

ジグソーパズル組立ロボットシステム (JPARS) における視覚認識

Hirota, Kaoru / Ohto, Yoshikazu / 大戸, 吉一 / 廣田, 薫

(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)

22

(開始ページ / Start Page)

87

(終了ページ / End Page)

93

(発行年 / Year)

1986-03

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00004051>

ジグソーパズル組立ロボットシステム (JPARS) における視覚認識

廣 田 薫*・大 戸 吉 一*

Image Recognition in Jigsaw Puzzle Assembly Robot System (JPARS)

Kaoru HIROTA* and Yoshikazu OHTO*

Abstract

An image recognition part of the Jigsaw Puzzle Assembly Robot System (JPARS) is reported. JPARS consists of two industrial arm robots (RM-501), a 16 bits personal computer (PC-9801), a CCD camera, and an image input unit (ED-1161, 256×240 pixels & 64 gray levels). It assembles a jigsaw puzzle with the aid of image processing. A visual recognition part, which consists of detection part of piece corners and judgement part of piece type, is reported with several illustrations.

§1. 緒 言

従来人間が行ってきた作業をロボットに行わせる試みが盛んに行われている。特に、ロボットによる部品の組立は数多く行われており、工場の製造ラインに導入されている。しかしそれらは単純な動作をロボットに覚えさせ、単に繰り返しをするだけのものであり、複雑な作業を行わせるには、まだ数多くの問題点が残されている。

人間が行う複雑な作業の1つに、パズルの組立がある。パズルを計算機を用いて解く試みは、初期の人工知能の研究で多く見られる¹⁾。現在、それらの人間的な作業を機械に行わせる試みが数多く行われている。

Jigsaw Puzzle を題材としたロボット制御の研究は最近になって韓国の Oh 等により発表されているが²⁾、それはランダムにカットされた紙片(ピース)を組み立てるものであり、一般的な市販の Jigsaw Puzzle を組み立てる研究は、まだ見られない。本研究では、市販の Jigsaw Puzzle を対象にして、それを組み立てるロボットシステムの構築を試みた。そのうち、視覚認識部分が

* 電気工学科計測制御専攻

完成したので報告する。

§ 2 で Jigsaw Puzzle の組立手順, § 3 では本システムの構成, § 4 ではピースの認識について, § 5 ではパズル組立のシミュレーション方法について述べた。

§ 2. Jigsaw Puzzle の組立

写真 1 に Jigsaw Puzzle (以下 JP と略す) の一例を示す。バラバラになった JP を組み立てるには, それぞれのピースが完成図のどの部分であるかを調べればよい。計算機に JP を解かせるには, 基本的にはマッチング法の適用が可能であり, 画像処理装置を用いて実現できる。本システムが JP を組立てる手順 (図 1) は, まず全てのピースの位置と型を認識・記録し, 計算機による組立のシミュレーションを行った後, 実際にロボットアームによって JP の組立を行うというものである。

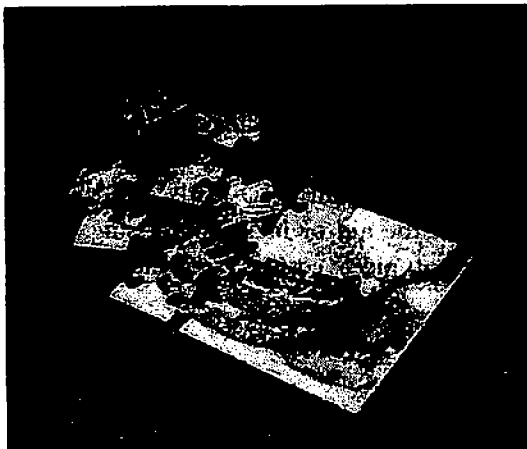


写真 1 Jigsaw puzzle.

