

不測事態に対応するプラント制御エキスパートシステム

— 定性推論を組み込んだ推論機構の開発 —

6 D-1

小沼 千穂* 五嶋 安生** 神谷 昭基*** 小島 昌一*

(株) 東芝 *システム・ソフトウェア技術研究所 **重電技術研究所 ***府中工場

1. まえがき

近年、様々な分野においてエキスパートシステムが実用化されている。中でも制御問題は、診断、計画、設計等の総合問題と捕らえることができ、性能的にもリアルタイム性、安全性、安定性が求められるという非常に難しい問題である。

我々はAI技術を制御分野に適用し火力発電プラントを対象とした制御用エキスパートシステムの研究開発を行なってきた[1][2]。これらの研究ではより柔軟な制御を実現することを目的として、予め制御知識が準備されていない不測の事態発生時でもその状況に応じた操作を導出して制御を行うことが可能な推論機構をもつシステムの開発を進めている。

本論文では、FUZZY化定性推論の技術をシステムに組み込み動的なシステムの挙動を推論することにより、精度の高い制御を実現する推論機構について具体例を用いて説明する。

2. システム概要

ここではシステムについての簡単な説明とその問題点について述べる。

システムの構成としては正常時推論機構と異常時推論機構に大別できる。前者はプラントの状態が正常の場合に予め準備された制御知識(浅い知識)に基づいて制御を行なう機構である。後者は不測の事態発生時に起動され深い知識に基づいた推論を行い、プラントの各機器に与えられた出力要求を満足するような目標状態を推論し、現在の状態から目標状態への遷移に必要な操作を導出して制御を行う機構である。ここでいう深い知識とは制御知識を生成するための基本的な知識であり、制御対象に関する知識である対象モデルと、プラント運転上の制約条件である運転原則からなっている。

このように異常時推論機構では現在の状態と目標状態のみ着目して推論を行なうため、プラントの状態が過渡的に変化するような場合には対応が困難であるという問題があげられる。

そこでより精度の高い操作を導出するために従来の異常時推論機構にFUZZY化定性推論の技術を導入し、プラントの動特性に基づいて挙動の解析を行ないながら制御を行なう推論機構について検討した。

3. FUZZY化定性推論

3-1 概要

FUZZY化定性推論とは定性推論にFUZZY論理を導入したものであり、現実的で詳細な挙動を導出できる有用な手段として提案されている[3]。定性推論と比較すると、モデルの記述が容易であるという点では一致しているが解が発散することなく一意に決定できるという利点がある。またモデルに記述する方程式において係数の大きさを考慮すると、制御に必要なある程度の定量的な情報が獲得できる。

3-2 システム構成

FUZZY化定性推論システムの構成は図1のようになっている。

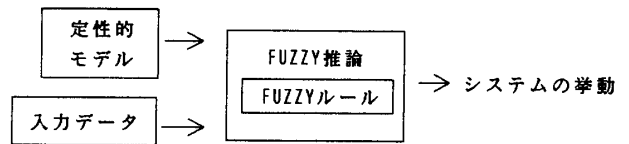


図1 システム構成図

本システムでは定性的モデルの動特性(パラメータ間の関係)を以下の5種類の演算式を用いて記述している。

- (1) integ(X,X0,Y0) 積分関係 $X = \int Y dt$
- (2) minus(X,Y) 符号反転関係 $Y = -X$
- (3) add(W,X,Y) 加算関係 $W = X + Y$
- (4) coef(W,a,X) 係数関係 $W = a * X$
- (5) equal(W,X) 等号関係 $W = X$

入力データとしてモデルに関する係数の定量情報、初期値、動特性を与えることによりFUZZYルールを用いて推論を行い挙動を導出する。

3-3 メンバシップ関数

FUZZY推論に用いられるメンバシップ関数を図2に示す。

- PB : 大きい正の値を表わす
- P : 正の値を表わす
- PS : 小さい正の値を表わす
- Z : 零を表わす
- NS : 小さい負の値を表わす
- N : 負の値を表わす

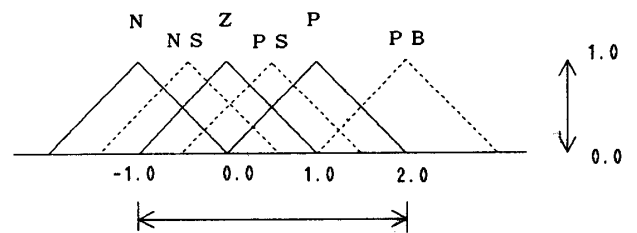


図2 メンバシップ関数

3-4 FUZZYルール

例として加算の関係を表わすルールを示す。

加算 add(W,X,Y) $W = X + Y$ の時

Y \ X	P	Z	N	IF X=P and Y=P THEN W=P
				IF X=P and Y=Z THEN W=P
				IF X=P and Y=N THEN W=Z
P	P	P	Z	IF X=Z and Y=P THEN W=P
				IF X=Z and Y=Z THEN W=Z
Z	P	Z	N	IF X=Z and Y=N THEN W=N
				IF X=N and Y=P THEN W=Z
				IF X=N and Y=Z THEN W=N
N	Z	N	N	IF X=N and Y=N THEN W=N

