

画像処理を用いた2次元ピンポンロボット

廣田, 薫 / Hirota, Kaoru / 荒井, 良徳 / 蜂巢, 史良 /
Hachisu, Shiroh / Arai, Yoshinori

(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)

24

(開始ページ / Start Page)

57

(終了ページ / End Page)

67

(発行年 / Year)

1988-03

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00003946>

画像処理を用いた2次元ピンポンロボット

廣 田 薫*・荒 井 良 徳**・蜂 巣 史 良***

Robot-Arm-System Playing 2 Dimensional Ping-Pong Game using Image Processing Technique

Kaoru HIROTA*, Yoshinori ARAI** and Shiroh HACHISU***

Abstract

A robot-arm system equipped with a CCD camera which is able to play 2 dimensional ping-pong game has been built. The system is able to play in the form of both robot versus robot and robot versus man. In the robot control part, 25 fuzzy production rules are used. Ambiguous instructions in terms of membership functions are generated by the robot itself using imagery data from a CCD camera. Each of these instructions consists of three fuzzy items. Two of them are input (ambiguous) information concerning fuzzy point, that is where the ball was hit, and the fuzzy angle, that is from which direction the ball is coming, and the other is output information which shows the point where the ball will reach. This output information, which also indicates the point the robot should move to, is calculated based on the fuzzy inference method.

The whole system is controlled by only one 16-bit-personal-computer, and works in real time. The advantages of the proposed method are the reduction of processing time and the availability of low level devices, which have not been realized by other methods.

§ 1. 緒 言

ファジィ制御は、操作者が運用中に利用している定性的な制御戦略を言語表現した、いわゆる言語制御規則によって推論し、アルゴリズムを決定する点に特徴がある。これを利用して、プラント、列車運転の制御等の実用化も行われている。また筆者らはロボットアームに適用し、静止物体を掴み取るアルゴリズムや移動物体を掴み取るあるいは、移動マーク上に物体を設置するア

* 電気工学科計測制御専攻

** リコー中央研究所

*** 大学院工学研究科電気工学専攻修士課程

ルゴリズム及び応用例をすでに開発し、一応の成果を得た^{1~5)}。

今回は CCD カメラとロボットアームを用いて2次元のピンポンを行うロボットシステムを構築した結果を報告する⁶⁾。本システムでは、ロボット対ロボットでのピンポンのほか、ロボット対人間でのピンポンを行う実験も行った。ロボットアームの制御には、2つの入力情報と1つの出力情報によるファジィプロダクションルールを25個用いている。入力情報は相手がボールを打ち返した位置とボールが自分に対してどの程度の角度で進んで来ているかを表す。これらの入力情報はロボットが自ら CCD カメラにより抽出し、処理時間の制約からメンバーシップ関数を用いてあいまいな情報として扱っている。そしてファジィ推論の出力情報はボールがどこに到達するか、すなわちロボットの移動距離を示している。

本システムでは、一台の16ビットパーソナルコンピュータ(5MHz クロック)のみにより総てを実時間制御している。通常、この種の画像処理や制御には、多大な処理時間やメモリが必要になるのであるが、必要最小限の画像情報にファジィ推論を併用することにより、比較的低レベルの機器構成での実時間処理が実現出来た。

