

ファジィ推論による簡易歩行ロボットの障害物回避制御

海津 宏¹⁾

Obstacle Avoidance Control for Simple Walking Robot by Using Fuzzy Reasoning

Hiroshi KAIZU

It is important to study the intelligent control concerning obstacle avoidance for a walking robot. This paper studies to discuss the obstacle avoidance control method for the simple biped robot which applied fuzzy reasoning and production rules. In the first step, a biped robot recognize the static and danger between a robot and an obstacle by the fuzzy reasoning. In the second step, using the degree of danger a robot decides the operation of avoidance by the decision table. Some control results of conducting experiments on the steps are shown to prove the effectiveness of this fuzzy biped robot.

Key Words: Fuzzy Reasoning, Simple walking robot, Obstacle avoidance, Educational system

1. はじめに

近年、自律移動ロボットにおける制御法や動的障害物回避等の実例応用に関する研究が活発に進められている。制御法のいわゆるソフトコンピューティング分野では、ファジィ制御、遺伝的アルゴリズム、ニューラルネットワークおよびスライディングモード、ロバスト制御等の研究があり、実例としては大学や産業界における歩行型・多脚型・車輪型ロボットがある。段差障害対応可能な知的電動車椅子に関する研究や自律制御による二足歩行ロボットの段差昇降応用が報告されている。

一般に移動ロボットの利用目的には、災害救助や警備、介護・養護、特定環境下の作業、産業・FA、サービス支援等多様であり、用途別研究も重要である。ロボットの移手段には、一般に車輪型が効率的であるが、人間が生活する実環境下では小さな段差も気にせずに対応していることも多い。ヒューマノイドロボットをはじめ、二足歩行型、多脚型、車輪型等においても様々な分野・用途において複合的な技術革新が求められている。一方、実環境や実用的な制約条件下で適用するには難しい制御法はなお多く、自律的な動的障害物回避に関する技術の向上も求められている。知的な学習制御機能、ロボット本体と外部情報との連携、適応への課題は少なくない。歩行時に極力少ない命令でモーションアルゴリズムを構成し、より柔軟で安定した歩行制御により段差昇降や障害物回避を可能にできるかは大切な問題である。さらには、

認知・予測・改善・学習等を連携・構造化することにより実現可能と思われる。例えば、細かな不連続的な段差や階段、不整地、瓦礫地面等での移動には、人間のよう
に安定した二足歩行に関する技術の応用が望ましい。今後の進展により、未知の階段昇降または未知の段差の回避や乗り越えることができることが期待されている。

自律的な動的障害物回避に関する簡便な制御法の1つにファジィ推論法があり、本稿で適用する。人間的な思考を容易に取り入れやすいこと、ロボットが扱うセンサ情報が局所的な近傍情報のみであり、ロボット本体の動特性を正確に記述することができないこと等に適応する。未知の段差や不連続な階段を実環境における静的障害物の一環と捉え、段差の乗り越え歩行に従来の危険度を勘案した障害物回避制御法による展開を実験で検証しつつ教材開発を行うことを考え着手した。なお、ファジィ推論法には、距離型等比較的新しい推論法が提案されており、強化学習等他の手法との効果的な連携も多く報告されている。メンバシップ関数や最適なプロダクションルールの自動生成に関する研究も進んできており、実用化が期待されている。

以上より本稿では、簡易二足歩行ロボットの歩行制御においてファジィ推論法を適用し、赤外線センサ情報と危険度評価の連携をもとに未知の段差高に対する昇段と回避、および動的障害物回避に関する実機例を報告する。