4. 適用例

以下にFUZZY化定性推論を利用してより精度の高い操作を導出する例について説明する。火力発電プラントの給水系では、図3に示したように矢印の方向に水(蒸気)が循環し、ボイラーによって発生した蒸気が、タービンを回転させている。復水ポンプシステム、給水ポンプシステムは各3台のポンプからなり、それぞれ脱気器、ボイラーに水を供給している。

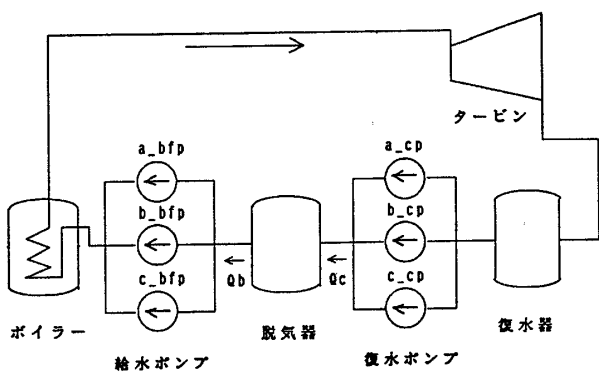


図3 火力発電プラントにおける給水系統図

初期状態としてはa_bfpとa_cpのみが運転中で正常な状態にあるとする。

この状態で、a_bfpに故障が起きる(不測の事態発生)と従来の異常時推論機構では目標として与えた出力要求を満足する操作としてc_bfp起動,a_bfp停止というポンプ切り替えの操作を導出する。しかし実際のプラントでこのポンプ切り替えの操作を行なうと、流量を一定に保つ制御機構の遅れにより過渡的に給水流量(Qb)、及び復水流量(Qc)が変化する。そのため、一時的な流量増加により1台の復水ポンプでは対応できずb_cpを追加起動するという操作も同時に導出する必要がある。

本システムではFUZZY化定性推論を利用して時間に関する流量変化を解析することにより過渡的に増加する流量を推論しその値を要求値として生成し必要な操作全てを導出する。

一例として脱気器レベル制御のモデルを対象とした推論について説明する。脱気器では貯水量のレベルを一定に保持するように出力流量をもとに、入力流量を制御している。このモデルのブロック線図を図4に示す。

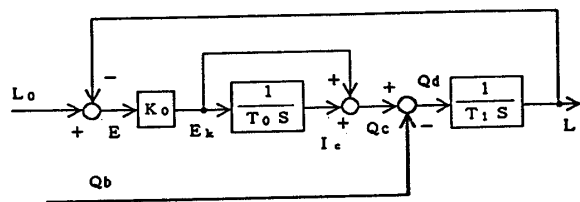
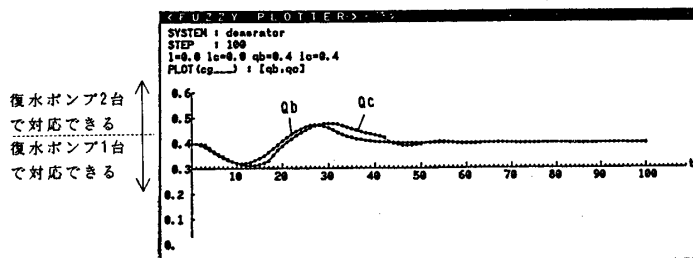


図4 脱気器レベル制御システムのブロック線図

各パラメータ間の関係式と係数の定量値は以下に示す通りである。

- 制御偏差 $E = L0 - L$
- 比例偏差 $Ek = K0 * E$
- 積分偏差 $Ic = \int (Ek / T0) dt$
- 復水流量 $Qc = Ek + Ic$
- 脱気器流入量 $Qd = Qc - Qb$
- 脱気器レベル $L = \int (Qd / T1) dt$
- 比例ゲイン $K0 = 1.0$
- 積分時定数 $T0 = 100.0$
- 脱気器レベル時定数 $T1 = 10.0$

入力として給水ポンプを切り替えた場合の脱気器流出量(Qb)を与え、脱気器のレベル制御による復水流量(Qc)の流量変化を推論した結果を図5に示す。



初期値 $L = L0 = 0.0 (p.u)$
 $Qb = Ic = 0.4 (p.u)$

図5 推論結果

この結果より脱気器から入力側の復水ポンプシステムへの要求値としてその最大値(Qcmax)を伝播し、復水ポンプを追加起動する操作を導出することができる。

5. まとめ

本論文では、FUZZY化定性推論の技術を用いて、異常時推論機構に過渡的な変化を推論できる機能を導入することにより従来の推論機構では対応できなかった一時的に必要な操作を導出することができ、より柔軟な制御が実現できるようシステムに拡張された。

今後はモデルの範囲拡大、および不測の事態に対応できるモデルのダイナミックな生成について検討する必要があると思われる。

謝辞

本研究はICOTからの委託テーマである「制御用エキスパートシステム」の研究の一部として行われたものであり、研究の機会を与えて頂いたICOT第5研究室 生駒室長に感謝の意を表します。

参考文献

- [1] 酒井正美、他：深い知識に基づく制御用エキスパートシステムの開発—機能構成— 第38回情全大(1989)
- [2] 田岡直樹、他：深い知識に基づく制御用エキスパートシステムの開発—制御操作の生成— 第38回情全大(1989)
- [3] 鷲尾 隆、他：定性推論のファジー化の試み 第5回知識工学シンポジウム予稿集 pp.147-152 (1987)