

2029制御対象の入出力静特性を用いた一制御法

東京医科歯科大学 萩原 健爾, 若松 秀俊
東亜医用電子(株) 梅垣 育裕

A control method of a linear system using its input-output static characteristics.

K. Takahara^{*} and H. Wakamatsu^{*}
Y. Umegaki^{**}

^{*} Faculty of Medicine, Tokyo Medical and Dental University, Yushima, Bunkyo-ku Tokyo 113, Japan
^{**} Toa medical electronics Co. Ltd., Takatsukadai, Nishiku, Kobeshi, Hyogo, 651-22, Japan

ABSTRACT An asymptotically stable linear system has a settling output for bounded step input. The pairs of step inputs and their corresponding settling outputs locate on the same straight line, which is named input-output static characteristics. Here, a control method is proposed, which is based on an adaptive estimation of an input-output static characteristics by least squares method. The proposed method is confirmed good enough through simulation experiments of controlling first order lag systems. This is basically applicable to the control of asymptotic stable nonlinear systems, only substituting above characteristics by input-output static characteristic curves obtained in a similar way.

1. はじめに

本研究では、制御対象が一次遅れで近似できるような特性を持つときに、その入出力静特性に注目した数学モデルを用いて制御対象を同定、制御する方法を提案する。さらに、その手法を用いて一次遅れ系に対して適応制御系を構成し、シミュレーション実験を行い、その性能を検討した。

2. 制御系の構成

2.1 一次遅れ系の入出力静特性¹⁾²⁾³⁾

制御対象の伝達関数を次の(1)式で表される一次遅れ系とする。

$$G(s) = K/(1+Ts) \quad (1)$$

この制御対象の出力の初期値を $y(0) = y_0$ として、ステップ入力を加えたときの出力はその入力に対応して整定する。この入力と対応する出力の整定値を入出力平面にプロットするとFig. 1のような直線が描ける。以下、この直線を入出力静特性直線と呼ぶ。この直線は、

$$y = Ku + y_0 \quad (2)$$

として表される。

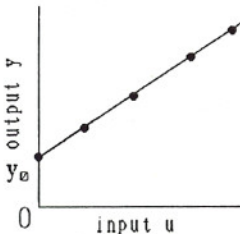


Fig. 1 入出力静特性直線

2.2 制御則

2.1で述べた入出力静特性直線上で目標値 r を定めると、それに対応した入力がただひとつ決定される。これはすなわち、出力の目標値に対応する入力を与えることができれば、目標値を実現できることである。この際、制御入力は入出力静特性直線を用いて(3)式のように与えられる。

$$u = (r - y_0)/K \quad (3)$$

したがって、入出力静特性を示すパラメータ y_0 および

K が求まれば、制御入力を決定できる。以下では、これらのパラメータを求める手順について述べる。

2.2 入出力静特性直線の推定

時刻 k において入出力静特性を表すために必要な m 次の入出力ベクトル

$$\begin{aligned} \hat{y}(k) &= [y_1(k) \cdots y_m(k)]^T \\ u(k) &= [u_1(k) \cdots u_m(k)]^T \end{aligned} \quad (4)$$

が得られているとする。ここで、 $u_i(k)$ および $y_i(k)$ ($i=1, \dots, m$)はそれぞれ時刻 k までの入出力データのうち、以下に示す最小2乗法に基づく方法⁴⁾で選んだ入出力静特性を表すのに十分と考えられる入出力の組である。

これら入出力ベクトルを用いて、(2)式を記述すると

$$y(k) = Ku(k) + y_0 \quad (5)$$

となる。ただし、 $n = [1, \dots, 1]^T$ である。このとき、制御対象の入出力静特性を順次推定するために上記の入出力ベクトルを用いて、推定すべき入出力静特性を

$$y(k) = \hat{a}_0(k)n + \hat{a}_1(k)u(k) + e(k) \quad (6)$$

と仮定する。ここで、 $e(k)$ は残差ベクトルである。このとき、未知のパラメータ $\hat{a}_0(k)$ 、 $\hat{a}_1(k)$ は

$$w_0^T(k) \cdot y(k) = \hat{a}_0(k) \quad (7)$$

$$w_1^T(k) \cdot y(k) = \hat{a}_1(k) \quad (8)$$

として決定される。ただし、 w_0, w_1 は以下のような条件を満たすベクトルである。

$$w_0^T(k) \cdot n = 1, w_0^T(k) \cdot u(k) = 0, w_0^T(k) \cdot e(k) = 0 \quad (9)$$

$$w_1^T(k) \cdot n = 0, w_1^T(k) \cdot u(k) = 1, w_1^T(k) \cdot e(k) = 0 \quad (10)$$