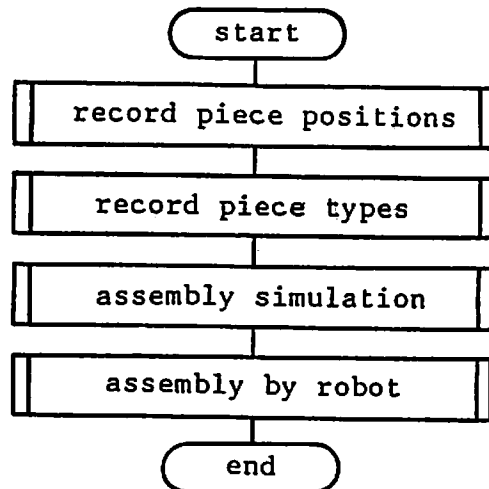


図 1 Flow chart of whole system.

なお, このシステムの名称は, Jigsaw Puzzle 組立ロボットシステムの英訳, Jigsaw Puzzle Assembly Robot System の頭文字をとり, JPARS と呼ぶことにする。

§ 3. システム構成

1) ハードウェア

JPARS は NEC の 16 ビットパーソナルコンピュータ PC-9801 のシステムを中心とし, 2 台のロボットアームと画像入力装置などで構成される (図 2 参照)。ロボットアームは垂直多関節型 5 自由度の三菱製小型産業用ロボット RM-501 である。一台がピース組立用, もう一台が CCD カメラ移動用である。画像入力装置 (Edec 社製 ED-1161) は, 解像度 256×240 画素・64 階調モノクロで, PC-9801 専用であり, 画像メモリが CPU のメモリ上にあるため, CPU から直接アクセスが可能である。マニピュレータは現在試作中であり, JP のピース組立専用のもので, ピースを運搬及び回転する機能を持つ。

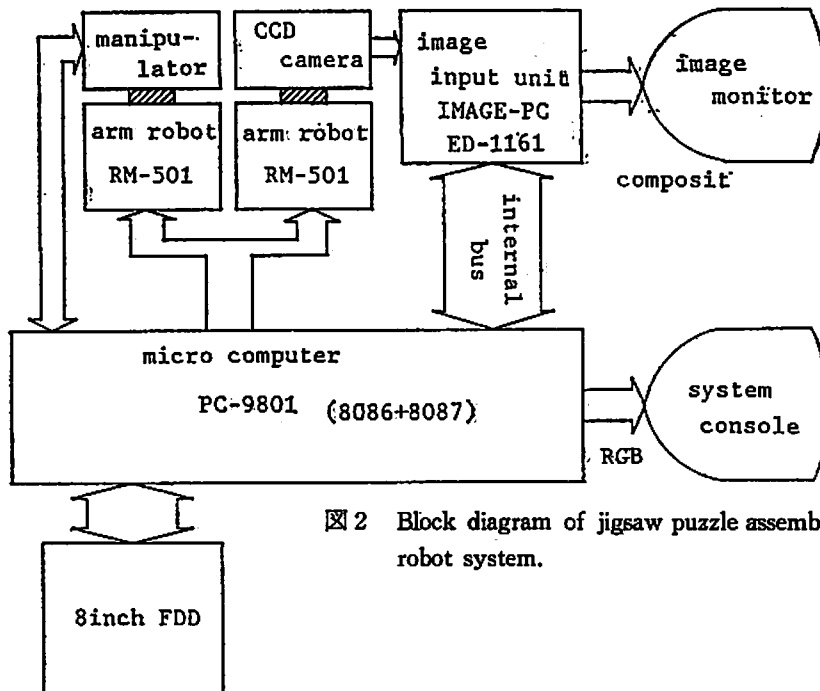
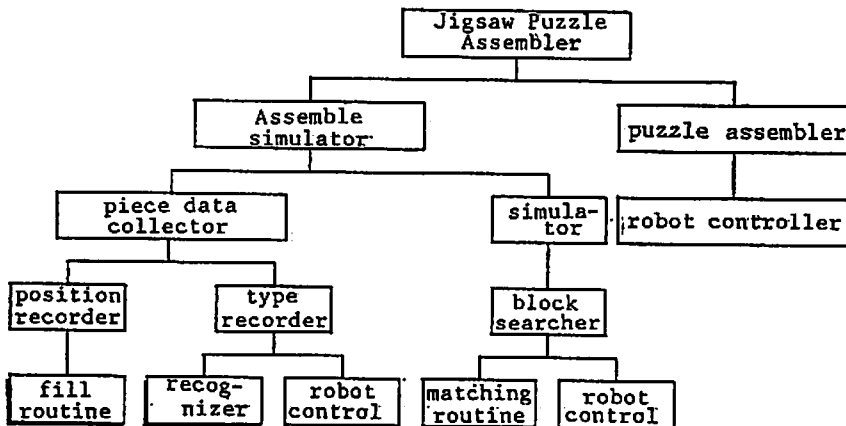


