'92 韓國自動制御學術會議論文集 1992. 10. 19~21

FMC 의 부품인식을 위한형상 정보 추출에 관한 연구 +

김 의 석, 정 무 영
포 항 공 과 대 학 산 업 공 학 과

Feature Extraction for Part Recognition System of FMC

Eui-Suk Kim and Moo-Young Jung
Department of Industrial Engineering, POSTECH, Pohang, Korea, 790-600

ABSTRACT

This paper presents a methodology for automatic feature extraction used in a vision system of FMC (Flexible Manufacturing Cell). To implement a robot vision system, it is important to make a feature database for object recognition, location, and orientation. For industrial applications, it is necessary to extract feature information from CAD database since the detail information about an object is described in CAD data.

Generally, CAD description is three dimensional information but single image data from camera is two dimensional information. Because of this dimensional difference, many problems arise. Our primary concern in this study is to convert three dimensional data into two dimensional data and to extract some features from them and store them into the feature database. Secondary concern is to construct feature selecting system that can be used for part recognition in a given set of objects.

1. 서론

첨단기술을 바탕으로한 공장자동화의 물결은 갈수록 확산되어 이제는 궁극적 목표인 CIM 즉, 컴퓨터통합생산 의 개념으로 발전하고 있다. 다양하고 까다로운 수요에 유연하게 대처하여 제품경쟁력을 높이려는 시도는 이제 산업계 전반에 걸쳐 폭넓게 이루어지고 있다. 크게 가공공정과 조립공정으로 나눌 수 있는 제품생산 과정에서 유연성을 부가시킬려면 가공 및 조립설비의 자동화도 중요하나 적합한 부품을 정위치에 정시에 운반하여 주는 물류설비의 자동화도 상당히 중요한 비중을 차지하고 있다.

물류설비 자동화를 유연생산 체제하에서 구축하려면 로봇이나 컨베이어등의 자동화된 이송설비가 필요하고 다양한 부품을 인식할 수 있는 설비도 필요하다. 기존의 생산방식에선 팔렛에 부착된 바 코드 를 이용하였으나 이 방식은 물체의 방향, 이송, 그리고 공급의 문제가 해결된 경우에만 적용이 가능하다 [1]. 따라서 지그, 팔렛 등의 제작에따른 생산비용 증가는 물론이고 경우에 따라서는 물류자동화를 위해 부품설계 변경까지도 해야 한다.

공장자동화의 확산을 위해선 재반 여건상 위에서 열거한 세가지 문제의 해결이 불가능한 경우에도 부품의 인식및 운반을 위한 부품처리 시스템은 중요한 역할을 하므로 반드시 필요한 요소가 된다. 일반적으로 이러한 경우에 부품처리기 (part handler)로는 다관절 로봇이, 인식장치로는 시각센서 (e.g. CCD camera)가 사용되고 있는데, 인식장치는 부품의 구분, 위치 및 방향등을 계산하여 로봇 컨트롤러에 정보를 전달하여 주는 기능을 한다.

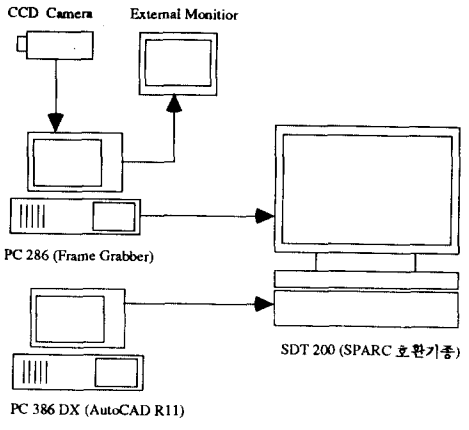
산업 현장에서 기계가 부품인식을 할 수 있도록 하는 노력은 오래 전부터 이루어져 왔으나 대부분이 이미지 훈련으로부터 모델을 획득하는 방법을 사용하였다. 그러나 이 방법은 도면으로부터 시공품을 만들고, 또 여러차례 반복실험을 해야 한다는 점에서 시간과 노력의 낭비가 많다. Lieberman [2] 은 CAD DB (database)로부터 직접 모델을 만들고, 형상들과 그 사이의 관계를 primitive 로하여 물체를 인식하는 시스템을 개발하였다. 그러나 인식과정에서 시간이 많이 소요되는 방법을 사용하였다는 단점이 있다. Agin [3] 은 의사결정 트리를 사용하여 빠른 속도의 인식을 구현하는데는 성공하였으나, 부분적으로 서로 비슷한 형상특성을 공유하고 있는 물체를 구별할 때에는 오차가 커진다는 단점을 안고있다.

