

モデル組み込み型知的制御システムによる構造変化への適応

Adaptive Control for Structural Change

by an Intelligent Control System Using Embedded Model

川名 絵里子 安信 誠二

Eriko Kawana Seiji Yasunobu

筑波大学 システム情報工学研究科

Graduate School of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba

Abstract: Safety and reliability improvement is an important for an automated system. As the approach to improve these, an adaptive control for characteristic and structural changing of a controlled object by an accident or a breakdown is demanded. An intelligent control system using embedded model has been proposed. It emulates the human capacity to adjust to a changing situation. It uses embedded model which learns the controlled object and restructures a control rule in real time. This intelligent control system can adapt to a controlled object which changes characteristic, it was confirmed. But by the breakdown and the accident, the structural change of the controlled object is also generated. In this paper, an enhancing intelligent control system using embedded model is applied to a controlled object which changes structure.

1 序論

近年、人手によって行われていた作業がコンピュータ化、自動化されつつある。自動化システムは人間に代わって危険な作業を行ったり、細かい作業を行ったりすることができるため、作業効率や安全の向上において貢献している [1]。

実際のシステムは劣化や故障などによって、システムの特性や構造が変化することがある。しかし、通常の制御方式では制御対象は不変であることが前提として設計されてきたため、自動化システムはこれらの変化に適応することは困難であり、制御性能の悪化から、かえって安全性を脅かすことが考えられる。自動化システムの安全性、信頼性を考慮した、制御対象の変化に適応できるシステムが課題となっている。

これまで著者らは、人間はいかなる状況の変化に対しても柔軟に適応した制御を行えることから、その適応制御手法を模擬し、対象モデルを組み込んだ知的制御方式 [2] を提案した。この方式は制御システムに順モデルを組み込むことによって、制御実行中に制御則を設計、この制御則に基づいて制御をする。このモデル組み込み型知的制御方式は、特性変化を有する制御対象に対して有効であることを確認した。

しかし、この方式で扱う制御対象の変化は、制御対象の特性変化を前提としており、適応できる場面はかなり限定されていた。ここでの特性変化とは制御対象の質量の変化など、入出力特性を決定するパラメータの変化である。このままでは、信号線の断線やセンサ故障など制御対象の状態が正確にフィードバックできない、というように構造変化に対しては適応が困難であった。

本稿では、このモデル組み込み型知的制御方式を拡張し、構造変化に適応可能なモデル組み込み型知的制御システムを提案し、有効性を検証する。構造が変化する制

御対象として制御性能の視認が容易な球体浮上装置に適用し、シミュレーション実験を行う。

2 制御対象の構造変化

本稿で扱う構造変化とは、信号線の断線やセンサ故障などによって制御対象の状態を返すフィードバックループに異常が生じる変化を想定している。構造変化が発生すると、同様の入力を加えても応答の特徴が大きく異なるため、構造変化が生じたシステムの制御を継続するのは困難である。この構造変化の例を図 1 に示す。

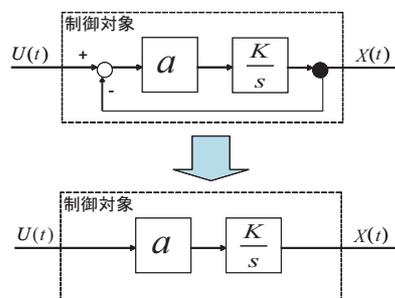


図 1: 本稿で扱う構造変化の例

3 構造変化に適応可能なモデル組み込み型知的制御システム

提案する構造変化に適応可能な制御システムの構成を図 2 に示す。

このモデル組み込み型知的制御システムは、制御則を設計する制御系設計パートと設計された制御則に基づいて対象を制御する制御系実行パートから成る。

3.1 制御系設計パート

制御系設計パートは、対象モデル学習部、制御則設計部から構成される。制御系設計パートは対象モデル学

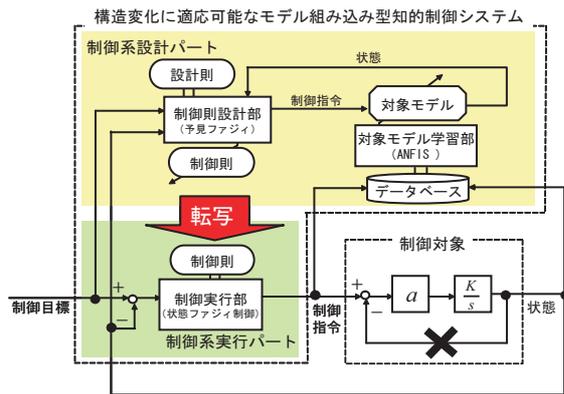


図 2: 構造変化に適応可能なモデル組み込み型知的制御システムの構成

習部によって対象モデルを構築し、このモデルに基づいて逐次、制御則を設計する。構造変化への適応のため、対象モデル学習部では adaptive neuro-fuzzy inference system(MATLAB / The MathWorks 社) (以下、ANFIS) を用い、制御対象の入出力関係を学習する。制御則設計部では、予見ファジィ制御方式 [3] により制御則を設計する。