図2 Block diagram of jigsaw puzzle assembly robot system.



: in Pascal Language
 : in Assembler Language

図3 Software structure.

2) ソフトウェア

JPARS のソフトウェアは、JP 組立シミュレーションを行う Assembly simulator と、ロボットによる組立を行う Puzzle assembler に分割される (図3)。

JPARS は、Pascal と Macro Assembler で書かれている。全体的には Pascal で構成し、画像処理など、計算量の多い部分については、Assembler で書いた module をサブルーチンとして Pascal にリンクし、処理時間の短縮をはかっている。

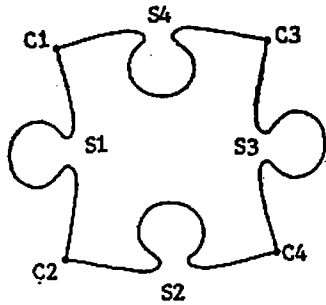


図4 Example of jigsaw puzzle piece.

§4. ピースの認識

通常 JP のピースは図4のような形状をしている。ピースは4つのコーナC1~C4と、4つの辺S1~S4から成る。4つの辺の形状によってピースタイプを分類することができる。

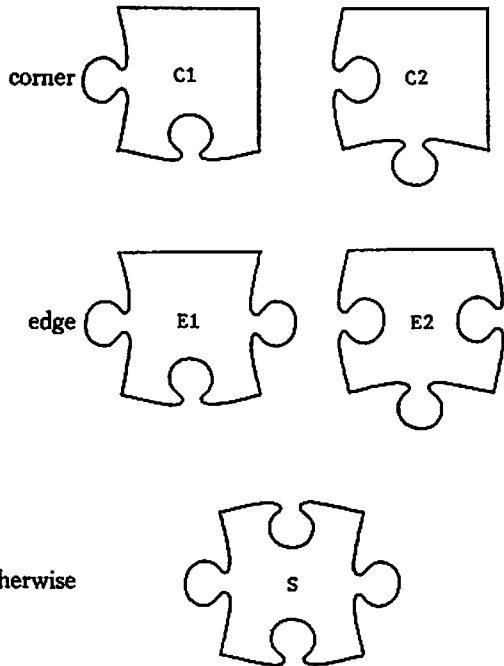


図5 5 piece-types of jigsaw puzzle.

図5に示した5つのピースタイプは、JP のピースの中で最も標準的なものである。ピース数の多いJPでは、これ以外のピースタイプも見られるが、ピース数の少ないJPでは、ほとんどこの5つのピースタイプしか見られない。また、ピースタイプがこの5つしかないJPでは、どれか1つでもピースが確定すれば他の全てのピースタイプとピースの方向が決定する(図6)。これは、ピースのマッチングを行ってパズルを組み立てるJPARSでは大変都合が良い。これらの理由から、JPARSではピースタイプを5つに限定した。