다양한 부품을 구분하기 위해서는 각 부품 고유의 특징에 대한 사전정보가 있어야 하며 각 부품은 형태에 따라 그 부품을 특징지워줄 수 있는 형상정보가 있는 것이 보통이다. 그러한 부품들로 이루어진 부품군에서는 인식을 빨리할 수 있고 정확하게 구별할 수 있는 즉, 인식능력이 상대적으로 뛰어난 형상정보가 있음도 잘 알려져 있는 사실이다. 일반적으로 이와 같은 형상특징을 정하는 것은 비젼시스템의 성능을 고려하여 비젼시스템 엔지니어의 경험에 의해 의존하여 왔다. 이와같은 기존의 방법은 인간의 경험에 근거한 임의적인 선정방식으로 바람직한 방법이라 볼 수 없으며 생산품목이 유동적이라는 상황에 맞추어 부품인식에 쓰이는 형상정보도 변경이 가능해야

+ 본 연구는 한국과학재단지정 지능자동화 연구센터와 한국과학재단의 목적기초 연구지원에 의해 수행되었음.

보다 신속하고 정확한 결과를 얻을 수 있을 것이다.

본 논문에서는 FMC 부품인식의 지능화에 대한 중간결과로써, CAD 데이타로 부터의 형상정보 추출 및 선정방법을 제시하고자 한다. 이를 위해 사용된 시스템은 [그림 1]과 같다. CCD camera 로는 PULNIX TM-545를 사용하였고 Frame Grabber 는 PC-286 내부에 장착되는 Imaging Technology사 의 PCVISION plus 를 사용하여 200 x 200 x 256 의 이미지를 얻었다. SPARC-1 호환기종인 TG SDT-200 워크스테이션에서 X Window 환경으로 그래픽처리를 하였다.



[그림 1] 시스템의 하드웨어구성

2. 운영 시스템 구성

본 시스템을 이루는 각 모듈과 그 상호관계를 [그림 2]에 도시하였다. [그림 2]에서 보는바와 같이 부품의 기하학적 정보를 입수하는 기능의 CAD 모듈, 3차원 기하학적 정보로부터 2차원 영상정보를 계산예측하고 형상정보를 추출하는 3D to 2D 모듈과 추출된 형상정보중에서 인식효율이 높은 형상정보를 선택하는 형상선택모듈이 있다.
각 모듈에 대해 좀더 자세히 설명하면 다음과 같다.

2.1 CAD 모듈

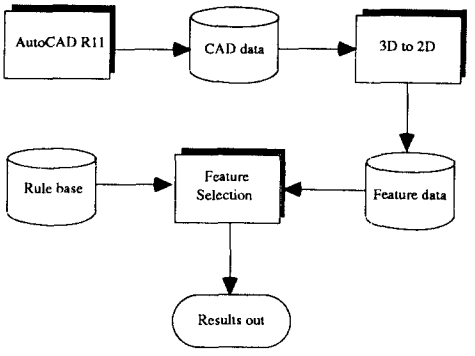
CAD 시스템은 AutoCAD R11 을 사용하였다. 안정된 자세를 계산하기 위해서는 무게중심을 알아야하는데, 이는 Solid Modelling 으로 표현된 물체에서 쉽게 계산될 수 있으며 AutoCAD R11 에서는 이 연산기능이 제공된다. 그러나 아직은 IGES 출력호환성이 떨어져 IGES 출력파일로는 Solid 로 표현한 물체의 점, 선, 면 등의 도면요소에 대한 정보를 얻을 수 없기 때문에 CAD 모듈내부에서 사전처리하여 출력하여야 한다. 본 논문에서는 AutoLISP 으로 작성한 TIPS 프로그램을 사용하여 무게 중심및 도면 요소에 대한 정보를 자동으로 획득한 후 CAD DB 에 저장하게 된다.

2.2 3D to 2D 모듈

CAD 모듈에서 획득된 무게 중심 및 요소 정보를 바탕으로 Convex-Hull property 를 이용하여 물체의 안정된 자세를 계산하고 이로부터 물체를 카메라위치에서 보았을 때의 실루엣(silhouette) 영상을 계산하여 예측한다. 얻어진 영상정보는 형상정보로 바뀌어 형상 DB에 저장된다. 2차원 영상 생성에 대해서는 3절에서 좀 더 자세히 다룬다.