(9)および(10)を(6)に代入すると、数学モデルの出力

$$\hat{y}(k) = (w_0^T(k) \cdot y(k))n + (w_1^T(k) \cdot y(k))u(k) \quad (11)$$

が得られる。(11)を成分表示すると、

$$y_1(k) = \sum_{j=1}^m h_{1j}(k)y_j(k) \quad (12)$$

のように表すことができる。ただし、

$$h_{1j}(k) = \sum_{j=1}^m \{w_{0j}(k) + w_{1j}(k)u_1(k)\}y_j(k) \quad (13)$$

であり、この h_{1j} によって構成される行列はハット行列³⁾⁴⁾と呼ばれる。特に、 $i=j$ のとき、 $h_{11}(k)$ は $y_1(k)$ に $y_1(k)$ がどれだけの影響を与えているかを示している。

したがって、 $h_{11}(k)$ の値を検討することにより、入出力

静特性を表すには不適当なデータを選び出すことが可能となる。

2.1および2.2で述べた手法を用いてFig. 2の適応制御系を構成した。

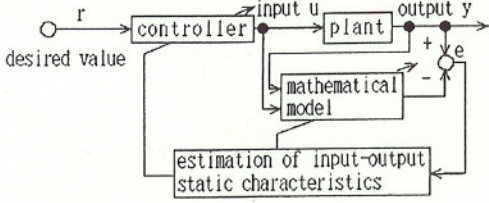


Fig. 2 制御系のブロック線図

3. シミュレーション実験

制御対象として次の伝達関数で表される一次遅れ系を考える。

$$G(s) = K/(1+Ts) \quad (14)$$

(14)で $K=1, T=1$ として、サンプリング間隔 $\tau=1[\text{sec}]$ で離散化して制御系を構成し、シミュレーション実験を行った。この際目標値は周期30サンプリング、振幅 ± 1 の矩形波を選んだ。

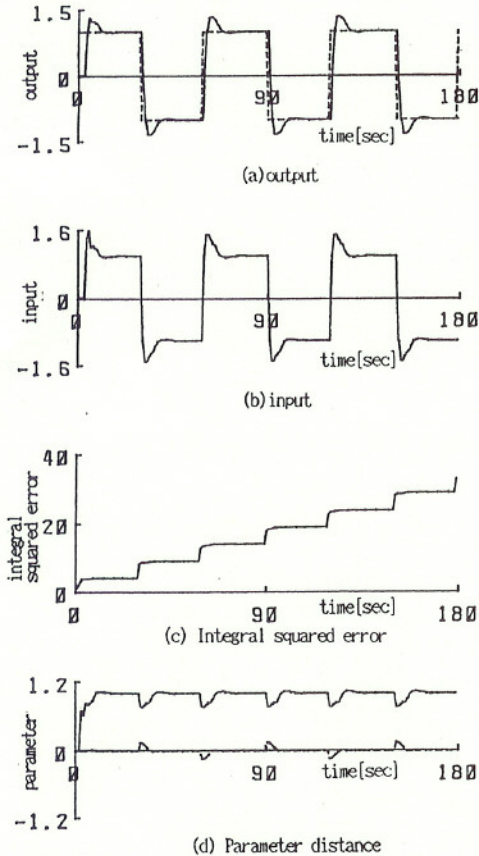


Fig. 3 シミュレーション実験の結果($K=1, T=1$)

Fig. 3に示した制御結果より、制御対象の出力は目標値にほぼ追従していることがわかる。また、パラメータ a_0 および a_1 は、目標値が変化するのに伴い、30ステップごとにわずかに真値からずれるものの速やかに真値 $a_0=0, a_1=1$ にそれぞれ収束している。したがって、制御対象の入出力静特性を示す簡単な数学モデルを用いて制御できることが確かめられる。

4. おわりに

制御対象が一次遅れ系で近似できる場合に、簡単な数学モデルを用いて適応制御する方法を提案した。本研究では、制御対象として一次遅れ系を選んだが、二次系の制御対象についても、安定な系であれば直線に幅をもたすことにより拡張可能であると考えられる。また、入出力静特性が二次関数など曲線で表される場合にも拡張することができると考えられる。しかしながら、サンプリング周期の選び方によっては、パラメータ A_0, A_1 が大きく変動して制御系全体が不安定に陥り、十分に制御できないことがあり、今後の検討が必要である。

参考文献

- 1) 梅垣育裕, 若松秀俊, 高原健爾: 入出力静特性曲線を用いた制御系の設計. 医用電子と生体工学, 31, 114, (1993).
- 2) 梅垣育裕, 若松秀俊, 高原健爾: 呼吸静特性曲線を用いた肺胞気炭酸ガス濃度の制御. 医用電子と生体工学, 31, 114, (1993).
- 3) Wakamatsu H.: Comparison of control performances in artificial respiration by different adaptive methods using programmable respirator. Proc. IFAC 12th World Congr., to appear, (1993).
- 4) 奥村晴彦: パソコンによるデータ解析入門. 技術評論社, (1986).