以下にそれぞれの部分について、記述する。

3.1.1 対象モデル学習部

対象モデル学習部では、ANFIS を用いて制御対象の入出力関係を学習し、対象モデルを求める。制御実行前に初期対象モデルを設定し、制御実行中に入力値、出力値をデータベースに蓄積する。これを訓練データとして、一定時間毎に学習し、対象モデルを更新する。ANFIS によって、入出力関係を示すモデルパラメータが自動調整され、現在の制御対象の対象モデルを構築することができる。なお、ここでは対象の無駄時間 L は既知であることとする。

対象モデルの学習過程を図 3 に示す。

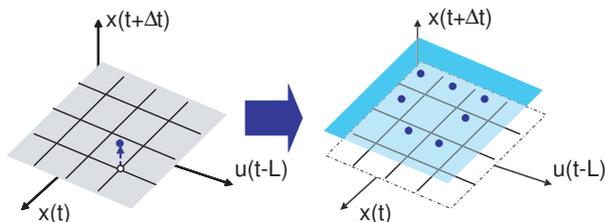


図 3: 対象モデルの学習過程

3.1.2 制御則設計部

制御則設計部では、対象モデル学習部で構築した対象モデルを基に、制御則を設計する。これは予見ファジィ

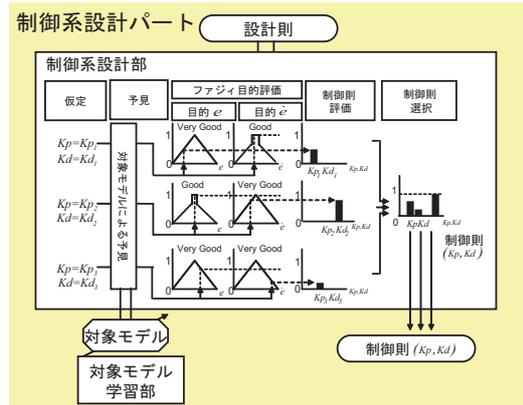


図 4: 制御系設計パートの制御則設計過程

制御方式 [3] によって実現している。

制御系設計パートの制御則設計過程を図 4 に示す。

予見ファジィ方式を用いて、いくつかの制御則候補を用意し、各候補値に対し、モデルを用いて予測計算を行い、算出した将来状態を制御目的に沿ってファジィ評価、最も評価の高かった候補を制御則として決定する。ここでは、対象モデル学習部にて先に求めた対象モデルを用い、制御則の各候補値に対する将来状態を算出する。この将来状態を制御目的「誤差・オーバーシュートを小さくすること(偏差 e が小さいこと)」と「制御目標への追従を早くすること(偏差の微分値 \dot{e} が小さいこと)」を基に評価する。そして、最も評価が良い状態を実現する候補値を制御則として選択する。これによって制御則を決定する。

3.2 制御系実行パート

制御系実行パートは制御実行部から構成される。制御系実行パートは状態評価ファジィ制御を行う。状態評価ファジィ制御は制御則に則った制御であるため、制御則によって異なる性能を持つ制御器となる。つまり、制御系設計パートで設計された制御則が転写されると、変動後の制御対象に対する制御器として機能する。

「目標値と状態の偏差 e 」と「偏差の微分値 \dot{e} 」を評価値とし、「もし現在の目標値とシステム状態の偏差 e が A_i 、偏差の微分値 \dot{e} が B_i ならば、制御指令を u を u_i とする」という、制御系設計パートから転写された制御則により制御指令を決定する。

