

自律分散ロボットによる人文字の作成：基本設計とシミュレーション実験

YUBAZAKI, Naoyosi / 廣田, 薫 / 池田, 武治 / 桑原, 強司 / 葉, 海青 / 大谷, 正幸 / 湯場崎, 直養 / HIROTA, Kaoru / IKEDA, Takeharu / KUWAHARA, Tsuyoshi / YOU, Kaisei / OHTANI, Masayuki

(出版者 / Publisher)

法政大学工学部

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

法政大学工学部研究集報 / 法政大学工学部研究集報

(巻 / Volume)

29

(開始ページ / Start Page)

57

(終了ページ / End Page)

66

(発行年 / Year)

1993-03

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00003863>

自律分散ロボットによる人文字の作成 (基本設計とシミュレーション実験)

廣田 薫*・池田 武治**・桑原 強司*
葉 海青*・大谷 正幸***・湯場崎 直養***

Making a Character Pattern by Automous Decentrized Robots (Fundamental Design and Simulation Exeriments)

Kaoru Hirota*, Takeharu Ikeda**, Tsuyoshi Kuwahara*
Kaisei You*, Masayuki Ohtani***, Naoyosi Yubazaki***

Abstract

A simulation experiment on making character patterns by using eight robots has been done on computer screen. The design of the hardware implementation is also presented, where each robot has personal computer, CCD camera, image processing unit, and so on, and it can do complex tasks individually or cooperatively. The robot can assoiate with a character pattern and its order by using a weight list based on neural network, and it decides the size by using a learning function of singleton type fuzzy reasoning method. It can find moving position by using AHP(Analytic Hierarchy Process), too. By applying a fuzzy control method, all robots solve the deadlock problem in collision avoidance.

1. はじめに

これまでの個別ロボット技術開発の結果、ロボット単体の高機能化の技術的限界が明らかになってきた。更なる処理の効率化や、ロボットシステム自体の保安全性・拡張性の向上が要求され、複数のロボットによる、個々の情報、動作力の協調、並列的な処理、開発段階まで含めた柔軟的な

*工学部電気工学科計測制御専攻

**大学院工学研究科システム工学専攻

***マイコム(株)

どの実現も必要である。

人間が大きな目標を能率よく達成しようとするとき、複数の人で集団行動とることにより、成し遂げようとする事が多い。そこで、人々はどのようにすれば全体としてうまくいくかを、一人一人が経験や学習により考えて動作する。ここで、例えば5人の人が重い物を運んでいるとしよう。もし、作業中に一人が足を痛めて作業を放棄したとしても、他の4人は、各々がバランスなどを考え作業を続けることが可能である。

このように、複数のロボットが集団で行動できるなら、現在より大きな作業や幅広い作業ができる。また、各々のロボットが知能を持つことにより、同じ作業を能率よくでき、もし、ロボットのどこかに故障が生じて、作業を続けられる。

そこで本研究では、集団行動の一つとして、5~10台の子機ロボットを用いて人文字をつくる。子機ロボットの各々は知能を持ち、親(人間)の指示により経験や学習を行う。その結果として、親がある人文字の名前を指示するだけで、子機ロボットがそれぞれ自律的に考えて動作し、人文字を完成させる。本報では、現在、仕様の設計を終了し、製作中のロボットの機能を前提としたシミュレーション実験の結果を報告している。

2. 自律分散ロボット学習システムの構成

2.1 子機ロボット仕様案

作成中の子機ロボットにはノート型32ビットパーソナルコンピュータ(PC-98)、回転式CCDカメラおよび画像処理装置、通信機能、距離センサー(超音波センサー)、タッチセンサーなどの機器を搭載する。また、子機ロボットは、2個のステッピングモーターによる自律移動が可能である。ボール押し出し機能なども取り付ける。

2.2 親ロボットの構成

親ロボットの操作は人間が行い、子機とのインターフェースとして、SunスパークステーションとPC-98を接続し、PC-98に通信機能を取り付けて子機との通信を可能にする。

