数との間に相関関係が存在しない場合、またはある種のプロセス入力の変化が非常に小さい場合に、部分的に適応させることが有利である。このような条件は、M P C制御プロセスにおいて一般的なものであり、したがって部分的適応、すなわち上記S I S Oモデル全部の数よりも少ない数のS I S Oモデルを特定の適応サイクルまたは適応プロシージャ中に適応させることが一般的でありうる。

【 0 0 3 7 】

S I S Oモデルの選択を実行するために、多変数適応プロシージャは、適応モデル構成 50

、すなわち多変数モデルのうちの適応される部分（たとえば特定のSISOモデル）をまず定義するモデル選択プロシージャを実施する。このモデル選択プロシージャには、入力データおよび出力データが収集される期間中においてスキャン毎に各出力OUT_jに対するモデル出力誤差を計算することが含まれている。事実、この誤差は通常、モデル出力シフトとして通常のMPCコントローラにおいて計算されており、プロセス測定値に依存するモデル出力の調整に用いられる。いずれの場合であっても、この誤差は以下の式を用いて計算される：

【0038】

【数1】

$$\varepsilon^j(t) = y^j(t) - \hat{y}^j(t)$$

10

【0039】

この式中、 $\varepsilon^j(t)$ は時間 t におけるモデル出力誤差である。

【0040】

$y^j(t)$ は時間 t におけるプロセスの測定出力である。

【0041】

【数2】

$$\hat{y}^j(t)$$

20

【0042】

は、多変数プロセスモデルにより生成される時間 t における予測プロセス出力である。

【0043】

次に、誤差 $\varepsilon^j(t)$ とすべてのプロセス入力 $u^j(t)$ との間の相互相関 $r^N(\tau)$ をたとえば以下の式を用いて計算する：

【0044】

【数3】

$$r^N(\tau) = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N u(t-\tau) \varepsilon(t)$$

30

【0045】

この式中、 N は定常状態に至るまでの時間により定義される期間中に収集されるサンプルの数にほぼ等しい。

【0046】

【数4】

40

$$\tau \approx \theta + .5\tau_c$$

【0047】

は、 τ がモデルデッドタイムとモデル時定数の半分とを足したものにほぼ等しいことを示している。この値は、実質的に、入力と出力との間の時間シフトにほぼ等しく、この時間シフトで、出力が入力の変化に対して最も敏感であり、したがって相関関数が最大値を示す。

【0048】

ここで、各出力OUT_jに関連する j 個のSISOモデルに対して、出力誤差と最高の

50

相互相関を有する入力に関連する一または複数のモデルが適応候補として選択されうる。所望ならば、最高のまたは最大の相互相関を有する入力と関連するSISOモデルが適応候補として選択されてもよく、所定の値を超える相互相関値を有するSISOモデルが適応候補として選択されてもよく、または、他の相互相関基準に基づいてSISOモデルが適応候補として選択されてもよい。

【0049】

いかなる特定のSISOモデルが適応候補として選択されてもよいが、選択されたSISOモデルのすべてが実際の適応に最適であるというわけではない。具体的にいえば、特定のSISOモデルに関連する入力に対して、適応期間中に、多量の変化または少なくとも必要最低量の変化が生じなかった場合、このモデルは、相互相関の値が高いとしても、よい適応候補とはいえない場合がある。というのは、実質的に、その入力の変化量が小さすぎるため、多量の変化が生じたものの相互相関の値が低い他の入力と関連しているSISOモデルと比べて当該SISOモデルの方が出力誤差に対しより大きな影響を与えている指標として、上記の相互相関の計算結果に対し信頼を置くことができないからである。したがって、選択されたモデルは以下の条件を充足する必要がある：

【0050】

【数5】

$$\max_i(\text{Input}(i)) - \min_i(\text{Input}(i)) \geq \Delta$$

【0051】

通常動作データの変化が小さい場合、MPCコントローラ¹²は、選択されたプロセスの入力部にステップパルスを入力してもよいし、または選択されたプロセス出力に対して設定値の変更を行い、入力の変化が所定値を越えるようにし、それにより、適応が起こりうる状態を生成する。オブチマイザが動作状態である場合、このオブチマイザは、上記のステップパルスが入力部に与えられたあと、そのプロセス出力を初期値（最適値）に自動的に戻す。それに対し、MPCコントローラがオブチマイザを備えていない場合、当該MPCコントローラは、ある期間（パルス時間）のうちに、入力を最初の位置に自動的に設定しうる。入力および出力に対する最適パルス幅は、検討中の出力に対する主要な遅延時間とほぼ一致するものとしてヒューリスティックに特定される。