¹⁾ 東京都立産業技術高等専門学校ものづくり工学科

2. 歩行ロボット

本実験で用いた歩行ロボットは、近藤科学(株)のKHR-1であり、仕様と概要は表1と図1の通りである。センサには、赤外線距離センサを使用する。赤外線距離センサは光を用いているため外部からの干渉を比較的受けにくく、比較的安定して動作する。しかし、障害物の色によって光の跳ね返り方が異なる、透明な障害物に対しては検出不可、指向性が高いので前方向1箇所のみしか検出できないなどの欠点もある。実験では、3つのセンサを本体の頭部、胸部、左足元に設置し、回避動作や段差の高さ判断に適用した。センサの型番は、GP2Y0A21であり、PSD (position sensitive detector)、赤外発光ダイオード、信号処理回路を一体化した普及型である。図2は出力電圧の実測特性である。

なお、歩行時ロボットには、総慣性力と床反力が働き、総慣性力と地面との交点はZMP (Zero Moment Point) と呼ばれている。これを用いてMATLAB等による歩行シミュレーションが可能となるが実機パラメータ推定や摩擦等非線形要素の考慮から次節改めでの報告とする。本ロボットでは、つま先関節により歩幅を広げると、昇段する際に負荷が大きくなり、全身を引き上げる際に上げた足の膝関節の負荷を軽減することを考慮する必要があった。このため暫くの間、機構的な制約から関節モータに過負荷が掛かり過ぎ焼損や転倒による補修、PIC回路の再設計を要した。このため実験では、当初のKHR-2HVから旧型KHR-1に戻り、制御法の観点に的を絞り直して再開した。

3. ファジィと回避制御

先に報告されている、危険度を評価に勘案した階層化ファジィ推論法による動的障害物回避法を段差歩行制御に改良して適用した。ただし、本稿ではファジィ推論法は、簡略化法や水本法等を併用することなく、危険度算出に重み付き調整可能な $\min - \max$ 重心法のみを適用した。障害物回避または昇段の手順は、第1にファジィ推論によりロボットと障害物との間の静的危険度および環境下の動的危険度を認識する。次に、前記危険度を用いてディシジョンテーブルにより回避動作を決定することで、各種障害物に対するヒューリスティックな回避を実現できる。相対距離、相対速度、段差高に関するセンサ情報をPIC回路による演算処理を通して本体ロボットのモーションに反映させる。実際には演算遅れをさらに考慮する必要があり、機構または演算速度の改良が次の重要な課題となった。

表1. KHR-1仕様

自由度(軸数)	17自由度
サーボモータ	KRS-786ICS
サーボモータのトルクと速度	8.7 kg·cm 0.17 sec/60°
コントロールボード	RCB-1 × 2
インターフェース	RS-232C
サイズ	180 (W) × 340 (H)mm
重量	1200g