2.3 형상선택 모듈

각 부품군에 따라 인식능력이 뛰어난 형상을 규칙에 근거하여 설정한뒤, matching시에 쓰이는 비교 형상정보로 저장되게된다. 이전단계에서 여러가지의 형상정보가 추출되었다 하여도 이미지와 모델을 비교하는 기준으로 사용되는 것은 이 모듈에서 선택된 형상정보이다. 형상정보에 대해서는 4절에서 좀 더 자세히 다룬다.



[그림 2] 운영시스템의 구성도

3. 2차원 영상 생성

3.1 Convex-Hull

d 차원 유클리디안 공간상의 Convex-Hull 의 수학적인 정의는 다음과 같다 [9].

d 차원 유클리디안 공간상에서 서로다른 k 개의 점들이 있을때 다음과같이 정의되는 점들의 집합

$$p = a_1 p_1 + a_2 p_2 + \cdots + a_k p_k$$

$$(a_1 + a_2 + \cdots + a_k = 1)$$

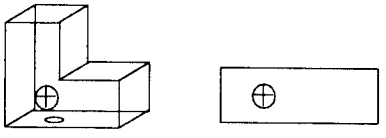
은 $p1, p2, \ldots, pk$ 로부터 이루어지는 affine set 이며 p 는 $p1, p2, \ldots, pk$ 의 affine combination 이다.

위와같이 정의된 Convex-Hull 을 3차원 공간상에서 찾기위하여 Chand and Kapur [10] 가 정의한 gift-wrapping 알고리즘을 사용하였으나 N^2 의 complexity를 지니기 때문에 point set 의 cardinality가 클 경우엔 많은 계산시간이 소요된다는 단점을 안고 있다. 그러나 본 시스템에서는 이 과정이 사전에 off-line 으로 실행되기 때문에 부품의 인식에는 아무런 영향을 미치지 않는다.

3.2 안정된 자세 계산

어떤 물체가 안정된 자세로 지면에 놓여 있다는 것은 중력외엔 아무런 외부 힘을 받지않는 물체의 무게중심을 지면에 투영하였을 때에, 투영된 무게중심이 지면과 만나는 접촉면의 내부에 존재하는 경우라고 정의할 수 있다. 위의 정의를 본 연구에 적용하면, 부품의 Convex-Hull과 CAD 정보에서 입수된 무게중심을 이용하여 부품이 중력과 수직인 평면상에서 움직이지 않고 안정되게 있을 자세를 계산해낼 수 있다.

[그림 3] 에서 보는 바와 같이 부품의 Convex-Hull facet k 가 지면과의 접촉면이라고 가정하였을 때, 중력의 방향은 facet k 의 법선벡터 fk = ax + by + cz 의 방향과 동일하게 되고 시작점이 무게중심 CG (x, y, z) 이고 방향성분이 (a, b, c)인 직선을 정의하여 이 직선이 facet k 와 만나는 점을 계산하면 facet k 에 투영된 CG 의 좌표를 얻을 수 있다. 이 점이 facet k 의 내부에 있으면 그 부품은 facet k 를 지면과의 접촉면으로 하여 안정된 자세를 유지할 수 있게 된다.



[그림 3] 물체의 안정된 자세

3.3 Rendering

3차원으로 표현된 부품을 2차원 평면에 투영시켜서 영상정보를 얻으려면 비 가시면 (invisible face)을 제거하는 배면소거 과정이 필요하게 된다. 배면소거를 할려면 시선방향 (viewing direction) 과 face 의 법선벡터를 알아야 한다. 법선벡터는 face 정보에 저장되어 있고 카메라가 지면과 수직인 방향으로 물체의 상공에 고정되어 있으므로 시선의 방향은 지면과 접촉하는 평면의 법선벡터 방향과 동일하다. 따라서 부품의 모든 평면에 대해 시선벡터와 법선벡터가 이루는 공간상의 각도가 90도에서 270도 사이의 각을 이루면 비 가시면이고, 그렇지않으면 가시면인 것이다. 그리고 위의 시선 및 법선정보에 광원 (light source) 정보를 추가하면 명암작업 (shading)을 할 수 있으나 본 논문에서 추출할려는 형상정보는 부품의 각 평면간의 밝기 (gray level) 차이와는 무관하므로 명암작업은 큰 의미가 없다.