2.3 自律分散ロボット学習システムの構成

自律分散ロボット学習システムの構成を図1に示す。

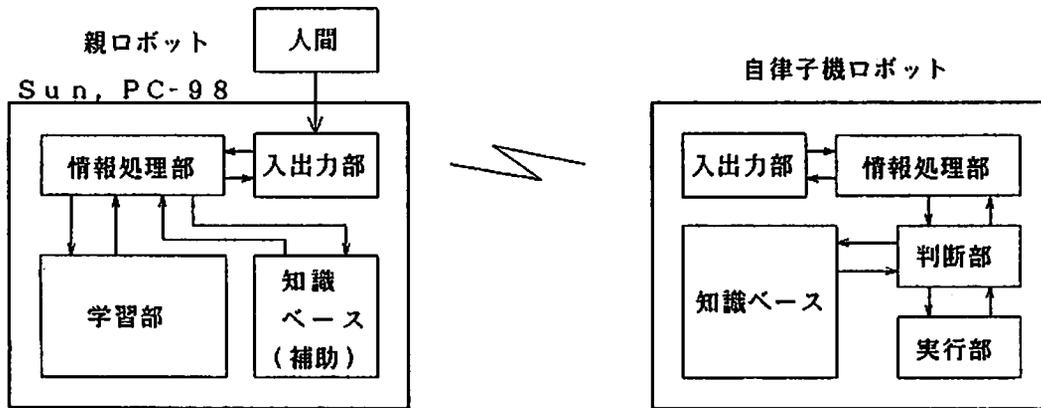


図1 自律分散ロボット学習システムの構成

3. 自律分散ロボット学習システムのアルゴリズム

自律分散ロボット学習システムのフローの概略を図2に示す。

次に、図2に照らし合わせて、人間が名前の順に整列するときの具体例を挙げる。

・命令

「朝礼台の前に名前の順に整列！」

・知識ベースへの知識探索

今までの知識から知識を探索する。

“整列ってなに？ 名前の順とは？”

・概念の検討

得た知識から命令された言葉を理解し、子機一台一台が自分の立場と比較して、最終的にどのようになればいいかを判断する。

「全体でこの様な形になればいいのか！」

「一番前は誰？ 自分は誰の次？」

先頭者：「目標地にいかなきゃ。」

他の子機：「前の人の後ろの等間隔の所に行かなきゃ！」

・行動法の検討

「そこに行くには、どのように動こうかな？」

・行動

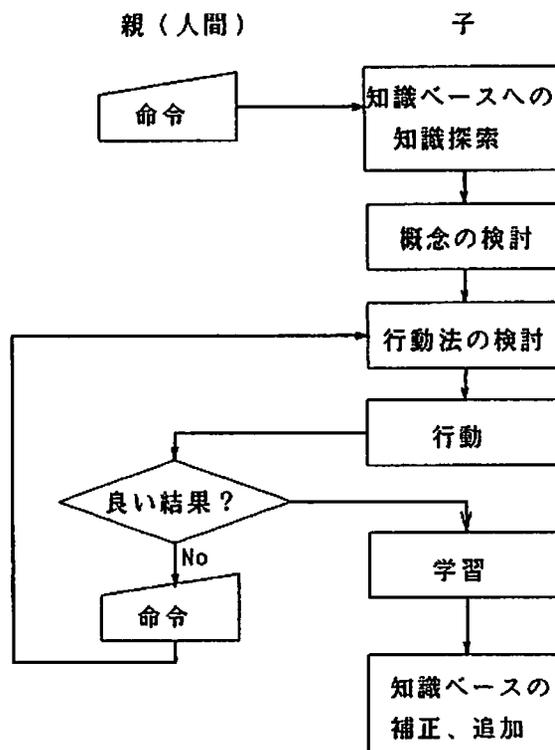


図2 自律分散ロボット

学習システムのアルゴリズム

子機ロボット群は行動としながら、今までの知識により自分達なりの補正をしながら行動する。

・結果判断

「きちんと並べているかな？」

・命令

「誰々君、もうちょっと右！」

・学習

「直されたところは、勉強しておこう！」

・知識ベースの補正、追加

4. 自律分散ロボットによる人文字作成のシミュレーション

4.1 自律分散ロボットによる人文字作成のアルゴリズム

複数の自律ロボットによる人文字作成のアルゴリズムを述べる。

まず人文字の形、順番を指示すると、各々のロボットが経験により作成したデータベースにある重み付きのリストから情報を、ニューラルネットワークにかけることによって、形と順番を連想する。大きさを指示すると、シングルトン型ファジィ推論の学習¹⁾により推論する。順番の指示がないときは、階層化意志決定法 AHP²⁾により移動場所を決定する。子機ロボット同士の衝突回避はファジィ制御により行っている。

