

그림 짜 맞추기 기능을 갖는 지능 로봇트 시스템에 관한 연구  
A Study on an Intelligenet Robot System  
with Jigsaw-Puzzle Matching Capability

\*이지홍, \*\*김경진, \*\*오상록  
\*\* 변 중 남

\* 현대중공업 용접기술연구소  
\*\* 한국과학기술원  
전기및 전자공학과

I. 서론

그림 짜 맞추기란 [1], 2차원으로 표시된 여러개의 그림 조각들로 부터 각 조각이 표시된 평면내에서 회전되어야 하고 이동되어야 하는 양을 구해내서 구멍이나 겹쳐진 부분이 없는 하나의 영역으로 모아 구성하는 문제로 정의될 수 있다. 일반적으로 수행과정은

첫째, 각 조각을 효과적으로 묘사하여 특징을 알아내는 과정

둘째, 실제로 각 조각의 이동량을 결정하는 과정

셋째, 결과의 옳고 그름을 판정하는 과정으로

나눌 수 있다.

본 논문에서는 기억용량 및 처리시간을 줄이기 위하여 정보의 대부분을 포함하고 있는 외곽선(Boundary)을 1차로 처리하여 정보를 critical point 주변에 집중시켰으며 효과적인 C-measure [2,3] 계산방법을 개발하였다.

제안된 알고리즘은 CCD 카메라 및 3대의 로봇트 암으로 구성된 시스템을 통하여 실험하였다. [7] (그림 12)

또한 가격이 저렴한 범용장비로 시스템을 구성하였기 때문에 파생되는 noise의 영향을 줄이기 위해 기본적인 Boundary Matching 외에 직관적인 몇가지 방법을 추가하였다.

II. 묘사

그림 조각의 외곽선이 포함하고 있는 정보를 집중시키기 위해 몇단계의 과정에 의한 계산량이 필요한데 그 과정 및 양은 아래와 같다.

1. C-measure

그림 1에서와 같이

$$\bar{a}_{ik} = (\hat{x}_{i+k} - x_i, \hat{y}_{i+k} - y_i)$$

$$\bar{b}_{ik} = (\hat{x}_{i-k} - x_i, \hat{y}_{i-k} - y_i)$$

$$c_{ik} = (\bar{a}_{ik} \cdot \bar{b}_{ik}) / |\bar{a}_{ik}| |\bar{b}_{ik}|$$

로 정의하고

$$c_{i,m} < c_{i,m-1} < \dots < c_{i,h} < c_{i,h-1} \quad (\text{단 } c_{i,0} = -1)$$

에 의해 i번째 외곽점 (Boundary Point)의 Size 및 C-measure  $C_{(i)}$  를  $h \cdot \text{RUNIT}$  및  $C_{ih}$  로 한다. 그런데 여기서  $m$  을 고정시킴으로써 복잡한 외곽을 갖는 그림 조각의 경우 C-measure의 값이 잘못 계산될 가능성이 있다. 그러므로 그림 2에서와 같이 외곽선이 한 단위의 차이의 중심원과 교점을 이루는 두 점간에 그림 조각의 외곽선을 따른 길이를 계산하여 외곽점들이 한 단위의 차이에 과도하게 집중됨으로 해서 C-measure가 잘못계산되는 경우를 방지할 수 있게 하였다.

2. Critical Point

앞서 말한 바, 외곽선의 정보를 집중시키기 위해서 critical point를 구하는데  $\{(x_i, y_i) - (x_k, y_k)\} \leq \text{Size}(i)/2$  인 모든  $(x_k, y_k)$ 에 대해  $c(i) \geq c(k)$  일 경우  $(x_i, y_i)$ 는 critical point가 된다. 여기서 구해진 각 critical point와 그 점의 size로 부터 중복영역을 점검하여 중요치 않은 critical point

는 제외시킨다.

### 3. Characteristic angle

image가 digital화 하면 양자화 오차가 생기는데 이 오차의 효과를 줄이기 위해 특별한 경우를 조사하여 critical point 에서 제외시킨다(그림3).

### 4. Encoding

Critical point 주변의 모양을 표시 저장하기 위하여 그 점 주위를 [1]의 방법에 의하여 tabling 하였다. 처리결과로는 각 critical point에 대해 table 및 table 의 크기 (NIOGO)이다. 주어진 그림 조각들의 묘사가 끝이 나면 저장되어 있는 data 들로는 그림 조각의 갯수, 각 조각의 critical point의 갯수 및 C-measure, critical point의 크기순서, encoding table, 각 조각의 무게 중심 등이다.

