

UDC 681.532.8'112.2'167.7'272

ショートノート

オブザーバを用いたデッドビート制御 に関する一考察

片桐 敏昭 川崎 晴久

片桐敏昭：正員 電電公社茨城電気通信研究所

川崎晴久：正員 電電公社武蔵野電気通信研究所

A Consideration on Dead-Beat Observer Control of Motor Positioning Systems. By Toshiaki KATAGIRI, Member (Ibaraki Electrical Communication Laboratory, N.T.T., Ibaraki-ken, 319-11 Japan) and Haruhisa KAWASAKI, Member (Musashino Electrical Communication Laboratory, N.T.T., Musashino-shi, 180 Japan).

あらまし オブザーバを用いて未来の制御入力を推定し、この入力が飽和しないとき、比例微分制御からデッドビート制御に切り換える制御法を提案した。

1. まえがき

デッドビート制御を用いれば、有限時間で誤差あるいは出力が零に戻る理想的な応答が得られる。本制御の応用例として、コイルの電流制御⁽¹⁾等がある。一般に、本制御の問題点は、極めて大きな制御入力が必要となることである。また、飽和離散値系において、系を最小サンプリング数で平衡状態にもっていく最適制御列を事前に求めておく方法がある。この制御の問題点は、実際の制御において、初期値誤差があるときや系に外乱が加わるとき、実際に必要な制御入力と相異なることである。

本報告では、現時点の次のサンプル時点の制御入力をオブザーバで推定し、この推定値に基づき比例微分制御からデッドビート制御に切り換える制御法を提案し、実際の位置決め系においてその有効性を検討した。

2. 電動機の位置決め制御系

剛体負荷をもつ電動機の位置決め制御系は、時間を機械的時定数 τ_m で、角度を位置決め角 z_0 で、入力電圧を $\tau_m/(z_0 K_E)$ (K_E は誘起電圧定数) で無次元化し、さらにサンプル時間 τ で離散化すると次のようになる。

$$x(i+1) = Ax(i) + bv(i) \quad (1)$$

$$v(i) = -Kx(i) \quad (2)$$

$$y(i) = Cx(i) \quad (3)$$

但し、 $x = (x_1, x_2)^T$ は状態量 (x_1 : 角度, x_2 : 角速度), v は入力, y は出力で, A, b, C はそれぞれ

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 1-e^{-\tau} \\ 0 & e^{-\tau} \end{pmatrix} \quad \left. \begin{aligned} b &= (\tau-1+e^{-\tau}, 1-e^{-\tau})^T, \quad C = (1, 0) \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

となる。また、オブザーバは次のように構成した。

$$\hat{x}(i+1) = A\hat{x}(i) + bv(i) + L[y(i) - C\hat{x}(i)] \quad (5)$$

ここで、 $\hat{x}(i)$ は $x(i)$ の推定値, L はオブザーバのゲイン行列である。いま、 z 平面における極配置を 2 根共 λ とし、安定条件より $|\lambda| < 1$ の場合を考える。このとき、フィードバックゲイン K は、

$$K = \frac{1}{-(1-e^{-\tau})^2 \tau} \cdot \left(\frac{-(1-e^{-\tau})(\lambda-1)^2}{(\tau-1+e^{-\tau})\lambda^2 - 2(e^{-\tau}\tau + e^{-\tau}-1)\lambda + e^{-2\tau}\tau + e^{-\tau}-1} \right)^T \quad (6)$$

となり、また、デッドビートオブザーバとなる L は、

$$L = (1+e^{-\tau}, e^{-2\tau}/(1-e^{-\tau}))^T \quad (7)$$

となる。なお、以上の T は転置行列を示す。

3. 極配置方法

入力が飽和 V_s がある場合の比例微分制御について考える。(2)式を(1)式に代入すれば、 x_1 が目標移動量の 5% 以内に入るまでの整定時間を求めることができる。図 1 に、 $\tau = 0.19$ (後述する実験条件) の場合について、 V_s をパラメータにして、極配置と整定時間の関係を示す。但し、図 1、図 2 共 λ は 0.05 ステップで計算した。一般に、入力飽和があり、かつ λ が小さいとき系は振動的になり、一方、 λ が大きいとき過減衰の状態となるため、整定時間は長くなる。したがって、ある一定範囲の V_s に対しては、整定時間を最小とする λ が存在する。図 2 に、 V_s をパラメータにして、整定時間を最小とする λ の下限値と τ の関係を示す。但し、 τ は、 $0.05 \leq \tau \leq 0.5$ では、0.05 ステップで計算した。

4. 比例微分制御とデッドビート制御の切換制御法

図 3 に、制御入力が装置的に $V_s = \pm 3.6$ 以内に制限され、かつ $\tau = 0.19$, $\hat{x}_1(0) = 0$ の場合について、デッドビート制御による電動機の位置決め実験結果を示す。但し、 $z_0 = \pi(\text{rad})$, $\tau_m = 0.0526 \text{ s}$, $K_E = 0.0741 \text{ V}/(\text{rad/s})$ である。図 3 から、 $|x_1| \leq 0.05$ となるサンプリング数は 10 であることが分る。なお、推定値 \hat{x} は実測値 x とよく一致した。

この振動的な応答を回避するため、図 4 に、「現時点の制御入力 $v(i)$ とオブザーバで推定した次のサンプル時点の制御入力 $v(i+1)$ が共に飽和しないこと、かつオブザーバから正しい推定値を得るため、 $i \geq 2$ であること、の 2 条件を満足する場合に、比例微分制