【0052】

いずれの場合であっても、スーパーバイザ³²は、特定されたSISOモデルの各々に関連する入力に、適応期間中（データ収集期間中）、所定量の変化または最低量の変化が生じたか否かを判定する。上記入力に所定量の変化が生じていなければ、そのSISOモデルは実際に適応されるモデルとして選択されない。この場合、所望ならば、検討中の出力と二番目に高い相互相関を有する上記入力に関連するSISOモデルを選択し、そのモデルの入力をチェックし、その入力に所定量の変化または最低量の変化が生じたか否かを判定してもよい。このプロセスは、特定の出力の各入力毎に繰り返され、その特定の出力に対して適応されるべき少なくとも一つのSISOモデルを決定しうる。しかしながら、場合によっては、特定の出力に対して、その出力の出力誤差と入力の各々との低い相互相関を有するため、適応期間（たとえば、データ収集期間）中に十分な変化を生じなかった入力と各SISOモデルが関連しているため、または計算により求められた出力誤差がそもそも小さいために、最終的に、どのSISOモデルも、適応されるべきモデルとして決定されないことがある。

【0053】

特定の出力 OUT_i に対して少なくとも一つのSISOモデルが、適応される必要があるモデルとして決定される場合、その OUT_i に対する適応に選択されなかった他のSISOモデルは、モデルプロセスの出力に対してこれらの非選択モデルがどれだけ寄与しているかを算出すべく分析される。次いで、この寄与分は、プロセス出力の測定データから

減算され、それにより、プロセス出力の測定データのうちの、適応された一または複数の S I S O モデルに実際に関連する（または、それらに起因する）部分が求められる。このプロシージャにより、適応システム30は、実際のプロセスの出力に対する特定の S I S O モデルの予測寄与分を分離することができ、それにより、予測寄与分と適応されたモデルにより生成される実際の寄与分（出力）との間の誤差を特定することができる。

【 0 0 5 4 】

いうまでもなく、S I S O モデル適応・選択プロセスは、すべてのプロセス出力に対して繰り返してまたは別々に実行されるべくなくしてあり、したがって、（必ずしもいつもとは限らないが）一般的にいえば、少なくとも一つの S I S O モデルが、プロセス10の各々のかつすべての出力 O U T_i に対して選択され、適応させられる。

10

【 0 0 5 5 】

適応させるべきモデルとして一または複数の S I S O モデルが決定されたあと、適応システム30は、いかなる公知のまたは所望の適応プロシージャを、これらのモデルに対して連続的にまたは平行して適用してもよい。一つの実施形態では、適応させるべく選択された各 S I S O モデルに対して、米国特許番号第6,577,908号に記載されているモデル適応プロシージャを適用してもよい。あるいは、本明細書において参照することによりその開示内容をここで明示的に援用する米国特許出願番号第10/419,582に記載されているモデル適応プロセスを用いて S I S O モデルを適応させてもよい。

【 0 0 5 6 】

ここで、これらのプロシージャを繰り返すことはしないが、一般的にいえば、これらの適応プロシージャにより、適応させるべきモデルに対するモデルセットが定義され、このモデルセットは図1のモデルセットブロック34内に格納される。このモデルがパラメトリックモデルである場合、モデルセット34は、個別のサブモデルを有しうるし、各サブモデルは、上記のモデルに関連するパラメータに対して異なる値を有しうる。したがって、モデルが三つのパラメータを有しそれぞれのパラメータが三つの異なる値をとりうる場合、モデルセットは、実質的に、27個の異なるサブモデルを有する。これらのサブモデルの各々を上記収集されたデータを用いて分析することにより、プロセス10の実際の出力と比較して上記パラメータの各々に対するパラメータ値のうちいずれが最も小さな誤差を有するかが決定される。この誤差を決定するプロシージャが、モデルセット34内の特定のモデルの出力とプロセス10の実際の出力との間の差を求める加算器48により実行されるものとして、図1に示されている。図1に示されている加算器48への接続によりモデルセット34の出力とプロセス10の出力との間の比較がリアルタイムで実行されるように示されているが、これらの比較は、実際のところ（そして通常そうであるように）、スーパーバイザ32により前もって収集・格納されたプロセス入力データおよびプロセス出力データに基づいて、適応プロシージャの開始時点において実行されてもよい。

