

むだ時間を考慮したデュアルサンプリングレートオブザーバを用いたカメラの長周期位置信号によるリニア同期モータの力学的状態量推定

学生員 鈴木 武海 正員 古関 隆章 (東京大)

Dynamic State Estimation of a Linear Synchronous Motor by a Long-period Position Signal Obtained by a Camera Using a Dual-sampling-rate Observer with Consideration of Dead Time

Takeomi Suzuki, Student Member, Takafumi Koseki, Member (The University of Tokyo)

To control the position of a linear synchronous motor (LSM), position and speed signal obtained by a linear encoder must be feed back to the controller, which restricts adaptable mover design. Instead of a linear encoder, using a camera and image processing to obtain position signal provides a light and compact mover. However, the signal period of a camera is very long compared to the control period and dead time of image processing makes the control unstable. To overcome these difficulties, this paper suggests a dual-sampling-rate observer with consideration of dead time to estimate the dynamic state of an LSM.

キーワード : オブザーバ, 状態推定, むだ時間, カメラ, 位置制御

Keywords : Observer, state estimation, dead time, camera, position control

1. 始めに

リニア同期モータ(LSM)は産業分野を始め幅広く応用されているモータである。通常、LSMの位置制御はリニアエンコーダにより取得された位置信号を制御器にフィードバックすることで行われるが、リニアエンコーダは可動子の自由な設計を妨げる。そこで、リニアエンコーダの代わりに汎用のカメラで可動子を撮影し、映像を画像処理することにより位置信号を取得すれば、より小型軽量の可動子を実現できる。しかし、カメラの映像の周期約33msecであり制御周期に比べて非常に遅く、また画像処理によるむだ時間の影響も無視できない。本論文ではデュアルサンプリングレートオブザーバ⁽¹⁾をさらにむだ時間を考慮した形に改良することにより、カメラからの長周期の信号をもとに可動子の位置・速度などの力学的状態量を正しく推定し、制御器のフィードバック信号として用いることを提案する。

2. 提案するオブザーバの構成

〈2・1〉デュアルサンプリングレートオブザーバの構成と状態量推定 デュアルサンプリングレートオブザーバは、もともと低分解能エンコーダしか搭載できないような環境下でモータの位置制御を行うために、瞬時速度オブザーバ⁽²⁾を基礎として考えられたものである。状態空間法による記述を用いることで汎用性を高め、またオブザーバゲインの決定法を工夫することによりパルスが極めて疎であっ

ても安定した状態量推定を行うことを可能にした。

以後、制御周期として T_2 を、位置信号周期として T_1 (ただし $T_2 < T_1$)を置く。またこれらの比を $N = T_1 / T_2$ とし、便宜上 N は整数であるとする。

デュアルサンプリングレートオブザーバの構成を Figure 1 に示す。実システムが状態空間表現されているとき、各行列を T_2 で離散化したものを A_2, B_2, C_2 としている。また z_2 は離散化周期 T_2 でのZ変換子である。このオブザーバは測定可能な入力 u (今回の場合は電流値から計算した推力)をもとにして T_2 ごとに実システムの状態量の推定値を計算する。しかし、モデル化誤差や初期値の違いで推定値が発散

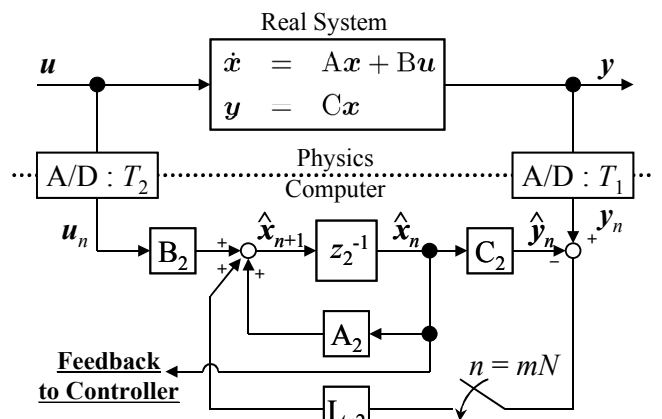


Figure 1. The structure of a dual-sampling-rate observer

しないようにするために、 T_1 に1回得られる実システムの出力（今回は位置）と推定出力との差をゲイン L_{p2} をかけて推定値に足しこむことで訂正を行っている。これを式で表すと、

$$\hat{x}_{n+1} = \begin{cases} A_2 \hat{x}_n + B_2 u_n + L_{p2}(y_n - \hat{y}_n) & n = mN \\ A_2 \hat{x}_n + B_2 u_n & \text{otherwise} \dots(1) \end{cases}$$

$$\hat{y}_n = C_2 \hat{x}_n$$

であり、また位置信号にあわせて T_1 ごとに1回推定値を計算する通常の構成のオブザーバを考え、これが安定して推定を行えるように設計したオブザーバゲインが L_{p1} であったと置くときに、

$$L_{p2} = (A_2^{N-1})^{-1} L_{p1} \dots \dots \dots (2)$$

とデュアルサンプリングレートオブザーバのゲインを定めることにより、通常のオブザーバと極を同じ位置に配置することができ、安定した推定が行える。

〈2・2〉 提案するむだ時間を考慮したデュアルサンプリングレートオブザーバ ここで位置信号を得るための画像処理が手間取り、位置信号が kT_2 だけ遅れて得られるとする。これは位置 y_0 による誤差の訂正が x_{k+1} の推定値から有効になる場合に相当する。