§2. 2次元ピンポンロボットの制御アルゴリズム

図1にシステム概略図、図2にシステム構成図、図3に2次元ピンポンロボットの動作フロー

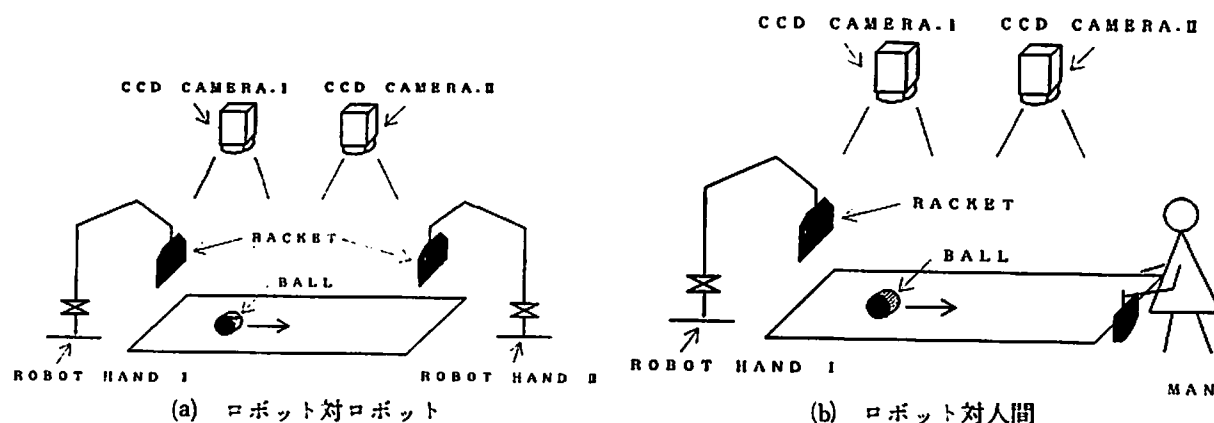


図1 2次元ピンポンロボットシステム概略図

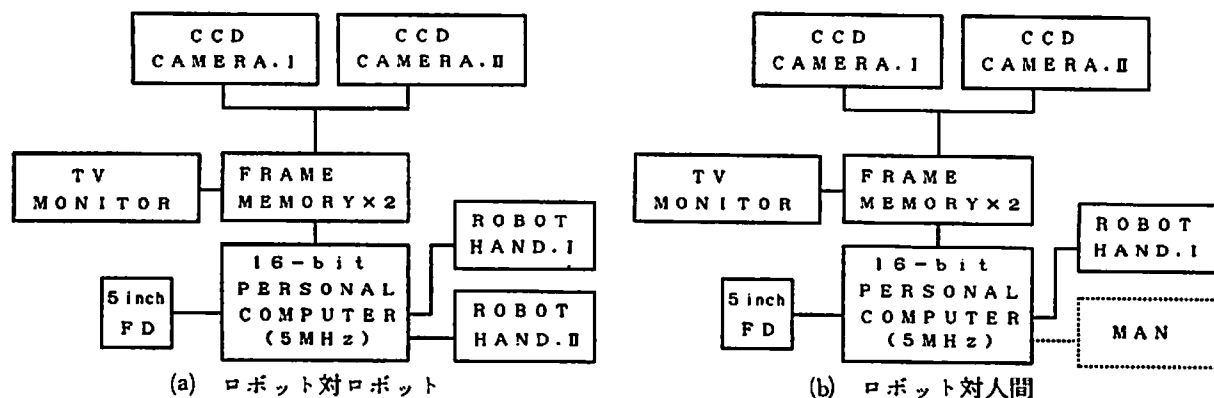


図2 ピンポンロボットのシステム構成

チャート，を示す。ここでいずれも(a)はロボット対ロボット，(b)はロボット対人間の場合である。

まずボールがロボットあるいは人間によって打ち出されると，打ち出された側の CCD カメラによってその位置及び進行角度を観測し，ファジィ推論によってボールの到達位置を推論する。次に推論結果に基づいてロボットを移動し，CCD カメラを自分の側に切り替え，ボールが近付いたら向かって来たボールを相手方向に打ち返す。この動作を繰り返すことによって2次元ピンポンを行うわけである。