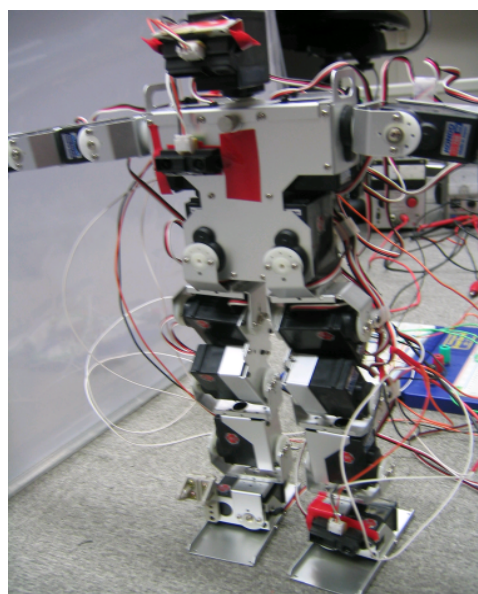


図1. KHR-1

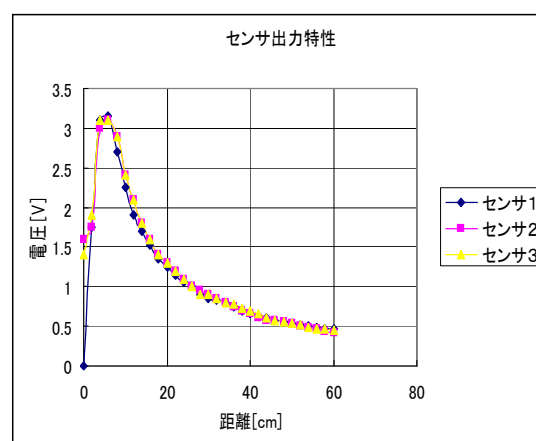


図2. センサ出力特性

図3はマムダニ法による推論の概念図である。また、メンバシップ関数は、図4の通り相対距離と相対速度を5つにランク分けした。段差の高さも2~6 cmで1 cm毎にランク分けとした。ディシジョンテーブルは、表2の通りである。危険度は、平常時、静的または動的危険度の何れか高い値を最終的な決定値と設定した。これらの推論結果を実際の制御に適用させるためには、独自ソフト Heart to Heart より各ポーズのサーボ出力データを並べ、最終的なロボットのモーションを構成する。センサ信号は、PIC24FJにより設計された演算回路を通してモーションが定まる。図5は回避制御の概念モデル例であり、図6はPIC回路が行うフローチャート概要である。プログラミング言語はcである。

基本的な歩行動作は次の通りであり。定常歩行による前進を行う。前方に段差の存在を認識した場合、適度な距離を保ってホームポジションで静止する。必要であれば半歩後退歩行する。乗り越えられる段差かを左足を上げセンサ情報より推論する。通常可能な高さ(例3 cm以下)であれば昇段動作に移る。膝を通常より高く持ち上げることで可能な高さであれば、モーションを変化させて対応し、昇段不可と判断したら左(または右)へサイドステップする。以降繰り返しを実行する。障害物が動的な場合は、斜め後ろにバックステップする。ゆっくりと近づいて衝突の恐れがあると判断したら、推論により適当な回避動作(サイドステップ、後退、しゃがむ等)を行う。衝突不可避等のように危険度が最大の場合や危険度の変化率が急に増大した場合は、膝を抱えてうづくまる防御姿勢となる。

3. 実験結果

未知段差(高さ、幅等)、静的障害物(壁等)、動的障害物(接近する空箱等)およびそれらの組合せに関して実験を行った。図7が未知段差高3 cmおよび図8は未知段差高6 cmの場合の昇段である。段差(1段3 cm板厚)手前まで前進し、間隔を微調整してホームポジション姿勢となる。必要によっては通常以上の膝上げなど全身を利用しつつ昇段する。演算処理のため次の動作に1~数秒要する様子は考え中に映る。動的障害物を段差近くで素通りや行き来させたりすると、推論処理が負担になるため思い悩んでいる様子にも写る。図9の場合は、閾値6 cmを超えるため右へのサイドステップにより第1の回避動作を行っている。正面に障害物が無い場合、または乗り越えられる段差の場合は、以降同様に所定のアルゴリズムから推論と歩行操作を行う。図10は、動的環境下において危険度が最大と判断したときであり、斜め後ろへのバックサイドステップによる回避で