4 シミュレーション実験

4.1 制御対象

制御対象として無駄時間を含む球体浮上装置を用いる。アクリル製のパイプ(高さ 0.6m) 内にピンポン玉が入っており、下のファンを駆動することによって風が発

生し、ピンポン玉が持ち上がる。ピンポン玉の高さはパイプの下に取り付けてあるレーザー距離センサを用いて測定する。

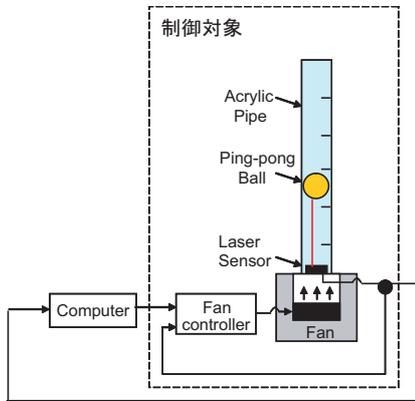


図 5: 球体浮上装置

装置の構成を図 5 に示す。

本論文ではこの装置をモデリングし、求めた伝達関数

$$G(s) = \frac{K}{1 + Ts} e^{-sL}$$

を用いる。この球体浮上装置は無駄時間を含む一次遅れ系であり、ゲイン K は 1.0、時定数 T は 1.52、無駄時間 L は 0.60 である。この伝達関数を用いて、シミュレーション実験を行う。

4.2 実験の概要

モデル組み込み型知的制御システムに球体浮上装置を適用し、シミュレーション実験を行う。

ピンポン玉をコンピュータから与えられた目標高さに追従させて一定に保つ制御を行う。目標高さを、60 秒を 1 周期として 0.1m と 0.5m の交互にとる。

構造変化として、105 秒後に Fan Controller ヘフィードバックする信号線を切断し、応答を検証する。これを伝達関数で表すと

$$G(s) = \frac{1.0}{1 + 1.52s} e^{-0.60s}$$

から

$$G(s) = \frac{0.66}{s} e^{-0.60s}$$

へ変化することとなる。

ここで実験条件として、無駄時間は既知であり、かつ変化しないこととする。

4.3 実験結果

制御パラメータを固定 (比例ゲイン $K_p=0.8$; 微分ゲイン $K_d=0.5$) した PD 制御器の制御結果を図 6 に示す。

構造変化が発生すると、大きく振動し、その振動が続いてしまう。この PD 制御器では、構造変化発生後に制御を継続するのは困難であることがわかる。

対象モデル学習部が機能しない場合の制御結果を図 7 に示す。対象モデル学習部が機能しないため、対象モデルが固定であるが、制御則の更新によって、構造変化が発生後、少し振動は抑えられる。

次に、対象モデル学習部が機能するモデル組み込み型知的制御システムによる制御結果を図 8 に示す。105 秒後に構造変化が発生すると、初めは振動するが、しばらくすると目標値に追従している。60 秒毎に対象モデルを更新し、これを用いて制御則を再設計しているため、この知的制御システムでは構造変化に適応した制御をしている。

また、構造変化発生直後 (105 秒時) と発生から 135 秒経過後 (240 秒時) の対象モデルを図 9 と図 10 に示す。制御対象の構造変化発生後、入出力値を学習し、対象モデルが変化していることがわかる。

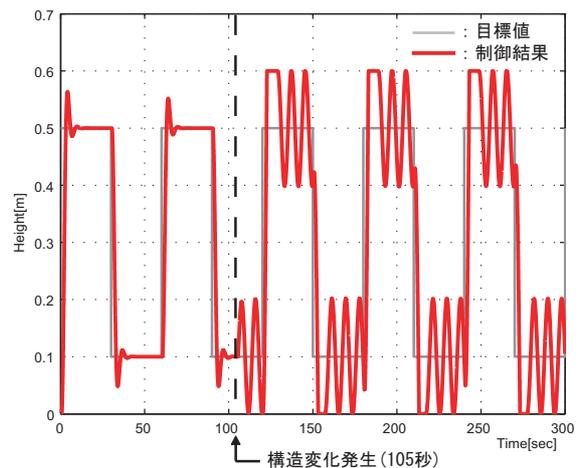


図 6: PD 制御器 ($K_p=0.8; K_d=0.5$) の制御結果

これらの結果より、構築した知的制御システムは、構造変化後、対象モデルを学習し、再び目標値に追従しており、制御対象の構造変化に適応した良好な制御を行っていることが確認できた。

5 結論

本稿では、構造変化に適応可能なモデル組み込み型知的制御システムを提案し、制御対象の構造変化に対し有効であることを確認した。

この知的制御システムは対象モデルが組み込まれており、制御実行中に制御対象の入出力関係を学習し、対象モデルを更新する。この対象モデルを基に制御則を設計する。そして、この設計された制御則に従った制御