20

30

【 0 0 5 7 】

米国特許番号第6,577,908号により明らかのように、適応される S I S O モデルを構成する一組のモデルは、任意の所望のかつ事前定義されたスイッチングルールにより自動的に選択されうる複数のモデルサブセットを有しているものとして構築される。個々のモデルは、複数のパラメータを備えうるし、各パラメータは、そのパラメータ対応する一組の所定の初期値から選択される値をとりうる。モデルセット34内の個々のモデルの評価には、モデル二乗誤差、すなわちノルムの計算が含まれる。このノルムは、評価されるモデルにおいて表現されるすべてのパラメータに対して割り当てられる。モデルが繰り返し評価されていくとともに、モデル評価の過程においてパラメータに割り当てられたノルムのすべての合計である累積ノルムが各パラメータに対して算出されていく。そのあと、各パラメータに割り当てられた初期値の重み付け平均である適応パラメータ値が各パラメータに対して算出されうる。

40

【 0 0 5 8 】

米国特許出願番号第10/419,582号に記載されているように、モデルセットコンポーネントはまた、複数のプロセス領域を定義する状態変数と、該複数のプロセス領域にグループ

50

分けされる複数のプロセスモデルとを有しうる。このケースの場合、プロセスモデルの各々はまた、複数のパラメータを有しており、各パラメータは、そのパラメータに割り当てられた一組の所定の初期値から選択される値を有している。上記領域の各々は、その領域に対して定義された（異なる）一組の標準パラメータ値を有しうる。この場合、モデル評価ブロック36は、モデルセット34内のプロセスモデルの出力とプロセス10の出力との間の差を表すモデル誤差信号を解析し、プロセスモデルに対応するモデル二乗誤差を算出し、このモデル二乗誤差をプロセスモデル内に表されるパラメータ値に帰属させうる。パラメータ/属性補間器38は、モデル評価ブロック36に通信可能に接続され、プロセスモデルにおいて表されているパラメータ（または、属性）に対して適応プロセスパラメータ値（または、モデル属性値）を算出する。

10

【0059】

いずれの場合であっても、いうまでもなく、モデル評価ブロック36は、誤差を最も小さくさせるように、モデルセット内のモデルの各々のパラメータ（または、他の属性）に対する重みを決定する。米国特許番号第6,577,908号に記載されているように、これらの重みは、異なるパラメータ値の各々により生成される誤差に対する寄与に基づいて算出されてもよい。さらに、米国特許番号第6,577,908号に記載されているように、算出されたパラメータは、その設計において想定される、中央パラメータ値 $p^k(a)$ ($k = 1, \dots, m$) とパラメータ変化の範囲とを含んだ新規のモデルセットを規定しうる。変更範囲は、 \pm %で規定されると都合がよければあいがある。その範囲内において、少なくとも二つのパラメータを定義する必要がある。実際的には、さらに二つのパラメータ、 $p^k(a) +$ % $p^k(a) / 100$ 、 $p^k(a) -$ % $p^k(a) / 100$ が、 $p^k(a)$ の前後に定義されうる。すべてのパラメータは、適応下限と適応上限とを定義しており、パラメータ $p^k(a)$ がその限界値を超えるような場合には、その限界値に戻される。もちろん、各モデルが最小限の数のパラメータにより表されることが好ましい。この技法を用いて数多くのプロセスをモデル化するのに、一次遅れ+むだ時間プロセスモデルが適していると思われる。

20

【0060】

パラメータに対する重み付けがモデル評価ブロック36により決定されたあと、パラメータ/属性補間ブロック38は、このモデル評価ブロック36により決定されたパラメータ重み付け値を用いて生成されるパラメータ値を有する新規のまたは適応されたプロセスモデルを定義すべく動作する。

30

【0061】

特定のプロセス出力に対し選択されたすべてのSISOモデルが適応されたあとは、次のプロセス出力が選択され、上記のプロシージャが、適応される必要があるとして選択されたSISOモデルのすべてに対しパラメータ補間が実行されるまで、繰り返される。そのあと、適応されたSISOモデルおよび適応されていないSISOモデルからなる多変数モデルは、すべての出力に対して別々に妥当性検査が行われうる。モデル妥当性検査ブロック40は、上記の妥当性検査プロシージャを実行し、その適応結果を受け入れるかまたは拒絶する。所望ならば、適応された多変数プロセスモデルが受理されるべきか否かを決定するために、二段階の判断基準を設定してもよい。この場合、適応されたモデルの出力誤差は、事前に定義された値よりも小さいことが必要であり、適応されたモデルの出力誤差は、現在のモデルの出力誤差よりも小さいことが必要である。いうまでもなく、現在のモデルと適応されたモデルとの分析には同一のデータセットを用いることが必要である。

