Development of Command processing subsystem of Autonomous Mobile Robot using Fuzzy Theory

○学 野口 豊広 (大同工大) 正 尾形 和哉 (大同工大)

Toyohiro NOGUCHI, Graduate student of Daido Institute of Technology

Kazuya OGATA, Daido Institute of Technology, 10-3 Takiharu-cyou, Minami-ku, Nagoya

Key Words : Fuzzy Theory, Autonomous Mobile Robot, Omnidirectional Vision, RoboCup, Soccer Robot

1. はじめに

近年, 人間が細かく教示しなくてもロボット自身が状況に応じて動く自律型ロボットの研究が盛んに行われている。

本学では, 2004 年から自律型ロボットの競技大会, RoboCup¹⁾ サッカー中型リーグに参加している。実際の試合において, ロボットを取り巻く状況は常に変化する。その中で周囲の情報を正確に得て対応する処理を If-Then ルールだけで行くと, プログラムが非常に複雑になる。

このため, 曖昧な情報を用いての制御が可能なファジィ理論などの知的制御手法が積極的に用いられている²⁾。

そこで本研究では, ファジィ理論を応用し, できるだけプログラムが簡素になるように知能部の開発を行った。また, 制御方法を口頭で表現できるというファジィ制御の特性に注目し, 新たにファジィルールを追加する際に, その効果を評価するための手法の提案を行った。

2. リニアファジィ推論法

2.1 代数積加算重心法

知能部に機能拡張を容易に行えるようにするため, 直感にあった推論結果を得ることが可能な代数積加算重心法を用い, 知能部の作成を行った。この方法の特徴は, 1つのルール行毎に貢献度を設定でき, その結果ファジィの特徴である多入力の情報変化が全て有効に機能し, 後件部が無視されることもなくなることである。

ルール k において, 入力 i が u_i であるとき, ラベル L_{ki} に対するメンバシップ関数の出力値 $m_{ki}(u_i)$ を計算する。各入力に対してこれらの計算をし代数値積を求め, さらにルール k の貢献度 c_k を掛けあわせたものをルール k の適用度 mm_k と呼び, 次のように計算する。

$$mm_k = \left(\prod_{i=1}^p m_{ki}(u_i) \right) \cdot c_k \quad (1)$$

ルール k における出力 j の望ましい値が z_{kj} であるとき, これらを各ルールの適用度を用いて内挿し出力

$$y_j = \frac{\sum_{k=1}^N mm_k z_{kj}}{\sum_{n=1}^N mm_n} \quad (2)$$

を求める。

2.2 前件部の種類

本研究で作成した知能部の前件部には, ロボット座標系における以下の 7 種類の情報を用いた。

① ボールの距離	⑤ 味方ゴールの距離
② ボールの方位	⑥ 味方ゴールの方位
③ 敵ゴールの距離	⑦ 8 方向の黒色の割合
④ 敵ゴールの方位	

Fig.1 Membership Function (distance)

Fig.2 8 Direction

Fig.3 Membership Function (direction)

Fig.4 16 Territories

Fig.5 Robot coordinate system

2.3 メンバシップ関数

ファジィ制御に必要なメンバシップ関数の作成にあたり, 前件部で扱う距離は現在のカメラの視認限界の 0 ~ 5 m であるとして, Fig.1 に示す Ne, Fa, En の 3 種類のメンバシップ関数を作成した。

また, 前件部における方位には, Fig.2 に示す 8 方位に関して, Fig.3 のようなメンバシップ関数を作成した。

その他に, フィールド上の敵ロボットを検知し回避行動を行わせることを目的として, 全方位カメラから得られる画像を Fig.4 のように 8 方向・16 領域に分割し, それぞれの領域における黒色の割合をメンバシップ関数と同等の役割を果たすように 0 ~ 1 の値に正規化して, 前件部の出力値に用いた。

2.4 後件部の種類

後件部の出力は Fig.5 に示すようにロボット座標系 Σ_R における X, Y 方向の速度 $V_x \cdot V_y$ (m/s) と角速度 ω (rad/s) とした。

2.5 貢献度

フリーキックや他ロボットの接触時などへの対処は明らかに異なるルール群での処理が必要になるため, 単純なリニアファジィ推論法のみでは対応できない。貢献度 c_k は本

来ルールごとの重み付けを行うための値であるが、本研究では If-Then 機能を一部融合する目的で、コマンドに対して1または0の値を設定するように貢献度を利用している。

