誘導機ベクトル制御系における速度制御器の ファジー推論型オートチューニング

正 員 三 木 一 郎 (明治大)
正 員 高 橋 俊 次 (明治大)
学 生 員 熊 野 達 夫 (明治大)

Fuzzy Reasoning-Based Automatic Tuning for Speed Controller in a Vector-Controlled Induction Motor Drive

Ichiro Miki, Member, Shunji Takahashi, Member, Tatsuo Kumano, Student Member (Meiji University)

キーワード：オートチューニング，PIコントローラ，ファジー推論，ベクトル制御

1. ま え が き

誘導機ベクトル制御系の速度制御器として，通常PIコントローラがよく用いられる。これはその簡便さと正確さの理由による。しかし，電動機の負荷や系の慣性が変わった場合にはこれらのゲインを再調整する必要にせまられる。

本研究では，コントローラ的设计理論をあらかじめ熟知していなくとも，これらのゲインをファジー推論⁽¹⁾に基づき，オフラインで自動的にチューニングできる方式を考案したので報告する。

2. ファジー推論によるオートチューニング

本システムはベクトル制御系⁽²⁾に付加され，全体の構成は図1となる。同図のPIコントローラは次式によりトルク指令値 T_e^* を出力する。

$$T_e^*(m) = T_e^*(m-1) + K_p \dot{E}_r(m) + K_i E_r(m) \quad (1)$$

ここで， E_r は速度指令値 ω_r^* と電動機実速度 ω_r との偏差を表し， $\dot{E}_r$ はその変化分を表す。 K_p ， K_i および m はそれぞれ比例，積分ゲイン定数およびサンプリング回数を表す。また，通常 T_e^* はトルクリミットにより制限され，本研究ではこのリミット値 T_1 を電動機定格トルクの約2倍としている。

任意の K_p ， K_i に対する電動機速度ステップ応答を， $\dot{E}_r$ を横軸に E_r を縦軸とするファジールール平面に示すと図2(a)になる。図中の破線で表された部分はトルクリミット値が発生していることを示す。また，同図の直線Aは(1)式において，トルク指令値

の偏差 $\Delta T_e = T_e^*(m) - T_e^*(m-1)$ を0とすれば得られ，簡略化して示すと次式になる。

$$\dot{E}_r = -(K_p/K_i) \dot{E}_r \quad (2)$$

コントローラが T_1 以外の値を初めて発生する点 P_0 は，同図と(2)式より明らかなように K_p/K_i の値により決定されることがわかる。また，点 P_1 ， P_2 は良好な速度ステップ応答に対しては，いずれも原点近傍に存在する。そこで，これらの点が原点に収束するゲインを得られるようにファジールールを作成し，図2(a)

図1 システムの構成
Fig. 1. Block diagram of system.

(a) 速度ステップ応答 (b) 制御ルール

図2 ファジールール平面
Fig. 2. Fuzzy rule plane.

図3 ファジー変数およびメンバシップ関数
Fig. 3. Fuzzy variables and membership functions.

図4 速度ステップ応答
Fig. 4. Step response of speed.

の平面上に重ねると(b)図が得られる。理論的には、直線A上のルールのみでよいが、デジタルシステムであることを考慮し、全範囲にルールを作成した。

ファジールール平面上での応答は、基本的に反時計方向に渦を巻き、またパターン化できるので、本来サンプルされるべき点のルールを予測できるという事実を基にルールは作成されている。ここで前件部変数は $E_r, \dot{E}_r$ であり、後件部変数は $\Delta(K_p/K_i)$ または ΔK_i である。 Δ は変動分の割合を示している。また、ファジー変数およびメンバシップ関数は図3に示すものを用い、点 P_0 における $E_r, \dot{E}_r$ の値を基準として-1~+1に規格化している。更に、推論はmax-product法、非ファジー化には重心法を用いている。

$\Delta(K_p/K_i)$ は点 P_1 の位置に大きく影響されるため、 P_1 における $E_r, \dot{E}_r$ の値より推論し、これを求めている。また、 ΔK_i は点 P_1 および P_2 における値より各々推論し、それらの結果を加算して求めている。

最終的に、 K_i および K_p は n を推論回数とすれば、

$$K_i(n+1) = K_i(n) \{1.0 + \Delta K_i(n)\} \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$\left(\frac{K_p}{K_i}\right)(n+1) = \left(\frac{K_p}{K_i}\right)(n) \left\{1.0 + \Delta\left(\frac{K_p}{K_i}\right)(n)\right\} \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$K_p(n+1) = \left(\frac{K_p}{K_i}\right)(n+1) K_i(n+1) \quad \dots\dots\dots (5)$$

として求まる。

3. 結 果

0.75 kW, 100 V, 7.6 A のかご形誘導電動機を用いたベクトル制御系に本手法を適用し、シミュレーションを行った。 K_p, K_i の初期値をいずれも1.0とし

て、チューニングを開始した。電動機は電動機単体の9倍の慣性を負っているものとした。図4はチューニング後のゲインを用いてステップ応答を求めた結果である。良好な応答が得られており、本チューニングシステムが有効であることを示している。なお、このときの推論回数は8回である。

4. ま と め

誘導機ベクトル制御系におけるPIゲインをファジー推論を用いて、オートチューニングするシステムについて明らかにし、シミュレーション結果によりその有効性を確認した。本手法はコントローラ的设计理論などに精通していなくともゲインを容易に決定することができる実用的な手法と考える。

最後に本研究を行うに際し、御鞭撻いただきました(株)明電舎基盤技術研究所所長 丹羽 亨氏ならびに関係各位に感謝します。(平成4年11月18日受付)

文 献

- (1) L. A. Zadeh: "Outline of a new approach to the analysis of complex system and decision processes", *IEEE Trans. SMC*, 3, No. 1, 28 (1973)
- (2) I. Miki, O. Nakao, et al.: "A new simplified current control method for field-oriented induction motor drives", *IEEE Trans. Industr. Applic.*, 27, No. 6, 1081 (1991)

三 木 一 郎 (正員)

昭和53年3月明治大学大学院博士課程単位修得退学。同年同大学工学部助手、平成2年4月同理工学部教授、現在に至る。工学博士。IEEE会員。

高 橋 俊 次 (正員)

昭和42年4月8日生。平成4年3月明治大学大学院工学研究科博士前期課程修了。同年4月(株)東芝入社。現在に至る。

熊 野 達 夫 (学生員)

昭和42年8月11日生。平成4年3月明治大学工学部電気工学科卒業。同年3月同大学大学院工学研究科博士前期課程に進学、現在に至る。