特 集 ファジィ制御ハードウェア

モータにおけるファジィ制御ハードウェアの動向[†]

湯場崎 直養*

1. はじめに

モータにおける一般的な利用をみると、ただ単に回転力を利用した装置からサーボ性能を必要とする装置までさまざまである。サーボ性能を引き出すには、位置決め制御、速度制御、そしてトルク制御を単独または組合わせた制御が必要である。

モータを制御対象にしたファジィ制御の応用は家電製品をはじめ、多くの実用がなされている。洗濯機、扇風機、掃除機、そして空調装置などがそれで、それらはインバータ回路を介してモータの回転速度を制御出力にしたものである^{1),2)}。また、モータの諸特性やその駆動回路の諸特性の改善を目的としたファジィ制御の具体例は、サーボモータ用ドライバーのゲイン・オートチューニングにみられる程度で極めて少ない^{3),4)}。

ところでファジィ制御は、クローズループ回路を形成して制御が行われる。それは、サーボ系制御のハードウェアと構成が似ていて、既存のサーボ系制御とファジィ制御の融合は容易で、よりインテリジェントな制御が可能となってよい。しかし、現実的には、とくに産業機械用モータ制御にファジィ制御が採用された具体例は少ない。そこで、ファジィ制御を応用するためのヒントになる実用例を2例、ここで紹介する。

その一つは、インバータを制御対象にした汎用インダクションモータのスムーズな位置決め制御

を、もうひとつは、ステッピングモータ用ドライバーの消費電流の低減とステッピングモータの振動の低減を狙った応用を紹介する。

2. 汎用インダクションモータのスムーズな位置決め制御

一般的なオートメーション装置のアクチュエータには、コスト性が大変よいことから汎用インダクションモータが多く採用されているが、サーボ性に欠け、とくに高精度での位置決め制御には不向きである。しかし、現状では汎用インダクションモータを駆動機構のアクチュエータとして用い、起動から停止に至る制御において、スムーズさに不満を持ちながら多く採用されている。このような場合は、定量的な適用制御は非常に難しく、定性的な制御が望まれ、それは重要な考え方である。

写真1はマイコム(株)製のファジィ制御搭載・汎用インダクションモータ用位置決め制御装置(型

写真1. FMD-100ファジィ制御搭載・汎用インダクションモータ用位置決め制御装置

[†] The Trends of Fuzzy Logic Hardware for Motor Control

* Naoyoshi YUBAZAKI
マイコム株式会社
Mycom, Inc.

式 FMD-100)で、起動から停止に至るまでスムーズな位置決め制御を実現している⁵⁾。

2.1 位置決め制御における前提

汎用インダクションモータは、その原理・構造から滑り現象があり、図1のように起動から加速し定速運転に変わるフラグでは、必ずオーバーシュートが生じる。定速運転から減速運転のフラグでも実際の速度指令よりモータの回転速度は早く追従性が悪い。また停止時でも、図2のように低速より高速のほうが停止するまでの時間(距離)は長い。そして同じ速度でも図3のように負荷イナーシャが小さい場合より大きい場合のほうが停止するまでの時間(距離)は長い。また、停止時間(停止距離)にバラツキが生じる。そこで、サーボ性に乏しい汎用インダクションモータの制御には、定性的で経験的な知識をファジィ推論し制御することが好まし所以がある。

図1 起動から定速時のオーバーシュートと減速時の追従性

図2 高速・低速時の停止時間(距離)

図3 負荷イナーシャの大きい場合と小さい場合の停止時間(距離)

2.2 実用的な位置決め制御の応用

写真1のFMD-100を用いると、図4に示すようなタイミングベルトコンベア上での物体の搬送位置決め制御には最適である。停止位置の検出には光電センサーを用い、物体のエッジを検出する。図5に示すとおりセンサー①とセンサー②の距離(α_1)は、初期操作により物体を移動させ汎用インダクションモータに直結された回転エンコーダのフィードバック信号をカウントして距離(α_1)を割り出す。次に実際の停止位置は、センサー②のA点と、センサー②を通過し、あらかじめ手動設定された距離(α_2)を移動したB点とした。

2.3 FMD-100 のハードウェア構成

FMD-100の制御構成は図6のとおりで、ファジィ推論回路には入力16ビット、出力8ビット仕様

図4 タイミングベルトによる駆動機構

図5 停止位置

のマイコム(株)製のファジィチップ(FZP-1001)を採用したファジィ推論回路と、分解能が1 Hzで5 Hzから150 Hzまで制御可能な簡易型インバータ回路から構成している。