4.2 リスト構造型データベース

子機ロボットが人文字の形状などを蓄えておくデータベースは、図3に示すようなリストネットワークで構成されている。ここでは、整列と丸の形に並ぶ場合について考えていく。この場合、図3のように一般的に2つの条件が考えられる。2つの命令語と2つの条件の、各々の要素をつなぎ、その要素を経験するたびに1つつ増加する重要度 w_{ij} を設けてある。この重要度は、何度も経験した条件はそのつど命令しなくても行えるように設けた。なおもちろん、形状の種類は必要に応じて増やせる。

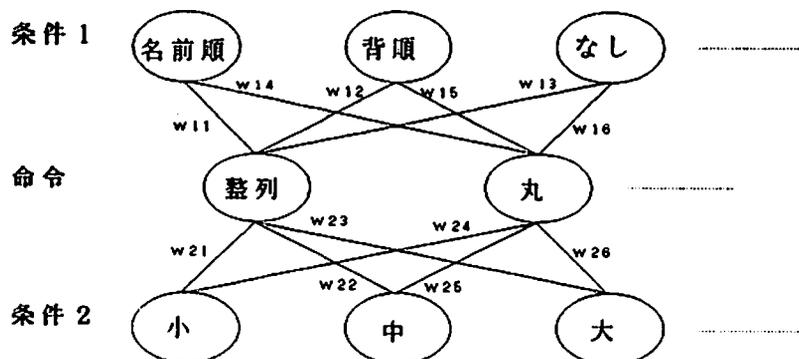


図3 人文字のリストネットワーク

4.3 形状、順番の連想

ここでは、子機ロボット一台が、どの辺に移動するべきかを連想するアルゴリズムと推論法を述べる。

次に、各命令に対する形を連想するのに、図4、図5のような9×9の出力層をもつニューラルネットワークで連想する。ニューラルネットワークのアルゴリズムは、バックプロパゲーション³⁾を用いている。