ピースタイプは、ここでは、コーナに使われるものをC1, C2, エッジに使われるものをE1, E2,

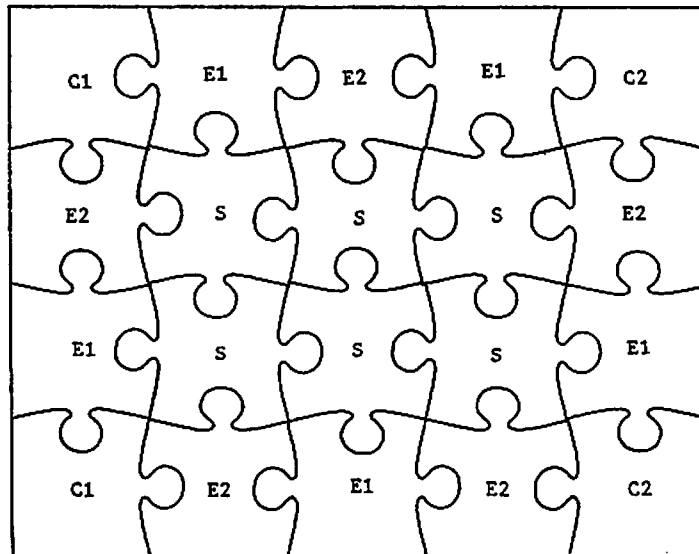


図6 Piece position and piece type.

そして他のものをSと呼ぶことにした。

1) コーナの検出

ピース認識ルーチンの recognizer は、ピースの4 コーナを検出する部分と、ピースタイプを判定する部分から成る(図7)。ピースのコーナを求めるのは、ピースの辺の形状を調べる時に必要なためである。

ピースのコーナ形状は直線が垂直に折れた点が理想であり、コーナ検出ルーチン corner detector は、このような点を4点検出する(図8)。まずピースのエッジを見つけ、前処理を行った後、出発点を設定し、エッジのトレースを開始する。この時点で、ある程度の長さだけエッジが

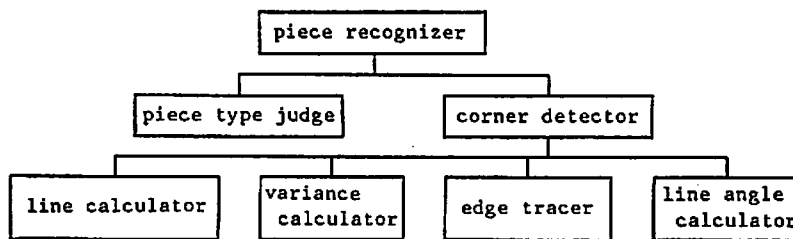


図7 Structure of piece recognizer.

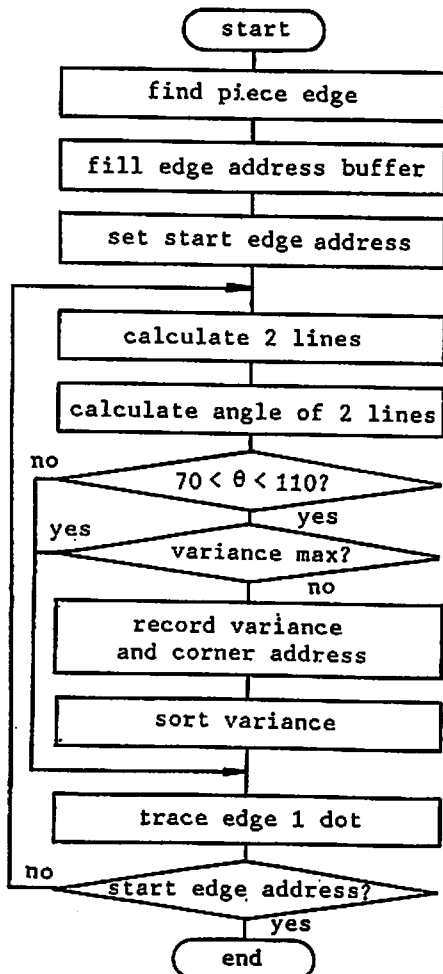


図8 Corner search algorithm.