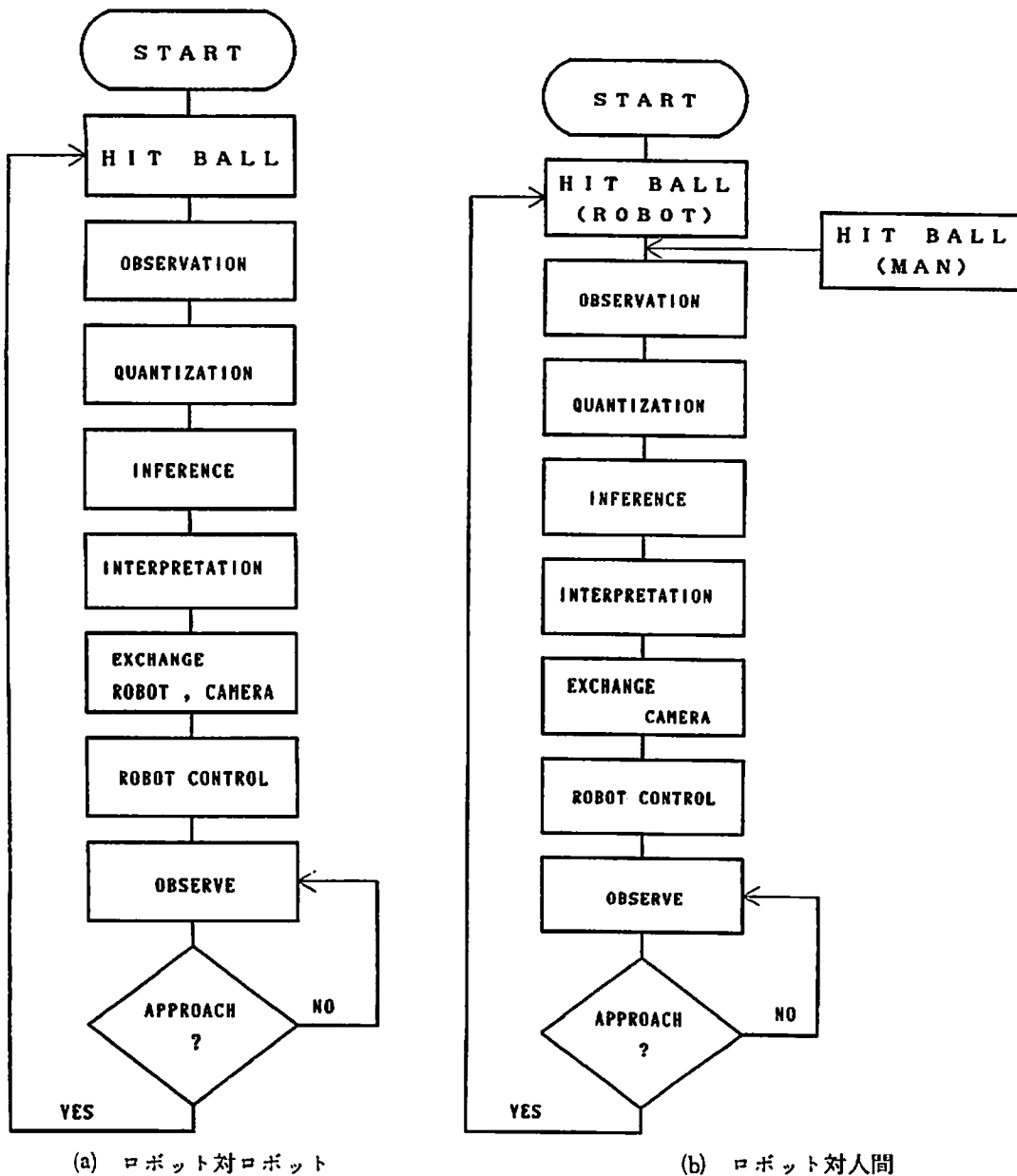


図3 2次元ピンポンロボットの動作フローチャート

以下このフローチャートの流れにそって主なブロックについて説明していく。

2.1 観測部

ここでは打ち出されたボールを観測し，必要な情報の抽出を行う。

必要な情報はボールが打ち出されたときの位置とその進行角度であり、CCDカメラから取り込んだ画像を処理して求める。また、本システムでは画像の実時間処理を行わなければならないが、省力形システムの実現のために特別な画像処理用のハードを用いることを避けているため以下に述べる方法によって、その処理時間の短縮をはかった。