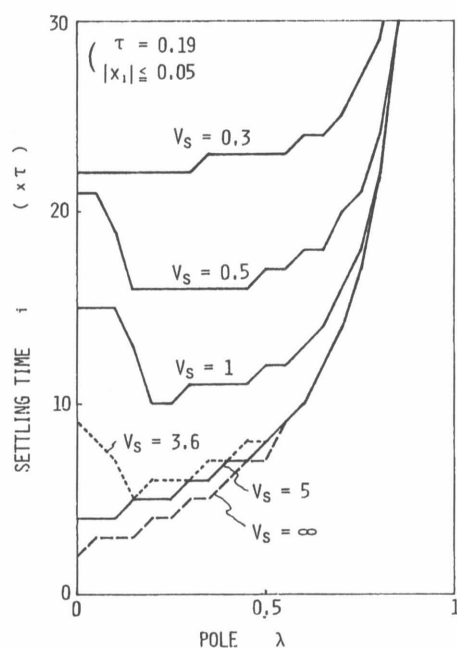


図1 極配置と整定時間
Fig.1-Relationship between pole assignment and settling time.

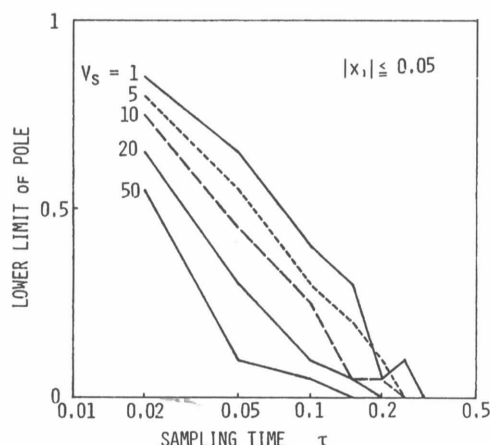


図2 サンプル時間と極の下限值
Fig.2-Relationship between sampling time and lower limit of pole.

御からデッドビート制御に切り換える制御法」による実験結果を示す。但し、制御入力 $v(i)$ は、 $|v(i)| \geq V_s$ のとき $v(i) = \pm V_s$ 、 $|v(i)| < V_s$ でも上記2条件を満足しないとき $v(i) = -K_{pd} \cdot x(i)$ とした。 K_{pd} は $\lambda = 0.3$ として(6)式から求めた。図4から、サンプリング数5からデッドビート制御に切り換わり、サンプリング数6で $|x_1| \leq 0.05$ 内に整定していることが分る。但し、 x_1 が目標値に達した直後に完全に整定していないのは、電動機の摩擦とコギングトルクの影響と考えられ、両者の合計は回転開始時約 $360 \text{ gf} \cdot \text{cm}$ で最大トルクの 7.5% であった。

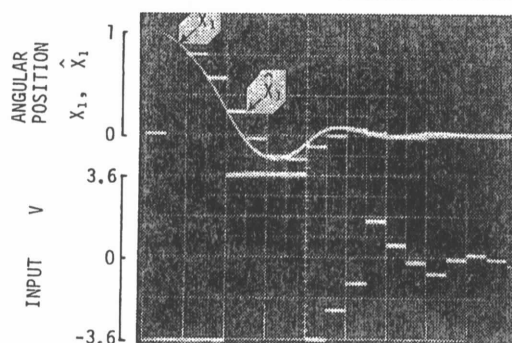


図3 デッドビート制御
Fig.3-Dead-beat control under saturated input.

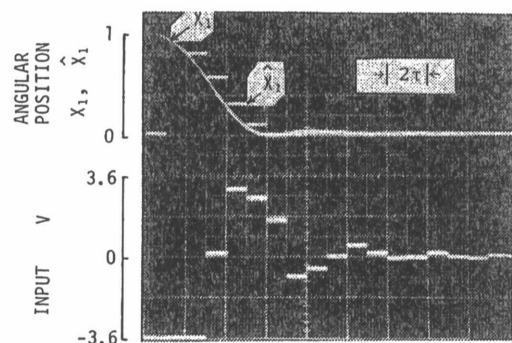


図4 切換制御
Fig.4-Switching control.

比例微分制御 ($\lambda = 0.3$) だけの場合と比較して、図3と4のように、デッドビート制御を用いた場合には、定常偏差は数分の1以下となり、回転角検出分解能に近い値が得られた。

したがって、本切換制御法では、サンプル時間を短くとることができ、また、初期値誤差があっても、系に外乱が加わっても効率のかつ円滑に切り換わり、特に、制御量が目標値近傍にある場合にデッドビート制御の長所と最大制御入力を利用できるため、高速で振動の極めて小さい応答、かつ摩擦力に対して高精度な制御結果を実現できる。

5. むすび

オブザーバを用いたデッドビート制御の応用に関して、比例微分制御からデッドビート制御に切り換える制御法が有効に作用することを示した。

謝辞 本研究を進めるにあたり、御助言を頂いたもと横須賀電気通信研究所中川特別研究室長および武蔵野電気通信研究所技術協力部坂本調査役に感謝する。

文 献

- (1) 高橋 勲: “核融合炉垂直磁界コイル用高速サイリスタ電源の電算機制御法”, 電学論, 99, 1, pp. 62-68 (1979).

(昭和59年2月1日受付, 5月1日再受付)