インバータ回路は、ファジィ推論回路で非ファジィ化された出力をパルス発生回路を介し汎用インダクションモータの速度制御を行っている。

入力データである現在位置情報と現在速度情報は、汎用インダクションモータに直結された回転エンコーダからのフィードバック信号を用い、それをカウントして現在位置情報に、システムクロックを基準にして回転エンコーダ信号のパルス幅を現在速度情報とした。また、システムクロックを基準にした現在速度情報の変化をソフトウェアにより演算、その結果を加速度情報とした。さらにセンサー②を通過し実際に停止する位置(α_2)と目標速度の設定は手動スイッチとした。

図6 FMD-100のハードウェア構成

2.4 推論ルール

FMD-100の推論ルールは、「起動から加速し目標速度時」と「減速から停止時」の領域に分け、また、減速から停止時の領域では「速度監視モード」と「残り距離監視モード」に分けている。速度監視モードは「目標速度に対する現在速度の差分」と「加速度」を、残り距離監視モードは「目

標速度に対する現在速度の差分」と「残り距離」を入力データとしている。それらの代表的な推論ルールは表1、2、3のとおりである。

表1 起動から加速し目標速度時のファジィ推論ルールの代表例

前件部 (If ~and~)		後件部 (then ~)
目標速度に対する現在速度の差分	加速度	出力 (インバータ周波数)
非常に遅い	一定速度	少し上げる
遅い	かなり加速	大きく下げる
目標速度である	一定速度	そのまま
少し遅い	減速している	上げる

表2 減速から停止時で速度監視モードでのファジィ推論ルールの代表例

前件部 (If ~and~)		後件部 (then ~)
目標速度に対する現在速度の差分	加速度	出力 (インバータ周波数)
速い	一定速度	少し下げる
少し速い	非常に大きく減速している	大きく上げる
ほんの少し速い	ほんの少し減速している	そのまま

表3 減速から停止時で残り距離監視モードでのファジィ推論ルールの代表例

前件部 (If ~and~)		後件部 (then ~)
目標速度に対する現在速度	残り距離	出力 (インバータ周波数)
速い	非常に長い	少し下げる
少し速い	少し長い	下げる
ほんの少し速い	短い	ほんの少し下げる

2.5 汎用インダクションモータのファジィ制御応用への展望

汎用インダクションモータは、もともと位置決め制御には不向きとされていたにもかかわらず、ファジィ制御を用いることにより比較的高精度な

位置決めが可能となる。また、負荷イナーシャの変化にも定格トルクの範囲内で設定したとおりの速度制御が可能であり、スムーズな起動から停止が可能となった。これはサーボモータやステッピングモータにも同様の考え方ができ、よりインテリジェントな制御が可能となる。

3. ステッピングモータとドライバーの消費電流と振動の低減を狙ったハードウェア

ステッピングモータは、2相型あるいは5相型が主流で、ドライバーを介し、ドライバーへの指令パルス毎に各相への電流を随時切り替えることで回転する。5相型では1パルスあたり 0.72° または 0.36° の回転角が得られ、指令パルス数に比例して回転する。

3.1 ステッピングモータの利点と弱点

ステッピングモータはサーボモータとよく比較される。ステッピングモータの弱点は、米国などは別として日本ではとくに、オープンループで制御されるため、負荷イナーシャの変動の激しい駆動制御には適さないとされている。それは、ステッピングモータ用ドライバーには負荷イナーシャの変動に対する最適な駆動トルク制御や、随時トルクを発生させる機能が無視されているからである。しかし、負荷イナーシャが小さい駆動機構系ではサーボモータより指令パルスと角度変位は完全に比例していて角度誤差は小さく、しかもその誤差による累積もなく追従性は大変よい。

3.2 従来のステッピングモータ用ドライバー

従来のステッピングモータ用ドライバーのハードウェア構成は図7に示すとおりで、PWM (Pulse Width Modulation) 制御式の定電流チョッパー駆動方式が採用されている。それはまず、基準電圧発生回路からあらかじめ設定されたステッピングモータへの出力電流値(定格電流)に対応させた電圧成分を重畳させた三角波あるいはのこぎり波と、電流検出回路からの検出された電流検

出信号を比較器に入力、比較器ではパルス幅を制御したPWM出力をパワー回路を介しステッピングモータの各相に定電流を供給している。

ところが、ステッピングモータのもつ弱点といわれるものに、とくに加減速時の運転プログラムによっては、回転時の共振による振動の増加や脱調、モータ自体の発熱、そして消費電流の増加などがあり妥協して利用しているのが現状である。