本システムでは、ボールは2次元平面上を真線的に移動するものとした。必要な状態情報は、ボールを打ち出したおおよその位置とボールが進行するおおよその角度の2つである。2つの状態情報の抽出は、作業台(コート)を上側から写し出すCCDカメラから取り込んだ画像を処理して行う。カメラの位置関係はわかっているので打ち出した位置は簡単な座標変換によって求めることが可能である。ボールの角度はその位置を2回観測することによって算出可能である。従って状態を算出するには、ボールの位置座標を知れば十分である。

次に画像処理により、撮り込んだ画像からボールであることを実時間で判別する方法を述べる。用いた画像入力装置は、 256×256 画素を各々6bits(64階調)で表現する能力を持つフレームメモリ2枚のみである。64階調(0~63)のうち、黒レベルが0、白レベルが63の値をとる。またここでは、作業台(コート)は黒っぽく、反対にボールは白っぽいものとして、その区別には固定しきい値による判別法を採用した。画像上の座標は下に x 軸正、右に y 軸正とし、原点は左上とする。この画面上で物体は x 軸方向に移動する(図4参照)。

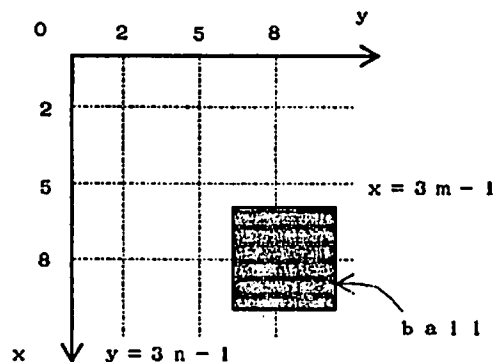


図4 画像探索方法

まず、画像データの原点より x 軸方向に3画素おきに($y=0$ のライン上を3画素毎に)、あらかじめ定めたしきい値以上の画素が存在するか否かをみていく。もし無ければ、 $y=2$ のライン上を同じく x 方向に探索していく。このライン上にも存在しなければ $y=5$ のライン……として、一般に $y=3n-1$ のライン上を $x=3m-1$ 毎に探索していく。しきい値以上の値を持つ画素はボールである可能性もあるが、雑音である可能性も十分考えられる。ボールは十分大きいので3画素毎に調べても十分であり、それにより処理時間の短縮をはかった。もし、ある位置でしきい値以上の値を持つ画素が見つかったならば、その画素をいったん記憶しておく。見つかった画面上の座標を(a, b)とすると、まず、 $y=b$ ライン上にしきい値以上の画素がいくつあ

るかを調べる。その画素がもし5画素以上であればボールであるという可能性が強く、それを示す変数(p)をカウント($p=p+1$)し、3画素以下であれば雑音であった可能性が強く、それを示す変数(n)をカウント($n=n+1$)する。次のライン($y=b+1$)上についても各画素毎について調べ、同様に p , n をカウントしていく。このようにして、何ラインかを調べていくうちに、 p が4以上、つまりボールの一部を含んでいると思われるラインが4本以上あった場合、この付近にボールがあったと判断し、(a , b)をその代表点とする。しかし、もしも p が4以上にならないうちに n が3以上になった場合、つまり雑音を含んだラインが3本以上となった場合、この付近は物体ではなく雑音の多い地域であったと判断し、 n が3となったラインの次のラインから、再度3画素毎の探索を行う。

このように、ある程度の雑音があっても、ボールが十分な大きさを持つことを利用して、処理を簡略化し、またそのプログラムをアセンブラ言語で記すことにより、処理速度の向上を計った。この観測部で抽出された2つのデータは、測定値として確定した値のまま、以下のブロックに引き渡される。

2.2 量子化部

ここでは観測部で抽出された確定値情報(測定値)を、高速処理による不正確さ等を考慮したあいまい情報へと拡張解釈する。

あいまい情報としての打ち出したときの位置及び角度は、測定値を2・3節で述べる規格化した台集合の要素へ写像することにより求める。ここで確定値情報から台集合へ写像する際のスケールリングファクターはあらかじめ与えておく。