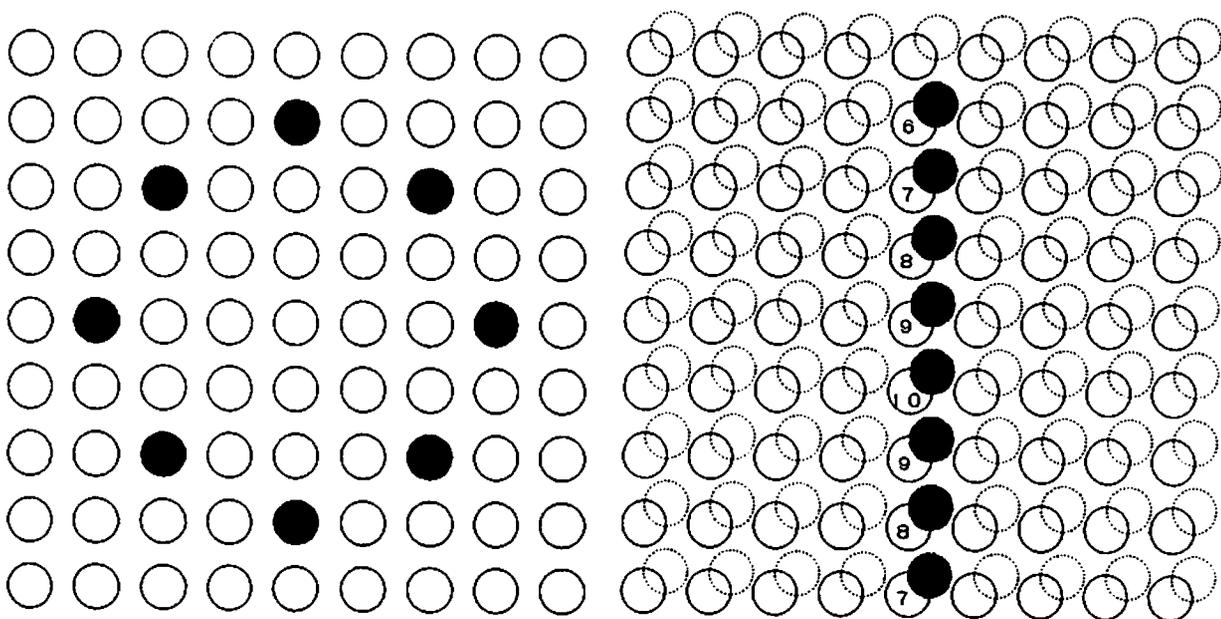


図4 丸型の連想出力

図5 整列の連想出力

図5は、整列の出力層と条件1（名前の順番）の出力層を重ねたものである。例えば名前の順に整列することを何度か経験したとき、“名前の順”の条件を与えられると、およその自分の移動場所を即座に把握できるように、第1層の出力結果に重みをつけるためのものである。

4.4 大きさの決定

次に、前節で述べたニューラルネットワークで得られた結果を、実際にはどのくらいの大きさに対応させるかを述べる。2つのニューロ間の距離 z を、2入力1出力のシングルトン型ファジィ推論で求める。まず1つ目の入力としては、各々に対する大きさ（例えば、整列の時の中ぐらいは50cmである等）である。これは、図3の条件2の各要素を呼び出すと取り出せる。2つ目の入力としては、各要素（整列、丸など）を無視した、全体としての大きさを、実際の数値として入力する。後件部はシングルトン型ファジィ推論の自動チューニング法¹⁾で、後件部出力値 z_1 とその重み w_1 を学習できるようになっている。なお、この学習法は最急降下法に基づいている。

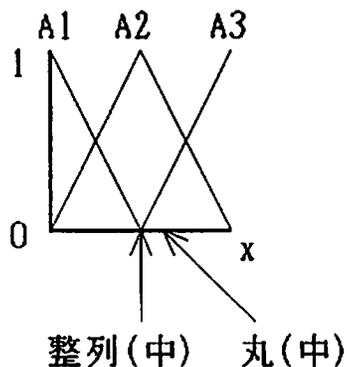


図6 各要素の入力メンバーシップ関数

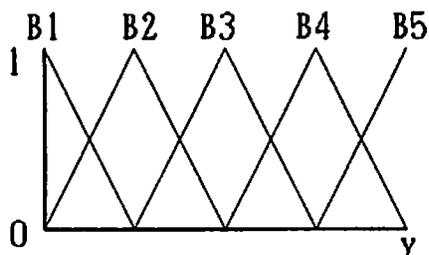


図7 全体の入力メンバーシップ関数

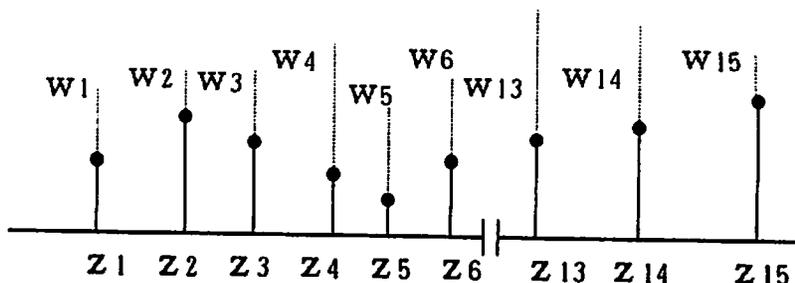


図8 後件部出力値 z_i と重み w_i

4.5 移動場所選択法

ここでは、並ぶ順番が指定されない場合の、子機ロボットがどこを選択すべきかの方法を提案する。

子機ロボットが移動場所を選択するとき、たいいていの場合、自分からいちばん近いところを希望するのが普通である。ここで、あえて移動場所の立場というものを考慮してみる。移動場所からなるべく距離の近いロボットが来てくれるのが適当であろう。そこで、安定結婚の問題⁴⁾と知られるアルゴリズムを用いて解く。安定結婚の問題とは、N人の男性と女性が集団見合いをし、おのおのの異性にこのみの順位をつけ、この順位表をもとにうまく結び付ける方法である。このように、ロボットの場合も子機ロボットと移動場所の距離により順位表を作り解いた。この方法でもある程度うまくいくことは確認できている。