これを式で示すと次のとおりである。

$$\hat{x}_{n+1} = \begin{cases} A_2 \hat{x}_n + B_2 u_n + L'_{p2}(y_{mN} - \hat{y}_{mN}) & n = mN + k \\ A_2 \hat{x}_n + B_2 u_n & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\hat{y}_n = C_2 \hat{x}_n \dots \dots \dots (3)$$

ここでオブザーバゲイン L'_{p2} は、先ほどの L_{p1} に対して

$$L'_{p2} = (A_2^{N-k-1})^{-1} L_{p1} \dots \dots \dots (4)$$

と指定することに、やはり極を通常のオブザーバと同じ安定な位置に指定することができる。

3. LSM の制御シミュレーション

〈3・1〉 可動子のモデル化 本来はデュアルサンプリングレートオブザーバは様々な制御対象に用いることができるが、今回は簡単な例として Figure 2 のようなモデルを考えた。推定する力学量は可動子の位置・速度に加えて、外乱力を含む形とした。外乱力の推定を行い制御に用いることで、外乱力に強い位置制御になることが期待できる。

〈3・2〉 シミュレーション シミュレーションでは、制御周期 $T_2 = 0.001\text{sec}$ 、位置信号周期 $T_1 = 0.033\text{sec}$ と置き、また位置信号のむだ時間として $24 T_2 = 0.024\text{sec}$ を挿入し

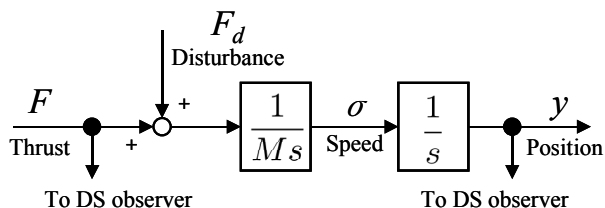


Figure 2. The model of the mover of an LSM

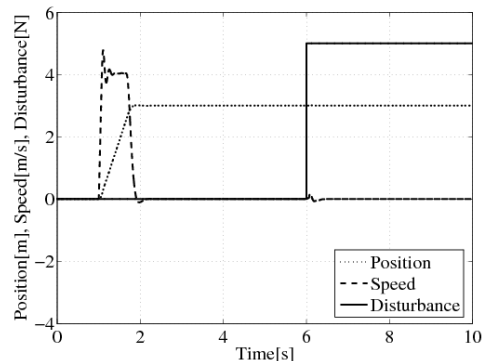


Figure 3. The real state of the mover on a control simulation

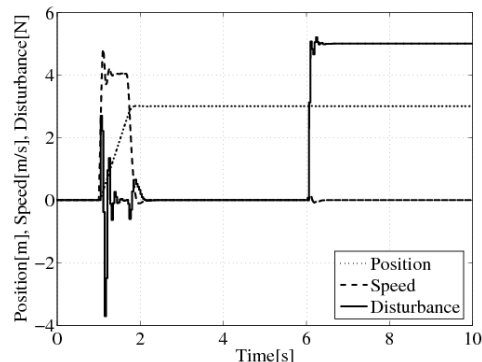


Figure 4. The estimated state of the mover on a control simulation

て、デュアルサンプリングレートオブザーバによる推定状態量をフィードバックすることによる位置制御シミュレーションを行った。

シミュレーションによる実際の位置・速度・外乱力を Figure 3 に、そのデュアルサンプリングレートオブザーバによる推定値を Figure 4 に示す。いずれの状態量も適切に推定され、結果として安定した位置応答と外乱力に対するロバスト性を実現できた。尚、外乱力の推定値がぎざぎざしているのは、カメラから 33msec に1回送られる位置信号のみでその値を更新しているためである。

4. まとめ

デュアルレートサンプリングオブザーバをむだ時間を考慮できるように改良しシミュレーションで動作を確認することにより、リニア同期モータのカメラによる位置検知を基にした位置制御の可能性を示せた。今後は画像処理法や量子化誤差を検討したうえで、実機を用いた制御実験を行う予定である。

文 献

- (1) Lilit Kovudhikulrungsri, and Takafumi Koseki: "Precise Speed Estimation From a Low-Resolution Encoder by Dual-Sampling-Rate Observer," IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, Vol.11, No.6, December 2006, pp.661-670
- (2) Sin-ichiro Sakai, and Yoichi Hori: "Ultra-low Speed Control of Servomotor using Low Resolution Rotary Encoder," Proceedings of the 1995 IEEE IECON 21st International Conference on Industrial Electronics, Control, and Instrumentation, 1995, pp.615-620