2.3 推論部

ここでは量子化部で求めた2つのあいまい情報(H° , A°)を基にして制御出力 P° の推論を行う。またここで用いた推論方式は、Zadeh によって提案された compositional rule of inference⁷⁾ に基づいている。

いま、あいまい関係 R が既知のもとで、前提 F° が与えられると結論 G° は、

$$G^\circ = F^\circ \circ R \quad (1)$$

で表される。ここで $\circ$ は合成演算と呼ばれるもので、Max Min 演算を用いた。ここでは R に対する命題関数 f として、メンバーシップ関数による積($\otimes$)を用いた。

$$R = f(F, G) = F \otimes G \quad (2)$$

さて具体的には、前提で与えられる状態情報にはボールを打った位置とボールの進行角度の2種類があり、それぞれのファジィ集合を H , A とする。それぞれの台集合に対して表1に示すように、規格化したあいまいラベルを用意する。また、(出力)結果情報はボールの到達予想位置であり、このファジィ集合に対しても同様にあいまいラベル P を用意するわけであるが、これは本ロボットシステムの対称性から上記の H のラベルと同じものである。

表1 H, A, P のファジィラベル

(a) Fuzzy labels of H

	left														right				
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
H1	1	1	.9	.6	.2	.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H2	0	.1	.2	.6	.9	1	.9	.6	.2	.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H3	0	0	0	0	0	.1	.2	.6	.9	1	.9	.6	.2	.1	0	0	0	0	0
H4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	.1	.2	.6	.9	1	.9	.6	.2	.1	0
H5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	.1	.2	.6	.9	1	1

(b) Fuzzy labels of A

	negative															positive					
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
A1	1	1	.9	.6	.2	.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A2	0	.1	.2	.4	.8	1	1	.8	.4	.2	.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A3	0	0	0	0	0	0	.1	.2	.6	.9	1	.9	.6	.2	.1	0	0	0	0	0	0
A4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	.1	.2	.4	.8	1	1	.8	.6	.2	.1	0
A5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	.1	.2	.6	.9	1	1

(c) Fuzzy labels of P

	left														right				
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
P1	1	1	.9	.6	.2	.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P2	0	.1	.2	.6	.9	1	.9	.6	.2	.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P3	0	0	0	0	0	.1	.2	.6	.9	1	.9	.6	.2	.1	0	0	0	0	0
P4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	.1	.2	.6	.9	1	.9	.6	.2	.1	0
P5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	.1	.2	.6	.9	1	1

状態 (H , A) に対して予想される P を表2に示すように定めると, 実際の制御規則は次の 25 個の複合命題で表現される。

IF H is H_1 AND A is A_1 THEN P is P_1 ELSE

IF H is H_1 AND A is A_2 THEN P is P_2 ELSE

⋮ ⋮ ⋮

IF H is H_5 AND A is A_4 THEN P is P_4 ELSE

IF H is H_5 AND A is A_5 THEN P is P_5

この複合命題により, 求まるあいまい関係 R は $19 \times 21 \times 19$ の 3 次元配列となり (2) 式に従って

予め計算して記憶しておく。

表2 ルールマップ

		negative			positive	
		A1	A2	A3	A4	A5
left	H1	P1	P2	P3	P4	P5
	H2	P1	P2	P3	P4	P5
	H3	P1	P2	P3	P4	P5
	H4	P1	P2	P3	P4	P5
right	H5	P1	P2	P3	P4	P5

ある状態 (H° , A°) が与えられると(1)式により出力 P° が推論される。

このようにして25個の命題（制御規則）により、関係 R を求めておき、制御出力の推論を行う。制御出力はもちろんあいまい変数として出力されるわけであり、ボールがどのあたりに到達する、つまりハンドルをどの辺りに持っていったら良いかという情報を表している。

2.4 解釈部

ここでは推論部で得られたあいまい出力 P° をもとに、確定数 ρ への解釈変換を行う。確定数への解釈変換では、まず P° を実際の距離に解釈変換してから座標値に変換する。