しかし、例えば図9のように子機ロボットと移動場所が決まったとする。この場合、子機ロボットAにとって一番近い場所は位置cである。しかし、位置cは子機ロボットB、Cにとっても一番近い場所である。位置cにとっては子機ロボットAが一番近いので上述の方法で解くと、子機ロボットAと位置cが組となる。だが、人間がこれを解く場合、子機ロボットAは位置aと組み、

位置cは子機ロボットCと組んだ方がいいと考えるであろう。このように人間は、他の人が同じ場所を希望すれば、条件の応じて遠慮をする。また、単に距離だけを考慮するだけではなく、その相手の移動の速度や、その人は遠慮しそうな人かなどを考慮する。

そこで、各々の子機ロボットに階層化意志決定法 AHP²⁾ を用いて、場所の希望を変更するかを決定させる。子機ロボットAを図9に対応させて、その手順を以下に示していく。

- ・自分（子機ロボットA）からの距離により希望位置を順番つける。
- ・自分と同じところを希望している子機ロボットがいるかを通信により2台得て自分を#1、相手を位置cに近そうな相手から#2、#3とつける。
- ・みんなが希望してないところを1点探し、この位置を仮希望3とする。ない場合は希望3を仮希望3とする。
- ・図10のように仮希望3に対する位置までの距離、速度、遠慮度に対する目的階層をくむ。

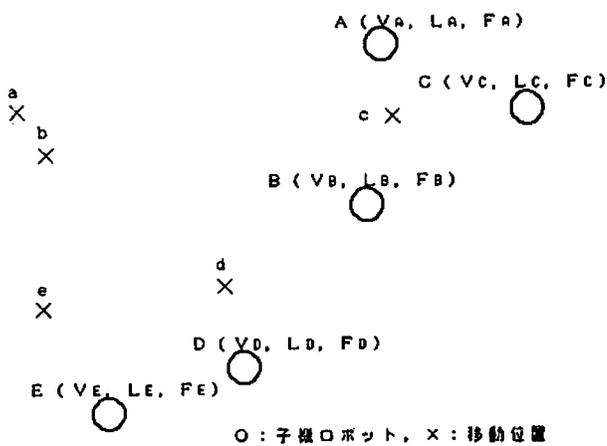


図9 子機ロボットと移動位置

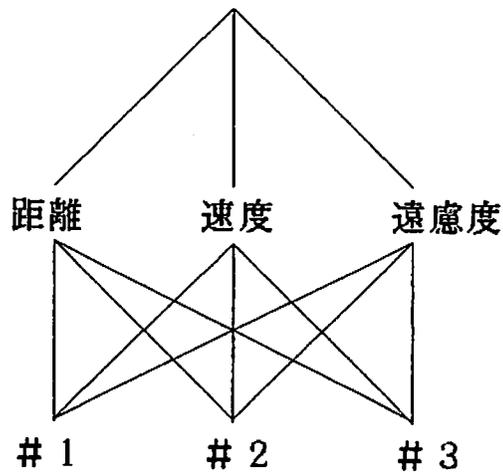


図10 目的階層

しかし、実際にはこれらの情報が常に正確計測されて正確には伝わるとはかぎらない。そこで、

表1 重要度

数値	言葉
1	同じくらい重要
3	少し重要
5	かなり重要
7	非常に重要
9	圧倒的に重要

なお、距離は短い方、速度は速い方、遠慮度は遠慮しそうなほど重要度を大きくする。この場合はそれぞれ5、3、1とする。

求めた結果により次のように希望の入れ替えを決定する。

- #1 > #2 > #3 : 仮希望3, 希望4, 希望1
- #2 > #1 > #3 : 希望2, 仮希望3, 希望1
- #2 > #3 > #1 : 希望1, 希望2, 仮希望3