図7 従来方式のステッピングモータ用ドライバーのハードウェア構成

写真2 UPS20Fシリーズ ファジィ制御搭載型ドライバーとモータ

3.3 ファジィ制御を採用する意義

ステッピングモータ用ドライバーにファジィ制御を採用することは、ステッピングモータのもつ諸特性を改善することである。写真2は、マイコム(株)製のファジィ制御搭載型・ステッピングモータ用ドライバー(UPS 20 Fシリーズ)⁹⁾で、図8はハードウェア構成を示している。

このドライバーでは、指令パルスを入力とした1チップ型マイコンによるファジィ推論回路を介

し、ファジィ推論結果は基準電圧発生回路に出力される。この推論回路はソフトウェアによるファジィ演算で、指令パルス周波数とその変化分を前件部、基準電圧発生器への出力を後件部として制御を行い、ステッピングモータに供給する電流値を変化させ、共振による振動の増加や脱調、モータ自体の発熱、そして消費電流を抑え、性能を向上させている。

図8 ファジィ制御を搭載したステッピングモータ用ドライバーのハードウェア構成

3.4 ファジィ推論

たとえば、「指令パルスの周波数の周期が一定で、指令パルス周波数の変化分がなければ、加減速トルクは必要ではなく、そのために相電流を下げる」としたルールができる。表4は代表的な推論ルールである。

表4 ファジィ推論ルールの代表例

前件部 (If ~and~)		後件部 (then~)
指令パルス周波数	指令パルス周波数の変化分	出力 (基準電圧)
低速	大きく減速	高くする
中速	少し加減	少し高くする
高速	一定速	そのまま
低速	一定速	少し下げる

3.5 ステッピングモータのファジィ制御応用への展望

ステッピングモータの弱点に、共振による振動や脱調現象があり、これを克服するにはファジィ制御を積極的に採用していくことが重要である。また、サーボモータより追従性が良好であることからサーボモータと同様、クローズループによる制御方式を取り入れ、ファジィ制御を容易にし、さらにインテリジェント化することが重要である。

4. おわりに

モータやそのドライバーへの直接的なファジィ制御応用は非常に少ない。その原因は、CNC制御をはじめとして、開発し尽くされ高度になったプログラム制御に原因があり、ファジィ制御との融合を難しくしている。これからは、ハードウェアはもとより、運転プログラムなどの生成にファジィ推論が積極的に利用されることを期待する。

参考文献

- 1) 押鐘ほか：ファジィ制御応用掃除機，日本ファジィ学会誌，Vol.3，No.2，pp.20-21(1991)
- 2) 松岡ほか：冷暖房同時マルチエアコンにおける自律分散協調制御「F-VPM」，日本ファジィ学会誌，Vol.3，No.2，pp.26-27(1991)
- 3) 高木：ファジィを用いた時定数適応型モータサーボコントロール，第6回ファジィシステムシンポジウム，pp.231-234(1990)
- 4) 白木：ロボットのゲイン調整，日本ファジィ学会誌，Vol.3，No.2，pp.34-35(1991)
- 5) Naoyoshi Yubazaki, Masayuki Otani, Takatsugu Ashida, Eiichi Kitamura: Fuzzy Motion Drive Method of Induction Motor Using Positional Sensor, IECON '93, Hawaii, U.S.A. pp.170-175(11/15-19, 1993)
- 6) Masayuki Otani, Eiichi Kitamura, Takatsugu Ashida, Naoyoshi Yubazaki, Kaoru Hirota: 2-Phase Stepping Motor Drive based on Fuzzy-Logic Control, The International Fuzzy Engineering Symposium '91, Yokohama, Japan, pp. 1130-1131(11/13-15, 1991)

[問い合わせ先]

〒616 京都府右京区嵯峨広沢南下馬野町12番地

マイコム株式会社

湯場崎 直養

☎：075-882-3601

☎：075-882-6531

—— 著 者 紹 介 ——

湯場崎 直養 (ゆばざき なおよし)

マイコム株式会社 取締役社長

1964年 京都市立洛陽工業高等学校電気通信科卒業。1968年 マイコム株式会社の前身を創業。1970年 大阪電気通信大学工学部通信工学科卒業。1970年 マイコム株式会社 取締役社長。(米国)Nyden Corporation, (シンガポール)Mycom Technology (S)Pte Ltd. 各社長を兼務。(台湾)Mycom Technology, Inc.と(韓国)Mycom Korea Co., Ltd.の取締役最高顧問。制御概念の研究, とくにモータ制御とファジィ制御の融合に関する研究に従事。ファジィ学会会員。