あいまい出力 P° から確定数 ρ への解釈変換としては、一定のしきい値以上になる範囲からメンバーシップ値による重み付けの後、重心を採用する方法を用いた。

2.5 ロボット制御部

ここでは解釈部で求めた座標までハンドを移動させる。実際の移動は得られた座標を基にロボットの姿勢計算を行い、各関節モーターに対して、計算で得られた角度に応じたステップ数を出力する。

2.6 打ち出し部

ここでは CCD カメラによってボールの到達を観測し一定の距離まで近付いたらボールを打ち返す。

以上 2.1~2.6 までのブロックを順に繰り返すことによって2次元ピンポンを行うわけである。

§3. 運用実験とその結果

画像処理で得られるあいまい位置、角度を基にして、2次元のピンポンを行うロボット制御システムを構築し運用実験を行った。システム構成は5自由度の垂直多関節型ロボットアーム RM 501（ムーブマスターII，三菱製）2台，ITV カメラとして CCD カメラ XC-27（SONY 製）2台，256×256 画素で各画素が 64 階調（6 ビット）の分解能を持つ画像フレームメモリ ED-1161（IMAGE PC，EDEC 製）及びカメラの画像を表示する画像モニター，そしてロボット及び画像装置に接続され，ロボットの制御及び各種処理を行う 16 ビットのパーソナルコンピュータ PC-

9800 (CPU は 8086 と 8087, 5MHz Clock, 384K RAM, NEC) 及び周辺機器 (キーボード, モニター, 5 inch フロッピーディスク装置) から成る。またボールは, 直径約 5 cm で高さ約 3 cm

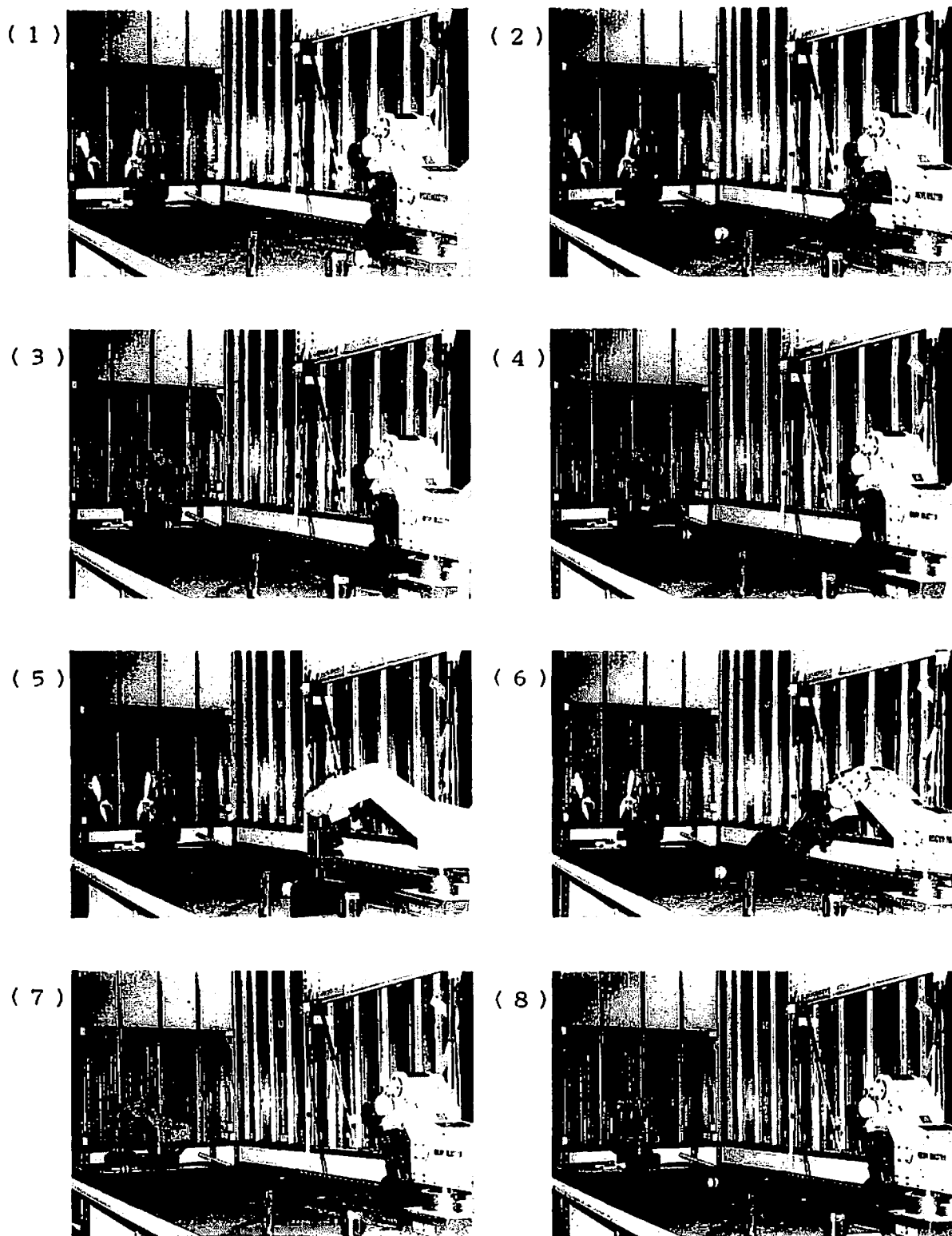
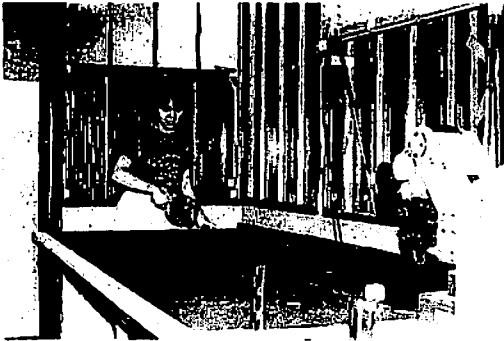