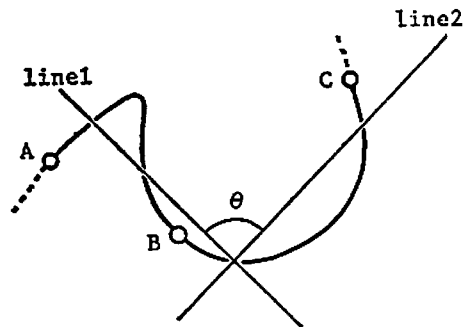


図9 Edge and lines.

記録されている。

今トレースしているエッジの先端をAとし、記録してあるエッジの末端をC, AとCの中点をBとする。さらに、AからBまでのエッジを近似した直線をline1, BからCまでのエッジを近似した直線をline2とし、2直線のなす角を θ とする(図9)。 θ が $70^\circ \sim 110^\circ$ に含まれない場合はコーナでないとし、エッジのトレースを再開し、 $70^\circ \sim 110^\circ$ に含まれる場合は、さらにエッジのその近似直線に対する分散を求め、エッジに沿ってピースを一周トレースした時点で、最小の分散を持つ4点が求められるように処理を行っている。

2) ピースタイプの判定

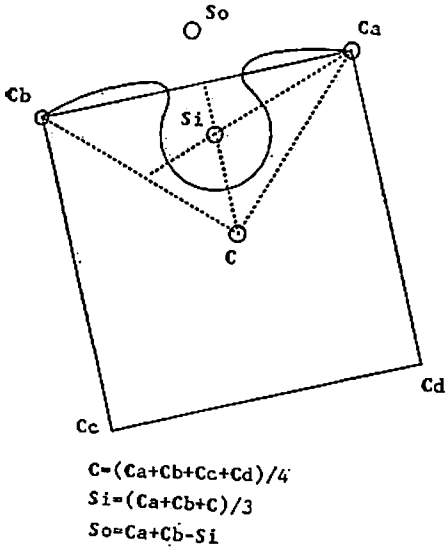
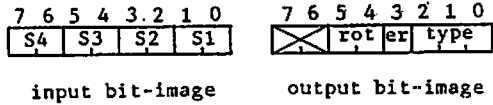


図10 Positions of S_i and S_o .



low	high	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
0	0	08	08	08	08	08	08	08	08	08	08	08	08	08	08	08	08
1	0	08	08	08	13	08	08	08	24	08	08	08	08	08	08	08	08
2	0	08	08	08	08	08	08	08	08	08	08	08	08	08	08	08	08
3	0	08	33	08	01	08	35	08	22	08	08	08	08	08	08	08	08
4	0	08	08	08	08	08	08	08	08	08	08	08	08	08	03	05	08
5	0	08	08	08	15	08	08	08	08	08	08	08	08	14	08	08	08
6	0	08	08	08	08	08	08	08	08	08	08	08	08	08	08	08	08
7	0	08	04	08	02	08	08	08	08	08	08	08	08	08	08	08	08
8	0	08	08	08	08	08	08	08	08	08	08	08	08	08	08	08	08
9	0	08	08	08	08	08	08	08	08	08	08	08	08	08	08	08	08
A	0	08	08	08	08	08	08	08	08	08	08	08	08	08	08	08	08
B	0	08	08	08	08	08	08	08	08	08	08	08	08	08	08	08	08
C	0	08	08	08	08	23	34	08	08	08	08	08	08	11	32	08	08
D	0	08	08	08	08	25	08	08	08	08	08	08	08	12	08	08	08
E	0	08	08	08	08	08	08	08	08	08	08	08	08	08	08	08	08
F	0	08	08	08	08	08	08	08	08	08	08	08	08	08	08	08	08

表1 Translation table to judge piece type

ピースの型判定は、前述のようにピースの4辺の各々が、凸状、凹状、平坦のいずれの形状しているかを調べて行う。ピースの辺の形状は、図10の S_i と S_o の位置にピースが存在するか否かによって判断する。