4. 형상 정보

4.1 형상정보 추출

본 논문에서 추출대상으로 잡은 형상은 면적 (area), 단순도 (compactness), 최소 외접사각형인 MBR (Minimum Boundary Rectangle) 등이다. 이러한 형상정보를 사용하면 전반적으로 빠른 속도의 matching이 가능해 진다는 잇점이 있다. 그러나 이 경우에 사용되는 병렬 의사결정 규칙 (parallel decision rule) [3] 이 crisp 하기 때문에 오차가 커질 수 있다는 단점은 있으나 적절한 형상정보의 선택으로 어느정도 보완이 가능하다.

4.2 형상정보 선택규칙

n 개의 형상정보로 이루어 지는 n 차원 공간에서의 matching 과정은 Agin [3] 의 의사결정 트리등의 기법을 사용하여 해를 구할 수 있으나 병렬식 트리구조의 한계때문에 결과에의 신뢰도는 그렇게 높지 않다. 따라서 이러한 한계를 극복하고 계산시간 및 형상정보의 양을 단축하기 위하여 부품군의 n 개 형상정보중에서 m 개의 높은 인식효율을 갖는 (m << n) 형상정보를 추출하고 이를 비교형상정보라 정의하여 따로 DB에 저장하였다. 이 DB는 시스템의 능력에 따라 n 이 변하고 부품군의 특성에따라 m 이 변하는 2중적인 특성을 갖고 있으며 추후에 구축될 matching 모듈에 비교 형상정보를 전달하게 된다. 따라서 Agin의 방법보다 계산시간은 감소하면서 (m << n) 인식능력의 향상을 기대할 수 있다.

한편, 인식효율이 높은 형상정보를 선택하는 것은 전문가로부터 얻은 규칙을 바탕으로하여 추론하는 것이 합당하다. 본 시스템에 적용된 규칙은 C언어를 사용하여 구축하였다. [그림 4] 에 형상정보 선택규칙 중에서 4.2절의 3가지 형상정보로 부터 표준편차를 이용하여 비교형상정보를 도출해 내는 규칙의 예를 나타내었다. 이러한 규칙의 갱신은 가능하며 부품군에서 추출한 n 개의 형상정보중에서 각각 if - then 구조의 test 를 거쳐 최종적으로 m 개의 형상정보를 선택하게 된다. 최종적으로 선택된 형상정보는 비교형상정보 DB에 저장된다.

```
if interval of area feature is smaller than std.dev.
then
it is not good to use area as criteria feature
```

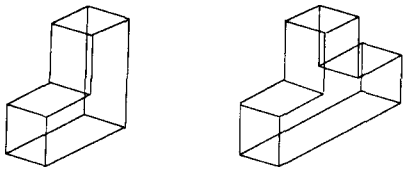
[그림 4] 형상정보선택 규칙

5. 실험결과

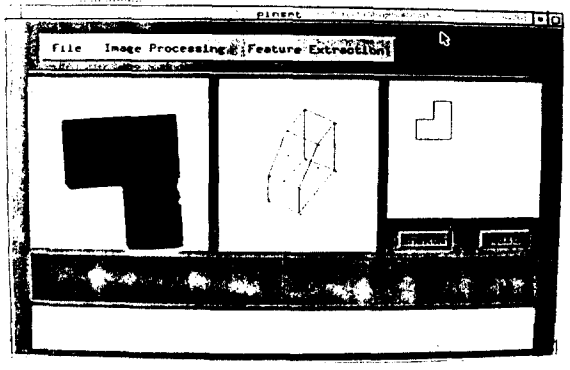
본 논문에서는 우선 L형 물체와 T형 물체를 실험대상으로 하였고 그 형상이 [그림 5] 에 나타나 있다. 주 프로그램은 앞서 언급한 바와 같이 C 언어로 작성하였고 L형에 대한 실행화면을 [그림 6] 에 수록하였다. [그림 6] 에서 보는 바와 같이 화면의 좌측에 카메라로부터 획득된 물체의 영상이, 중간에 물체의 Convex-Hull 이, 그리고 우측에 계산된 2차원 영상이 나타나 있다. L형과 T형의 실험 결과인 Convex-Hull 과 계산된 2차원 영상들을 [그림 7]과 [그림 8] 에 각각 도시하였다.