写真1 ピンポンロボットの動作例

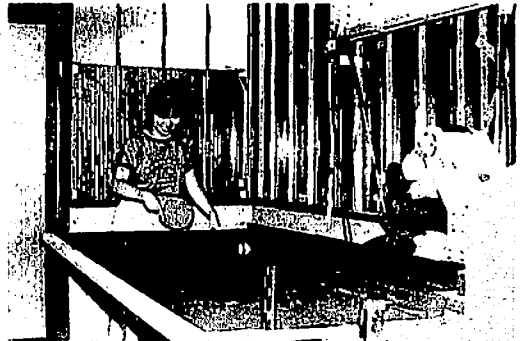
(a) ロボット対ロボット

の筒を用いた。またロボットは、ラケットとして約 18×10 cmの薄いプラスチックの板を握っている。また人間の場合には通常のピンポンラケットを用いている。

(1)



(2)



(3)



(4)



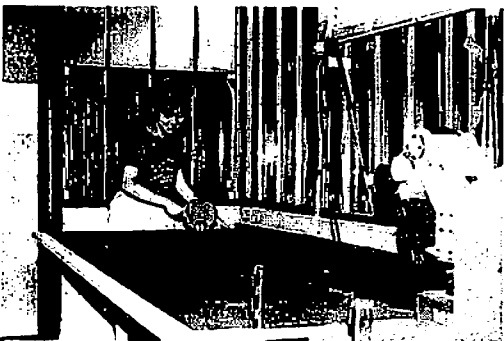
(5)



(6)



(7)



(8)