この新たな希望を用いて安定結婚問題のアルゴリズムにより最終決定する。

4.6 自律分散ロボットの衝突回避ファジィ制御

同一の環境内で複数の移動ロボットが作業する場合には、ロボット同士の衝突回避の問題が生じる。複数の移動ロボットが個々の目的の達成のために自己中心的に動作しては、混乱して衝突や競合・デッドロックなどの問題を起こすのは必至である。したがって、互いに協調した衝突回避が必要不可欠である。本節では、衝突回避行動をとるのに通信情報を必要とせず、デッドロック状態に陥らないためのスキルをロボットの知識として与え、ファジィ制御を用いて自律分散型移動ロボットの衝突回避を実現する方法について述べる。そして、本手法のシミュレーション実験を報告する。

4.6.1 問題設定

ある空間内において、複数台の移動ロボットが衝突することなく、それぞれの目標とする位置に移動することを考える。

衝突回避の入力情報を図11に示す。

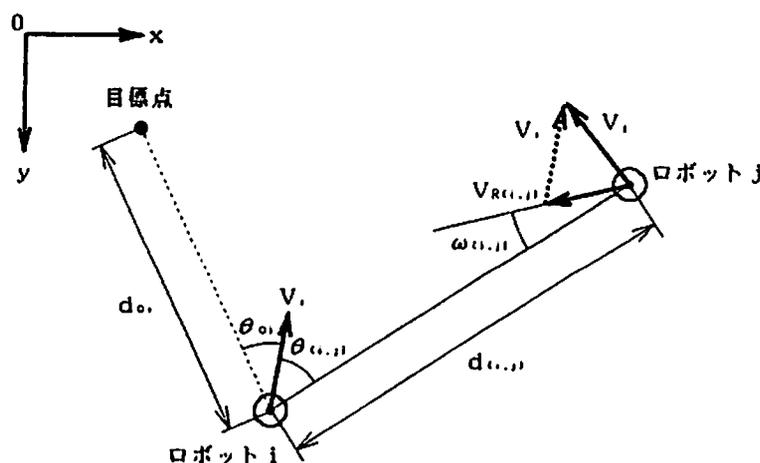


図11 ロボット i の衝突回避モデル

i が回避行動ロボット、 j が相手ロボットとする。ロボット i の入力変数は目標点の相対位置 (d_{oi}, θ_{oi}) 、ロボット j の相対位置 $(d_{(i,j)}, \theta_{(i,j)})$ などがある。