2.6 ファジィルール

7つの前件部と、3つの後件部を使い、下記の17個のルールを作成した。

No.1: ボールに近づく	No.10: 接触時ロボット座標系で後方に下がる
No.2: ドリブル	No.11: フリーキック・ゴールキック・スローイン攻撃
No.3: 回り込み(ボールが真後ろ)	No.12: フリーキック・ゴールキック・スローイン守備
No.4: 回り込み(ボールが右)	No.13: コーナーキック攻撃
No.5: 回り込み(ボールが左)	No.14: コーナーキック守備
No.6: 回り込み(ボールが前方)	No.15: ドリブル中敵ロボットを回避(敵ロボットが右前)
No.7: 敵ゴールに近づきすぎ防止	No.16: ドリブル中敵ロボットを回避(敵ロボットが左前)
No.8: 味方ゴールに近づきすぎ防止	No.17: ドリブル中敵ロボットを回避(敵ロボットが真前)
No.9: ボールを見失った場合味方ゴールに戻る	

3. シミュレータを用いた検証

ボールをゴールまで運ぶことを基本的な機能と考え、2.6節で述べたルールの内、No1~14のルールを用い、Fig.6の(a)に示すような初期位置を与え、ロボットとボールを停止させた状態からシミュレーションを行い、知能部の基本的な機能の検証を行った。

シミュレーションを開始すると、ロボットは(b)に示すような進路をとり、ボールをゴールに運ぶことができた。このことから、ファジィ制御を用いて基本的な動作をロボットに実現させることができたと考えられる。

4. ルール追加の際の手法の提案

4.1 ルール追加のための手順

ロボットに障害物を回避させる行動をさせることを目的として、2.6節で述べたルールの内、No.15~17のルールを新たに追加した。今回追加したルールの一例を口頭表現で示すと以下のようになる。

- ・No.16: ボールが前方かつ至近距離にあり、障害物が左前方に存在した場合、右方向へ移動する。
- ・No.17: ボールが前方かつ至近距離にあり、障害物が前方に存在した場合、左方向へ回転する。

このようなルールを追加する際に、次の2条件を、満たすことを確認作業とする。

- A:** 目的とするロボットの動作を達成する。
- B:** 追加したルールが機能しない状況において、追加した前後での動作に差異が発生しない。

4.2 障害物の回避動作の達成

まず、条件Aについて考え、No1~17のルールを用い、Fig.7の(a)に示すような初期条件を与えた。このとき敵のロボットはその位置から移動しないものとしてシミュレーションを行ったところ、ロボットは(b)に示すような進路をとり、障害物である敵のロボットを回避した。

また、Fig.8は敵ロボットの設置がない場合、Fig.9は敵ロボットの設置がある場合の、ルール16,17における出力jに重みをかけた値

$$o_{kj} = \frac{mm_k z_{kj}}{\sum_{n=1}^N mm_n} \quad (k=16,17) \quad (3)$$

をグラフに表したものである。

Fig.8ではグラフに値が全く検出されないのに対し、Fig.9では敵のロボットが近づいたときに、どのルールから出力

Fig.6 The result using rule 1~14

Fig.7 The result using rule 1~17

Fig.8 Weighted output j on rule 16&17 (No Enemy)

Fig.9 Weighted output j on rule 16&17 (With Enemy)

が発せられているか一目瞭然となり、追加したルールが目的とするロボットの動作に貢献していることの評価を容易に行うことができる。

4.3 ルール追加前後での動作の差異

次に条件Bについても、ルールを追加する前後においてロボットの進路と、 o_{ki} ($k \neq 16,17$)のグラフを比較したが差異はほぼ見て取れなかった。このことから条件Bを満たしたと考えられる。

5. まとめ

本研究では、ファジィ理論を用いた知能部を開発し、新たにファジィルールを追加する際の機能の確認手順の確立を目指した。その結果、2つの条件に注意してルールを作成することで、新たな機能を追加できることを確認した。

しかし、経験則に左右されがちなルールの作成手順を、如何に容易に示すことができるかが、今後の課題である。

参考文献

- [1] RoboCup Official Homepage: <http://www.robocup.or.jp/>
- [2] 津崎亮一, 吉田和夫: “ファジィポテンシャル法に基づく全方位四角を用いた自律移動ロボットの行動制御”, 日本ロボット学会誌, Vol.21, no.6, pp.76-82, 2003