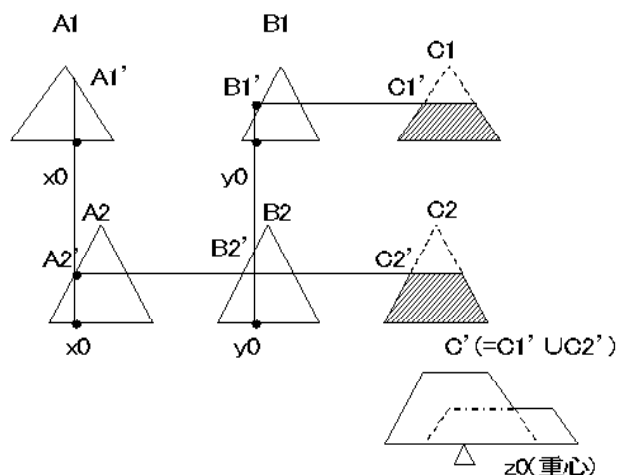


図3. マムダニ法の推論過程

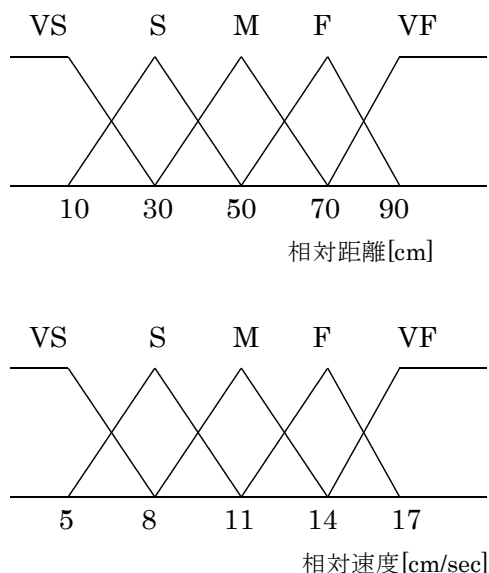


図4. メンバシップ関数(距離、速度)

表2.ディシジョンテーブル

		相対速度				
		VS	S	M	F	VF
相 対 距 離	VF	vs	s	h	d	vd
	F	s	h	d	vd	vd
	M	h	d	vd	vd	vd
	N	d	vd	vd	vd	vd
	VN	vd	vd	vd	vd	vd

V N:very near s:safe vd:very danger

なく最終防御の姿勢となっている。また、段差における足踏み昇降の実行が可能となった。その際、時間遅れが生じつつも、昇降中に段差を変更しても対応可能であり高さによってはサイドステップによる回避と昇段の継続が確認された。一方、ロボットがガタガタと震えだすハッチング状態が時々生じた。

以上、動的障害物やプログラム等の調整を重ねた結果結果、ロボットの機構的課題は残るが昇段や各種障害物回避動作を円滑に行うことが確認された。

4. おわりに

主に制御法やファジィ推論法の実機教材の観点から簡易二足歩行ロボットによる障害物回避、および昇降段に関する実例報告を行った。当初、新制御法実証やモデル化による教育用シミュレータの設計開発との目的もあったが、KHRの性能限界からその期待を満たすことが出来なかった。これまでに筆者が報告した各種ファジィ推論による移動体の動的障害物回避制御や倒立振子の安定化実時間制御に比べ、モータの過電流対応や実機上のメカニカル的な調整が十分に必要であった。一方、実験に携わった学生やものづくり教育支援講義の生徒達には、大切な教育効果を得ることができ幸いである。

知的電動車椅子や自律移動ロボット等に関する実環境への展開が現実的急務であり、そのための身近な周辺技術や実効的専門的な実験教育が不可欠と考える。障害物の推定予測と認識その自動回避だけでなく外的情報との連携、誘導支援等、専門サービス技術の拡充にも意義を感じる。今後は、学習予測機能、足先蹴りの動作、実環境・障害物へのより柔軟な対応、および教材としての教育評価の検証と改善を行う予定である。

参考文献

- 1) 青木, 岩田, 鈴木, 大熊: 階層ファジィルールによる移動ロボットの障害物回避動作計画, 電気学会論文誌C分冊, 113巻, 7号, pp. 535-542, 1993
- 2) 黒住亮太, 山本透: 強化学習による電動車椅子の障害物回避補助システムの構築, システム制御情報学会誌, Vol. 19, No. 1, pp. 7-14, 2006
- 3) 平川, 岸田, 西守, 石原, 藤村, 濱野, 徳高: 各種ファジィ推論法のチューニングによる比較-模型自動車の右折、左折走行制御シミュレーション-, 電気学会論文誌C分冊, 113巻, 11号, pp. 1005-1012, 1993
- 4) 松村幸輝, 村井保之: 遺伝的アルゴリズムに基づくファジィロボットの障害物回避モデル, 電子情報通信学会論文誌A分冊, 83巻, 12号, pp. 1539-1551, 2000
- 5) 久保田直行, 森岡利仁, 小島史男, 福田敏男: 動的環境下における移動ロボットのファジィ制御, 日本ロボット学会誌, Vol. 12, No. 1, pp. 55-63, 2000
- 6) 早坂俊彦, 大久保重範: ヒューマノイドロボットの障害物回避歩行, 計測自動制御学会東北支部, 第245回研究集会, 資料番号245-7, pp. 1-5, 2008