4.6.2 複数の移動ロボットの衝突回避システム

(1) 注目すべきロボットの検出

現時点で最も危険と思われる対象を一つを選び出し、回避対象とする。ここでは、相対距離が最小となるようなロボットを対象ロボット j_m とした。

(2) 衝突回避戦略

図12は、 $\theta_{(i,j)} > 0$ のとき（対象が右側に存在するとき）、ロボット i を固定した場合のロボット j の動きを示したものである。

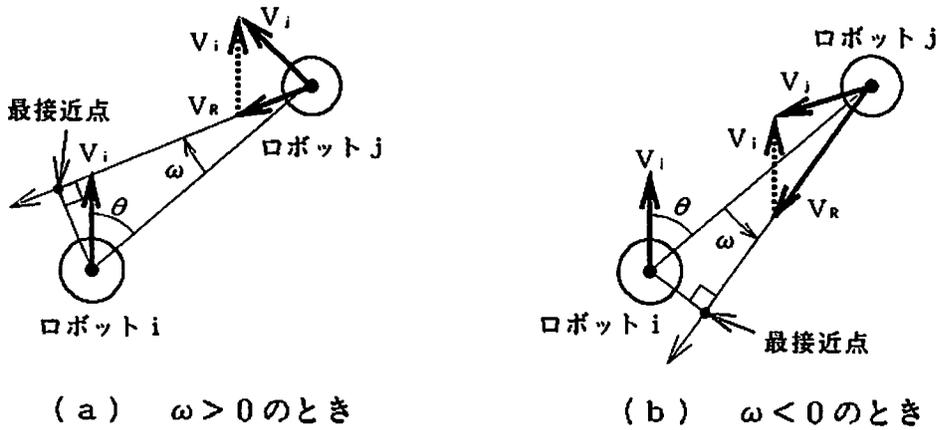


図12 ロボット i を固定したときのロボット j の動き

ロボット i は、ロボット j が最接近点に達したときに、最も危険となる。ロボット i の中心から最接近点までの距離が、ロボット半径よりも小さくなると、衝突したことになる。よって、 ω の等号関係により、内側回避か、外側回避かを決定する。

(3) 衝突回避のファジィ制御

内側回避と外側回避とそれぞれ別々にファジィ推論を行うことにする。ファジィ推論法としては、簡略化推論法⁵⁾を用いる。外側回避のファジィ推論では、入力変数として、ロボット i から見たロボット j の方位角 $\theta_{(i,j)}$ 、ロボット i とロボット j の相対距離 $d_{(i,j)}$ 、相対ベクトル $V_{R(i,j)}$ の大きさ等から、ロボット操舵角を求める。例えば、“もし、 $\theta_{(i,j)}$ が P S (Positive Small)、かつ、 $d_{(i,j)}$ が S (Small)、かつ、 $V_{R(i,j)}$ が B (Big)、なら、操舵角は L B (左に最大操舵角 -30°) とせよ。”等の制御即を与える。内側回避のファジィ推論では、入力変数として、ロボット i から見たロボット j の方位角 $\theta_{(i,j)}$ 、ロボット i とロボット j の相対距離 $d_{(i,j)}$ 、相対速度の方位角 $\theta_{R(i,j)}$ 等から、ロボット操舵角を求める。例えば、“もし、 $\theta_{(i,j)}$

$d_{(i, j)}$ がPS (Positive Small)、かつ、 $d_{(i, j)}$ がS (Small)、かつ、 $\theta_{R(i, j)}$ がNS (Negative Small)、なら、操舵角はRB (右に最大操舵角 30°)とせよ。”等の制御則を与える。

4.7 シミュレーション実験結果

図3のリストのプログラムにより、命令と条件を入力すると必要な値を提示し、その要素を使うたびに経験値を増やすこともできた。次に、形を連想するニューラルネットワークの実験は、3層で入力8、出力81で行った結果いずれの条件の場合でも収束することが確認できた。更に、シングルトン型ファジィ推論の自動チューニング¹⁾のプログラムを作成し学習できることを確認した。ここまでの結果で、形、順番、大きさを入力すると、子機ロボット1台が連想する形状を画面上に重みに比例させた大きさで出力できた。移動場所の選択では階層化意思決定法AHP²⁾を用いており、人が判断したときと同じように選択することが3回に1度ぐらいの割合であるが、この推論を用いないときに比べてかなり良い結果を得た。子機ロボット同士の衝突回避シミュレーションでは、通信情報を必要とせずに衝突回避が行われることが確かめられた。

5. おわりに

自律分散ロボットの基本設計と自律分散ロボットによる人文字作成のシミュレーションシステムを構築した。本システムは分散処理、協調作業を行っており、ロボットシステムの高機能化や拡張に応用できる。

更に、人文字作成のシミュレーションを実際のハードの適応させることを、より考慮して実験を行う。そして、来期には実際にロボットを使って実験を行う予定である。

参考文献

- 1) 水本、ファジィ制御の改善法(VI), 第8回「ファジィシステムシンポジウム」講演論文集, pp.529-532, 1992
- 2) 浅居 喜代治, ファジィ経営科学入門, オーム社, pp43-48, 1992
- 3) D.E.Rumelhart et al.: Learning Representations by Back-propagating errors, Nature, 323-9, pp.533-536
- 4) 奥村 晴彦, C言語による最新アルゴリズム事典, 技術評論社, pp.4-5, 1991
- 5) 前田, 村上, 自己調整ファジィコントローラ, 計測自動制御学会論文集, 24-2, pp.191-197, 1988