40

【0062】

多変数モデルが妥当性検査をされ受理されたあと、必要ならば、モデル形式変更ブロック42は、適応されたモデルを、MPCコントローラにより実際に用いられている形式に変更してもよい。したがって、パラメトリックモデルは、（MPCコントローラにおいて通常そうであるように）MPCコントローラがステップ応答モデルを用いている場合には、ステップ応答モデルに形式変更されることが必要である。これに代えて、ステップ応答モデルは、MPCコントローラがパラメトリックモデルを用いている場合には、パラメトリ

50

ックモデルに形式変更されることが必要である。もちろん、形式変更されたモデルは、そのあと、プロセスモデルブロック14で使用されている現在の多変数プロセスモデル14aと交換すべく用いられる。この場合、多変数プロセスモデル14a全体を交換してもよいし、または適応プロシージャ中に実際に適応されたS I S Oモデルのみを交換してもよい。

【0063】

以上では、多変数プロセスモデル適応プロセスが記載されており、またそこで用いられるとともに米国特許番号第6,577,908号に記載されているS I S Oモデル適応プロセスが、パラメータ補間が実行されるパラメトリックモデルを用いるものとして記載されているが、本明細書に記載されている技法を用いると、ステップ応答モデルの如きノンパラメトリックモデルの形式のS I S Oモデルを使用して適応することも可能である。図4は、S I S Oモデル適応がノンパラメトリックモデルに対して実行されうる様式の一例となるノンパラメトリックステップ応答モデル50を示している。具体的にいえば、一または複数のモデルパラメータの値を所定量だけ変更することによりパラメトリックモデルを分析することに代えて、ノンパラメトリックモデルに関連するモデル属性は、適応プロセスにおいて検討されるさまざまなノンパラメトリックモデルを定義すべく、所定の方法で変更される。

【0064】

したがって、図4のステップ応答モデル50に関して、(図1の)モデルセット34に検討されるべきさまざまなモデルは、図4のステップ応答曲線の一部または全部にわたるその特定の性状または属性を変更することにより定義される。一例としては、図4の線52により示されているように、すべてのステップ応答係数において、同一の割合だけステップ係数値を増加または減少させることにより、さらに二つのステップ応答を定義しうる。この変更は、ステップ応答曲線のスケールリングの変更であるが、一次遅れ+むだ時間パラメトリックモデルのゲインを変更することと同等である。同様に、図4の線54により示されているように、図4のステップ応答内で出力応答を最初に見られる時間を時間的に左側または右側に移動することができる。このモデル属性の変更は、一次遅れ+むだ時間パラメトリックモデルのデッドタイムを変更(増加または減少)させることと同じである。さらに、ステップ応答の起きるポイントにおいて揺れ動く線により定義される値の右側または左側にステップ応答値を移動させることにより、見かけステップ遅れを変更することができる。すなわち、図4の線56により示されているように、応答曲線の傾斜を変更(増加または減少)することにより、さまざまな遅れ時間または応答時間を有するステップ応答を定義することができる。この変更は、一次遅れ+むだ時間パラメトリックモデルの時定数を増加または減少させることと同じである。

【0065】

このアプローチの利点は、当該アプローチにより、パラメータによって表すことができないような場合がある非常に複雑なS I S Oモデルの変更や適応が可能となり、それにより、ノンパラメトリックモデルまたは他の複雑なプロセスモデルを用いた多変数プロセスモデルの適応が可能となることである。もちろん、本明細書においてステップ応答曲線に対する三つの特定の変更が示されているが、本明細書に記載の適応プロセスに検討するさまざまなモデルを定義するために、ステップ応答曲線の他の属性に対する他の変更および、他のノンパラメトリックモデルの属性に対する同一の変更または異なる変更が適用されてもよい。さらに、いうまでもなく、ノンパラメトリックS I S Oモデル適応が本明細書において説明されたような属性変更を用いて実行される場合、図1の適応システム30は、モデル適応の実行のために、パラメータ設定値の代わりに属性設定値を内挿する。その結果、モデルセット34は、パラメトリックS I S Oモデルに対して前もって設定されたパラメータ値を格納・切り換えするのと同じの方法で、ノンパラメトリックモデルに対して適応を実行するとき二つ以上の異なる属性値を格納・切り換える。