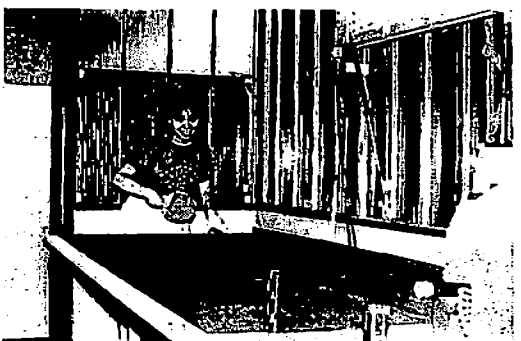


写真1 ピンポンロボットの動作例
(b) ロボット対人間

実際のプログラムは、N88-日本語 BASIC (86) (MS-DOS 版) 及びアセンブラ言語で作成した (BASIC 部分はおよそ 800 ステップ, アセンブラ部分はおよそ 2kB (データを含む))。プログラムの流れは BASIC によって記し, 画像処理ルーチンやファジィ推論部でアセンブラを用いた。

以上のような機器構成の基での運用実験結果を報告する。一台のロボットから打ち出されたボールは反対側のロボットに向かって進む。もう一台のロボットは CCD カメラを用いて必要な情報を取得し, 推論計算を行い, 向かってきたボールを相手に打ち返す。

運用実験の一例を写真 1 に, また数値例を表 3 に示す。

表 3 運用実験の数値例

ボールの位置(mm)	0	11	43	242	-219
進行角度(°)	0	-1	5	-8	0
推論結果(mm)	0	-26	170	-287	0

(ただし進行角度は自分に対する角度である。)

ボールの速度が速過ぎたり (約 60cm/秒以上), ロボットの移動距離が大きい場合には打ち損なうこともあり, また, 打ったボールが届かない等の原因で失敗することもある。ロボット同士の打ち合いでは平均 3 往復程度, 最高 8 往復することができた。また一方を人間が行った実験を同時に行ったがこの場合, 平均で 4 往復程度, 最高 15 往復することができた。

§ 4. 結 言

CCD カメラで写し出した画像データを処理し, 必要な情報を求め, ロボット対ロボットまたはロボット対人間で 2 次元のピンポンを行うロボットシステムを構築した。システムの制御にはファジィ制御を用いた。

ファジィ制御を導入することによって, 必要となる情報はあいまいでよく, 通常は処理時間やメモリが問題となる実時間画像処理を用いているにもかかわらず, 16ビットパーソナルコンピュータによる比較的低レベルの機器構成で実現できた。

今回のシステムでは, 平均 3~4 往復程度であるが, ロボットや画像処理装置等は, その動作範囲も狭く, また特別なハードも備わっていない比較的低レベルの一般向けの装置であり, シミュレーションの段階としては十分満足のいく結果であった。

参 考 文 献

- 1) 廣田, 荒井, 画像処理を用いたあいまい知能ロボット: 法政大学工学部研究集報, 22. pp. 107/118 (1986).
- 2) 廣田, 荒井, 蜂巣, ファジィ論理による移動目標認識および移動物体置換ロボットシステム: 第 2 回ファジィシステムシンポジウム講演論文集, pp. 15/22 (1986).
- 3) K. Hirota, Y. Arai, S. Hachisu; Moving Mark Recognition and Moving Object Manipulation in

Fuzzy Controlled Robot: *Control Theory and Advanced Technology*, Mita Press (Tokyo) (invited paper), vol. 2, No. 3, pp. 399/418 (1986).

- 4) 廣田, 荒井, 蜂巢, 実時間形状認識とロボット制御への適用: 法政大学工学部研究集報, 23, pp. 105/121 (1987).
- 5) K. Hirota, Y. Arai, S. Hachisu: Real Time Fuzzy Pattern Recognition and Fuzzy Controlled Robot-arm: Preprints of Second IFSA Congress, pp. 274/277, (1987).
- 6) K. Hirota, Y. Arai, S. Hachisu: Fuzzy Controlled Intelligent Robot, Preprint of Second IFSA Congress, pp. 823-826, (1987).
- 7) L.A. Zadeh: Outline of a New Approach to the Analysis of Complex System and Decision Process, *IEEE Trans SMC*, SMC-3, pp. 28-44 (1973).