### III. Matching 의 수행

두 그림이 맞추어지기 위해서는 먼저 외관을 맞추어 극 부적인 test를 하고 그 판정어부에 따라 다시 더 자세한 검증을 하는 방법을 택하였다. 두 곡선이 맞추어 지는지의 여부에 관계하는 들로는 두 곡선 상에서 서로 상응하는 critical point로서의 match point, 검증을 하기 위하여 slave가 master에 대해 돌려져야 하는 각도인 match angle, 그리고 두 곡선의 집합영역을 나타내는 match length 등이 있다. 기본적으로는 주어진 그림 조각 (master)이 맞추어질수 있는 조각(Slave)을 찾는 두 개의 그림조각 사이의 문제로 좁인후 이 관계를 확장 시켜 나가는 방법을 택하였다.

두 그림조각이 맞는지 여부를 알기 위해서 match angle 만큼 회전하고 master의 match point 까지 이동된 slave의 위치에서 master 와의 위치명령 관계에서 그 집합의 양호도를 판정하는 양이 있어야 하는데 그것을 match quality라 하고 몇가지 법으로 정의하여 그 양을 구한다. 전체적으로 조각의 많은 부분이 겹쳐지는지 판정하는 Global overlap의 조사 외곽선이 겹쳐지는지 여부조사, 극부적으로 겹쳐지는 부분의 조사 등으로 간단히 검증할 수 있는 과정을

거친 후 다음의 parti al match를 조사한다.

master의 i-번째 point와 slave의 k-번째 point가 match point 들이고  $j, l (i > j, k > l)$ 이 각각 인접한 master, slave의 critical point라 했을 때 검증 영역은

$$\text{minus} = \min(\text{NTOGO}(j), \text{NTOGO}(k))$$

plus = min(NTOGO(i), NTOGO(l))에 의해 구해지고

$$v(\theta) \triangleq \sum_{-\text{minus} < i < \text{plus}} |i| (B(i) - (C(-i) + \theta))^2$$

로 정의하여 v(θ)를 최소화하는 θ를  $\frac{dv}{d\theta} = 0$  에서

$$\theta_p = \frac{\sum_{-\text{minus} < i < \text{plus}} |i| (B(i) - C(-i))}{\sum |i|}$$

로 구한다. 여기서 B(i), C(-i)는 master 및 slave 의 table 내용을 나타낸다. 두 곡선은  $v(\theta_p)$ 가 작을 수록 닮았다고 볼 수 있는데  $\theta_p$ 가 얼마나 정확히 구해졌느냐에 따라 이 방법의 정확도가 결정되므로 앞서 구한 match angle을 이용하여

$$\theta_p = \frac{\theta_p + \text{WTFAC} * \theta_m}{1 + \text{WTFAC}}$$

으로 새로운 회전각을 구하여  $v(\theta_{op})$ 를 가변 한계치

THRESHOLD와 비교한다. 여기서

$$\text{THRESHOLD} = \text{THRESHP} \left( \sum_{k=1}^{\text{plus}} K + \sum_{k=1}^{\text{minus}} k \right)$$

구한다.

이상의 방법에 의하여 여러개의 그림을 맞추는 순서도는 그림 9에 나타나 있는데 모든 test가 끝난 master.slave 짝에 대해서는 중복되는 조사를 하지 않게 하기 위해 적절한 조건들을 저장하여야 한다. 또한 다 맞추어진 후에 그 수행이 바르게 되었나를 조사해야 하는데 각 그림조각 또는 맞추어진 전체의 모양을 미리 알고 있지 않으면 결과에 대한 판정이 어렵다. 그러므로 여기서는 결과는 항상 간단한 모양이 된다는 가정을 세우고 주어진 폐곡선을 내부에 포함하는 최소면적의 사각형을 구하여 이 사각형의 면적으로서 주어진 폐곡선의 단순도를 계산하여 퍼즐 수행결과에 대

해서 알고리즘 내부에서 판단할 수 있게 하였다.[6]

(그림 10 참조) 이 조사가 통과한 수행결과에 대해서는 결과를 더욱 적절히 내기위해 조금 겹친 부분이나 구멍 등을 제거하는 과정을 거치게 된다.

IV. 결 과

메인 프로그램은 PDP 11/34 mini computer 에서 수행되었고 Test를 위한 시스템은 그림 12에 나타내었고 그림 11에서는 시뮬레이션 결과를 그림 13에서는 실제 로봇트에 로봇트에 의한 수행결과를 나타내었다.

V. 결 론

그림 짜맞추기 (Jigsaw Puzzle Matching) 를 수행 하는 전체과정을 설명했고 C-measure 의 효과적인 계산 방법, 전체 수행시간을 줄이기 위한 가중된 순서등을 제시 하였으며 최종판결을 위한 단순도 (Simplicity measure) 를 도입하여 test에 이용하였다. 제시된 알고리즘을 핸드-아이(Hand-eye) 로봇트 시스템에 의하여 test 하였다.