【0066】

本発明は、当該発明の教示および例示を意図する実施形態の一例を参照して記載されているが、開示されている適応多変数コントローラはこれらの示威し形態に限定されるもの

10

20

30

40

50

ではない。当業者により、本発明の範疇から逸脱することなく、さまざまな変更、改良、および追加が加えられうる。

【0067】

たとえば、上述のように、コントローラ適応は、制御されるプロセスの数学的モデルの構築に用いられたパラメータまたは属性の統計的内挿を基づいている。このプロセスは三つのパラメータまたは属性により特徴付けされるし、これらのパラメータの各々は三つの値が割り当てられうるが、明らかに、開示されている適応多変数コントローラは、他のパラメータおよび/または異なる数のパラメータ（または、属性）を有すべく拡張されるように構成されており、各々のパラメータは異なる数の割り当て値を潜在的に有しうる。さらに、所望ならば、パラメータ/属性補間38は、モデル評価ブロック36により定義されるパラメータ重みまたは属性重みに基づいてパラメータまたは属性すべての間において内挿することに代えて、最も小さな関連付け誤差を有する二つのパラメータ間の如きパラメータ（または、属性）からなるサブセット間において内挿を行ってもよい。このようにすることにより、各SISOモデル適応に関連する内挿時間および演算回数が減少されうる。

【0068】

同様に、適応システム30は、パラメトリックモデルの全部のもしくは一部のパラメータに基づいて、またはノンパラメトリックモデルの全部のまたは一部の属性に基づいて適応させるように動作しうる。具体的にいえば、適応システム30は、適応プロセス中に、（モデルセット34内の）任意の特定のモデルに存在する一または複数の「重要な」パラメータまたは属性に対して焦点を当て、一または複数のその他のパラメータまたは属性には適応または変更を加えないことが可能である。このようなパラメータまたは属性を選択する技術を用いることにより、適応システム30が特定のSISOモデルを適応させるのに必要な時間を著しく削減することが可能となる。このことは、適応させる必要があるSISOモデルの数が大きい多変数プロセスにおいては重要なことである。

【0069】

さらに、モデル評価およびパラメータ補間が、モデルセット24、モデル評価ブロック36、スーパーバイザ32、パラメータ/属性補間器38、モデル妥当性検査ブロック40、およびモデル形式変更ブロック42として特定される個別のコンポーネントとして示されている。当業者にとって明らかなように、個別のコンポーネントへの分割はコントローラの実装および運転に関する責務を有する人により自由裁量されるものであり、また、これらの機能のすべてはいかなる所望の方法で実現されてもよい。さらに、本明細書に記載される適応多変数プロセス制御システムはソフトウェアにより実現されるのが好ましいが、その全部または一部が、ハードウェア、ファームウェアなどにより実現されてもよく、プロセス制御システムに関連するその他のプロセッサにより実行されてもよい。したがって、本明細書記載の要素は、標準型多目的CPUにより、またはたとえば特定用途向け集積回路（ASIC）もしくは所望な他のハードワイヤードデバイスの如き特別に設計されたハードウェアもしくはファームウェアにより実現されてもよい。ソフトウェアで実現される場合、該ソフトウェアルーチンは、磁気ディスク、レーザーディスク（たとえば、CD、DVDなど）、または他の記憶媒体などのコンピュータ読取り可能メモリに、コンピュータあるいはプロセッサのRAMまたはROMに、任意のデータベースなどに格納されてもよい。同様に、このソフトウェアは、たとえばコンピュータ読取り可能ディスク、スマートカードメモリ、または他の伝達可能なコンピュータ記憶メカニズム、または、電話回線、インターネットなどの通信チャネルを用いることを含む既知のまたは所望の伝達方法を介して、（上記の電話回線、インターネットなどの通信チャネルを用いて伝達することは、移動可能記憶媒体を介してかかるソフトウェアを伝達することと同様または相互交換可能であるとみなされる）ユーザまたはプロセスプラントへ伝達されてもよい。

【0070】

上記の特定のアプローチは本発明の上記実施例と実質的に変わらないと認められる。したがって、特許請求の範囲は、本発明の真の精神および範疇に該当するすべての変形、変更、および改良ならびにそれらと略均等なものを内包すると解釈されるのが正しい。した