6. 결론 및 추후 연구방향

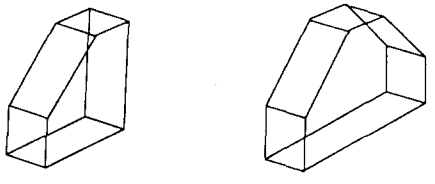
부품군의 변동이 발생하는 FMC 에서의 부품처리 시스템은 시스템 스스로 변동상황에 대처할 수 있는 능력이 있어야 한다. 또한, 실시간 처리를 위해서는 최소의 형상정보를 이용한



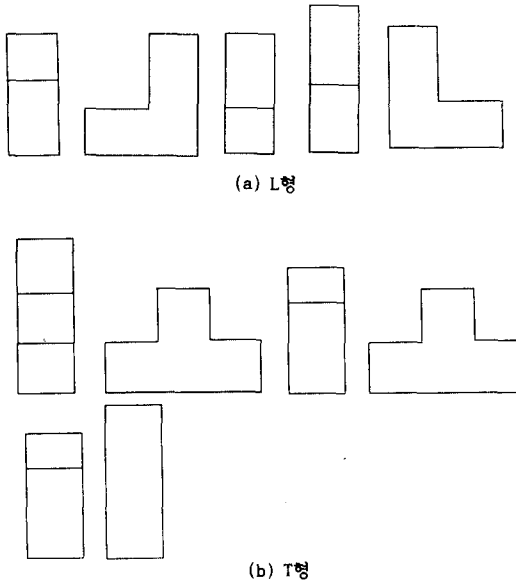
[그림 5] L형 물체와 T형 물체



[그림 6] 실행화면 - L형



[그림 7] L형 물체와 T형물체의 Convex-Hull



(a) L형

(b) T형

[그림 8] L형 물체와 T형물체의 2차원 영상

빠른 속도의 정확한 부품인식과 부품 manipulation 도 가능해야 한다.

본 논문에서는 기하학적 연산과 규칙에 근거한 선택기법을 이용하여 높은 인식효율을 지닌 축소된 규모의 비교형상정보 DB를 구축하였다. 비교 형상정보는 matching 과정에서의 속도증진 및 오판 (false recognition) 감소에 기여할 수 있다. 그러나 초기 연구단계의 시스템이어서 규칙베이스의 크기도 작고 계산된 형상정보도 아직은 그 다양함에서 산업체에 적용될 수 있는 수준에는 미달된다. 따라서 추후에 수행되는 연구에서는 이 부분에대한 보강이 이루어져야 한다.

참고문헌

[1] K.G. Swift, Knowledge-Based Design for Manufacture, Prentice-Hall, Eaglewood, Cliffs, N.J. 1987.

[2] L. Lieberman, "Model-Driven Vision for Industrial Automation", In Advances in Digital Image Processing, P. Stucki, Ed. Plenum, New York, pp. 235-246. 1979.

[3] G.J. Agin, "Computer vision for industrial inspection and assembly", Computer, Vol. 13, No. 5, pp. 11-20. 1980.

[4] W.A. Perkins, "A model-based vision system for industrial parts", IEEE Transaction on Computers, Vol. C-27, No. 2, pp.126-143, Feb. 1978

[5] M.L. Baird, "Image segmentation technique for locating automotive parts on belt conveyors", in Proc. of the 5th International Joint Conferance on Artificial Intelligence, pp. 694-695, Cambridge, Mass., Aug. 1977.

[6] R.C. Bolles, "Verification vision for programmable assembly", in Proc. of the 5th Internatinal Joint Conference on Artificial Intelligence, pp 569-575, Cambridge, Mass., Aug. 1977.

[7] G.J. Agin, "An experimental vision system for industrial application", Proc. of the 5th Int. Symposium on Industrial Robots, Chicago, pp. 135-148, 1975.

[8] R.T. Chin and C.R. Dyer, "Model-Based Recognition in Robot Vision", Computing Surveys, Vol. 18, No.1, pp. 67-108, March 1986.

[9] B. G. Baumgart, Geometric Modelling for computer vision, Ph. D. Thesis, Stanford University, Stanford Artificial Intelligence Lab., Memo AIM-249, Oct. 1974.

[10] D.R.Chand and S.S.Kapur, "An algorithm for convex polytopes", JACM, Vol. 17, No. 1, pp. 78-86. 1970.

[11] L.G. Roberts, "Machine perception for three-dimensional solids", In Optical and Electro-Optical Information Processing, J.P. Tippett et al. (Eds.). Cambridge, MA : MIT Press, 1965.

[12] D.H. Ballard and C.M. Brown, Computer Vision, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1982.

[13] B.K.P. Horn, Robot Vision, MIT Press, Cambridge, MA, 1986.