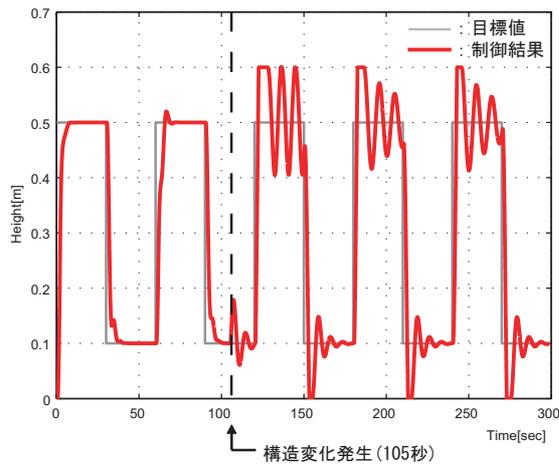


図 7: 対象モデル学習部が機能しない場合の制御結果

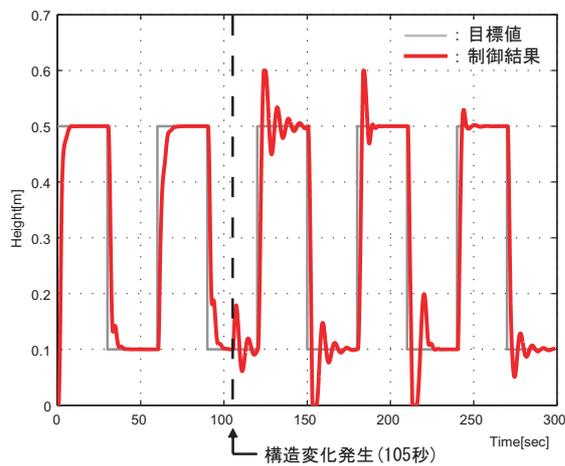


図 8: 対象モデル学習部が機能するモデル組み込み型知的制御システムによる制御結果

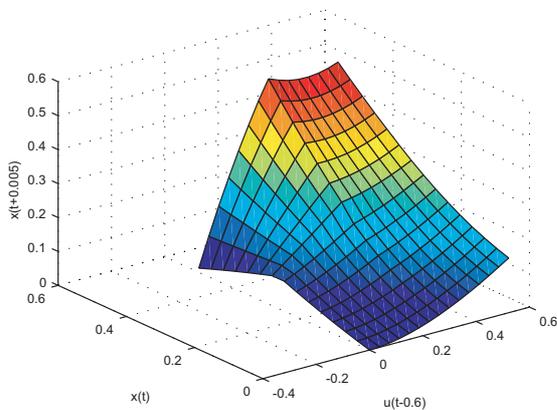


図 9: 構造変化発生直後 (105 秒時) の対象モデル

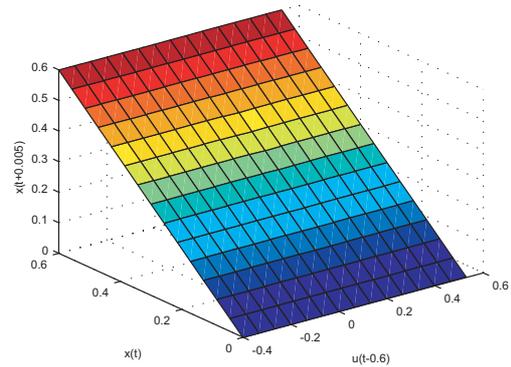


図 10: 構造変化発生から 135 秒経過後 (240 秒時) の対象モデル

を行う。これによって、制御対象の構造が変化しても、適応制御が可能となる。

この知的制御システムを球体浮上装置に適用し、シミュレーション実験を行った。その結果、モデル組み込み型知的制御システムは制御対象の構造変化に対してうまく適応し、良好な制御ができることを確認した。これによりモデル組み込み型知的制御システムは構造変化に対して適応可能であり、システムの安全性・信頼性の向上につながると思う。

今後の課題として、実機実験を行い、計測ノイズやシミュレーション誤差を含めた検討を進め、この知的制御システムの有効性を実証する。

参考文献

- [1] 伊藤誠: 「信頼されすぎない高信頼度なシステムへ」, 日本信頼性学会誌, Vol.25, No.4, pp.354-360, 2003
- [2] 川名絵里子 安信誠二: 「パラメータ変動を考慮したモデル組み込み型知的制御システムの構築」, 第 35 回知能システムシンポジウム資料, pp71-74, 2008
- [3] 安信誠二: 「ファジィ工学」, pp.1-177, 昭晃堂, 1991

連絡先

川名 絵里子

E-mail: kawana_ics@edu.esys.tsukuba.ac.jp