10

20

30

40

50

がって、本明細書において詳細に記載されていないが、本発明の他の実施例であっても、特許請求の範囲に定義されている本発明の範疇内であると考えられる。

【図面の簡単な説明】

【0071】

【図1】プロセスモデルのパラメータまたは属性の補間に基づいて動作する適応多変数制御システムを示す機能ブロック線図である。

【図2】多入力多出力プロセスコントローラを示す概念図である。

【図3】一組の単一入力単一出力モデルが多入力多出力プロセスモデルの出力を生成すべく用いられうる一つの様態を示す概念図である。

【図4】ステップ応答モデルの如きノンパラメトリックモデルがモデル属性補間技法を用いて適応されうる様態を示すグラフである。

10

【符号の説明】

【0072】

8 制御システム

10 プロセス

12 MPC制御システム

14 プロセスモデルブロック

14a 多変数プロセスモデル

16 MPCコントローラ

18 ベクトル加算器

20

20 設定値予測ブロック、設定値予測ユニット

24 モデルセット

30 モデル適応ネットワーク、適応システム

32 スーパーバイザ

34 モデルセットブロック

36 モデル評価ブロック

38 パラメータ/属性補間、パラメータ/属性補間器

40 モデル妥当性検査ブロック

42 モデル形式変更ブロック

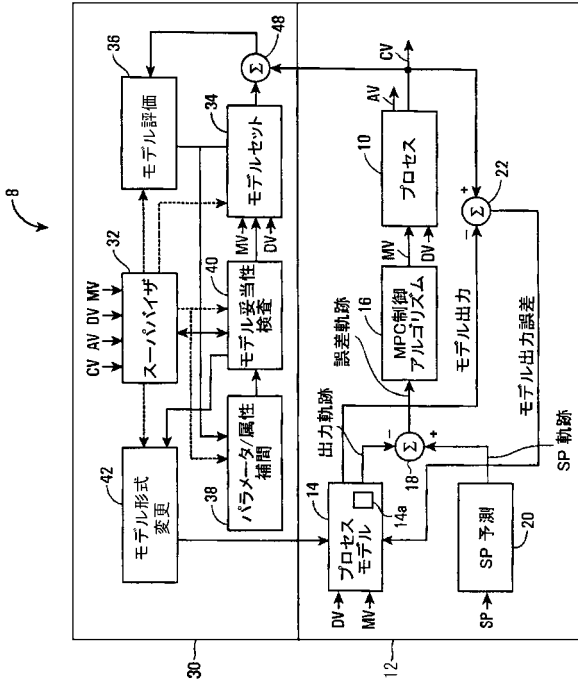
48 加算器

30

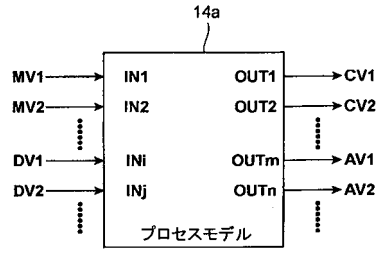
50 ノンパラメトリックステップ応答モデル

52、54、56 線

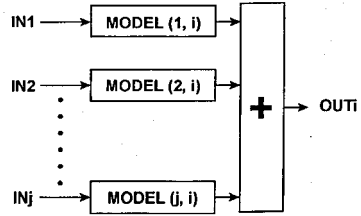
【 図 1 】



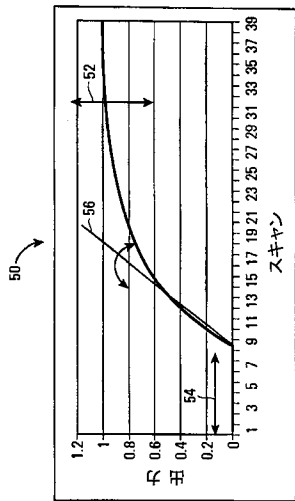
【 図 2 】



【 図 3 】



【 図 4 】



フロントページの続き

- (72)発明者 ウォジンス, ウィルヘルム ケイ.
アメリカ合衆国 78750 テキサス オースティン サンドストーン トレイル 11124
- (72)発明者 ブレピンズ, テレンス エル.
アメリカ合衆国 78681 テキサス ラウンド ロック カーメル ドライブ 3801
- (72)発明者 ニクソン, マーク ジェイ.
アメリカ合衆国 78681 テキサス ラウンド ロック ブラックジャック ドライブ 1503
- (72)発明者 ウォジンス, ピーター
アメリカ合衆国 78613 テキサス オースティン リトル エルム トレイル 2610

審査官 柿崎 拓

- (56)参考文献 特開平06-187004(JP,A)
特開平06-067704(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G05B 11/00-13/04