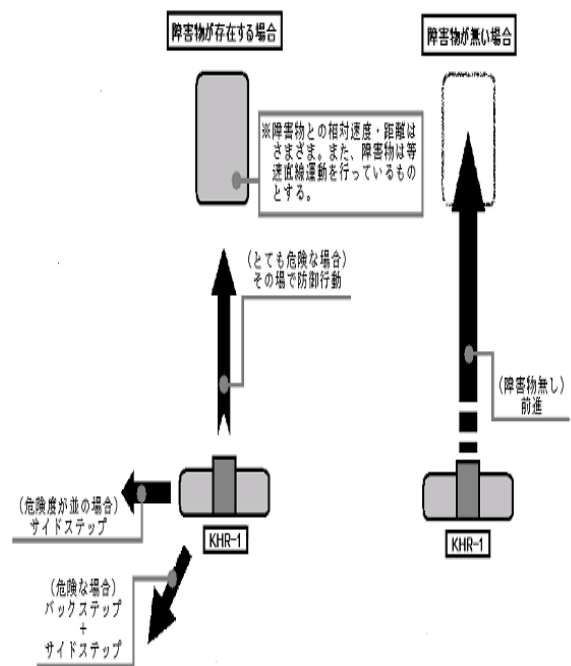


図5. 回避モデル例 (昇段、静的障害物)