ピースの4辺の形状からピースタイプを求めるのに、表1に示す変換テーブルを用いた。変換テーブルは256バイトの大きさである。ピースの4辺の形状情報を持つ8ビットデータをオフセットアドレスとした1バイトデータを参照することにより、ピースタイプなどの情報を得る。

§5. JP 組立のシミュレーション

全てのピースの位置と型を記録した後、計算機上で組立のシミュレーションを行う。完成図をピースに対応する $m \times n$ のブロック (ピース・ブロック) に分割し、各々のブロックに入るべきピースを探索していく。探索では注目ブロックと候補となるピースとの画像間差分をとり、類似度が高く、他に類似したピースがない場合に、そのピースと決定する。

	1	2	3	...	m-2	m-1	m
1	3	2	2	...	2	2	3
2	2	1	1		1	1	2
3	2	1	1		1	1	2
⋮							⋮
n-2	2	1	1		1	1	2
n-1	2	1	1		1	1	2
n	3	2	2	...	2	2	3

図11 Initial status of piece-block priority.

画像間差分によるマッチングを行う場合、ピースを完成図の注目ブロックに対し正規化する必要がある。ピースのコーナをピースブロックのコーナに合わせるように affine 変換をほどこし、ピース部分だけの画像間差分をとる。

マッチングの結果、該当するピースが複数存在した場合には、他のブロックの探索に移る。

ピース探索は、ピースブロックのプライオリティの高い順に行う。図11がプライオリティの初期状態である。よって、最初に探索が行われるピースブロックは4隅のブロッ

クで、次に縁、最後に他のブロックとなる。

探索の結果によりピースブロックのプライオリティを更新する。探索が成功し、該当ピースが見つかった場合、近傍8ブロックのプライオリティを図12の(a)のように増加し、探索が失敗し、該当ピースを決定できなかった場合は、

	-1	0	+1
-1	+1	+2	+1
0	+2	0	+2
+1	+1	+2	+1

success

	-1	0	+1
-1	0	0	0
0	0	-1	0
+1	0	0	0

failure

図12 Priority renewal.

注目ブロックのプライオリティを減少する。プライオリティの更新の後、再びピース探索とプライオリティの更新を繰り返し、最終的にパズル組立のシミュレーションを完成する。

§ 6. 結 言

現在 JPARS は視覚認識部分まで完成しており、ロボットによる組立を残すのみとなった。しかしながら、本システムの難しい点は視覚認識部分であり、ロボットによる組立は、さほど複雑な作業ではないと思われる。現在、組立部分についても研究が進展中である。

JPARS のような小規模の機器構成のシステムで問題となるのは処理速度である。JPARS は、画像処理部分をアセンブラ言語で記述し、浮動小数点演算を NDP（数値演算プロセッサ）8087 を直接使って計算した。したがって、このクラスのパーソナルコンピュータとしては計算能力はある程度水準にあるが、CPU クロックは 5 MHz とやや遅い。したがって、1つのピースのコーナ検出に約15秒、1つのピースのマッチングに1分30秒ほどかかる。アルゴリズムの改良および計算機の処理能力の向上などにより、計算時間を短縮する必要がある。

JPARS では JP のピースタイプを5つに限定したが、他のピースタイプも現在の認識方法の部分的な改良により可能である。さらに組立シミュレーション方法の変更により、他のピースタイプを含む JP 組立も可能である。

参 考 文 献

- 1) E. Rich (広田, 宮村訳): 人工知能 I・II, pp.50/52, マグロウヒルブック, 1984.
- 2) Sang-Rok Oh, Ji Hong Lee, Kyoung Jin Kim and Zeungnam Bien: An Intelligent Robot System with Jigsaw-Puzzle Matching Capability, *Proc. of 15th ISIR* (Tokyo), pp. 103/112, (1985).