VI. 참 고 문 헌

1. G.M. Radack and N.I. Badler, "Jigsaw Puzzle Matching Using a Boundary Centered Polar Encoding," Computer Graphics and Image Processing, No. 19, pp. 1-17, 1982.
2. A. Rosenfeld and E. Johnstone, "Angle Detection on Digital Curves," IEEE Trans Comput., vol. C-22, pp. 875-878, 1973.
3. A. Rosenfeld and J. Weszka, "An Improved Method of Angle Detection on Digital Curves," IEEE Trans. Comput., vol. C-24, pp. 940-941, 1975.
4. L.S. Davis, "Understanding Shape : Angles and Sides," IEEE Trans. Comput., vol. C-26, No. 3, pp. 236-242, March 1977.
5. H. Freeman and L. Garder, "A Pictorial Jagsaw Puzzles : The Computer Solution of a Problem in Pattern Recognition," IEEE Trans. Electronic Computer, vol. EC-13, pp. 118-129, 1964.
6. H. Freeman and R. Shapira, "Determining the Minimum-Area Encasing Rectangle for an Arbitrary Closed Curve," Comm. on ACM, vol. 18, No. 17, pp. 409-413, July 1975.

7. 오상록외, " 조합기능을 갖는 지능 로봇트 시스템에 관한 연구 ", 대한전기학회 계속제어 연구회 추계학술대회 논문집, 1984

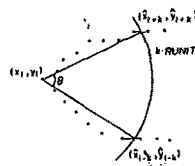


Fig. 1 An example of  $C_{1,j}$

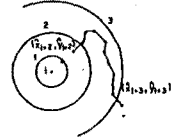
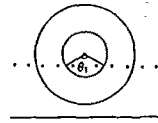


Fig. 2 Determination of smoothing factor



$\theta_1, \theta_2$  examples of characteristic angle

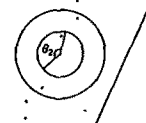


Fig. 3 Influence of noise on the selection of critical point



Fig. 5 Determination of match angle

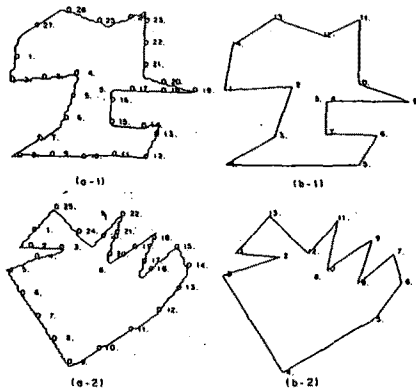


Fig. 4 a) Digitized Image of original puzzle piece  
b) Approximated picture using critical points

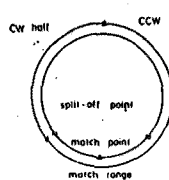


Fig. 6 Routh representation of CW,CCW half of closed curve

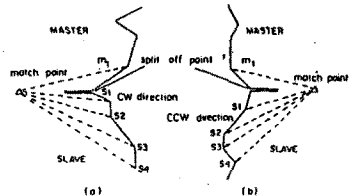


Fig. 7 Locally unoverlapped configuration of CW formation a) CW formation b) CCW formation

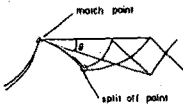


Fig. 8 Locally overlapped configuration  
 $\theta$ : overlap angle

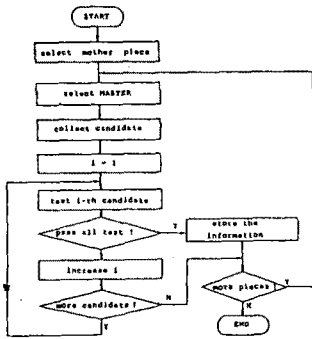


Fig. 9 Overall flow chart of assembly of puzzle pieces

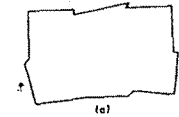


Fig. 10 The outer boundary of assembly puzzle pieces  
 a) correct case  
 b) incorrect case

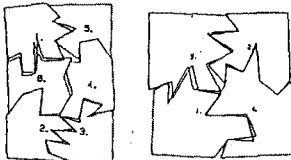


Fig. 11 Assembled puzzle pieces using critical points

Fig. 12 System for test  
 a) over view  
 b) block diagram of vision system  
 c) manipulator controller

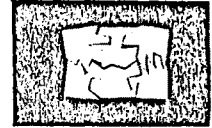
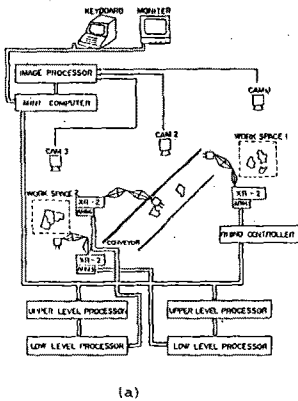
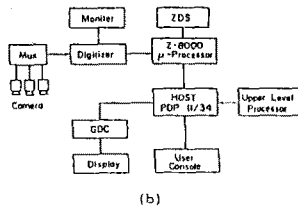


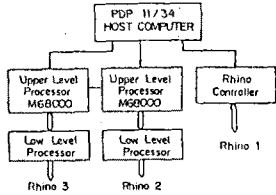
Fig. 13 Picture assembled by robots



(a)



(b)



(c)