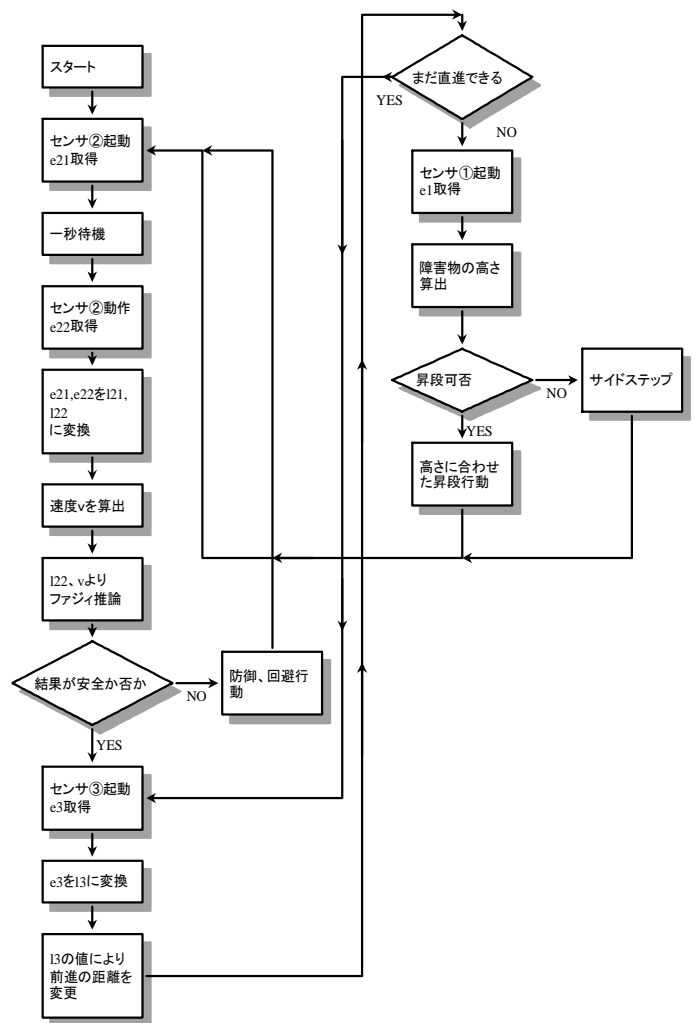


図6. フローチャート概略

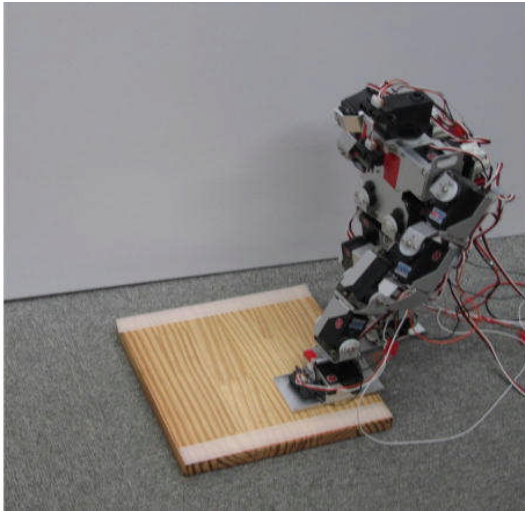


図 7. 1 段昇段 (未知段差)

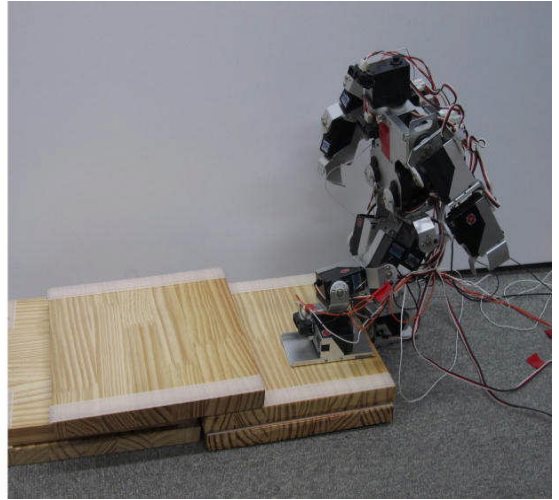


図 8. 2 段昇段 (未知段差)

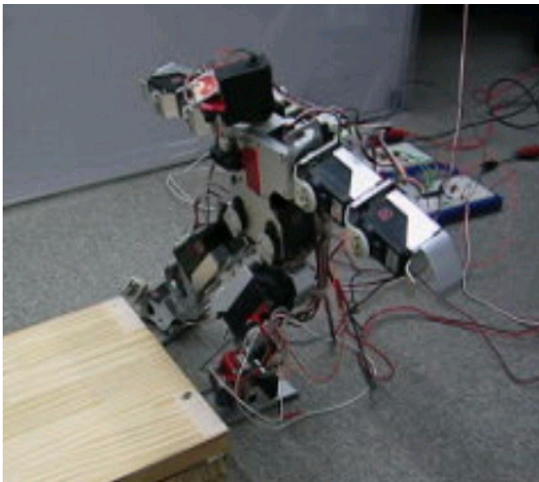


図 9. 右サイドステップ (昇段不可による回避)

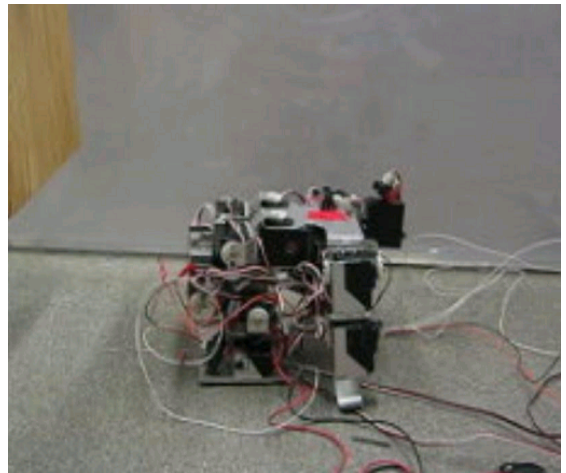


図 10. 防御姿勢 (最大危険度による回避)