한국정밀공학회지 제16권 제2호 (1999년 2월)
Journal of the Korean Society of Precision Engineering Vol. 16, No. 2, February 1999.

로봇 비젼을 이용한 대형 2차원 물체의 인식과 가공

조지승*, 정병묵**

Recognition and Machining for Large 2D Object using Robot Vision

Che-Seung Cho*, Byeong-Mook Chung**

ABSTRACT

Generally, most of machining processes are done according to the dimension of the draft made by CAD. However, there are many cases that a sample is given without the draft because of the simplicity of the shape in the machining of 2D objects. To cut the same shape as the given sample, this paper proposes the method to extract the geometric information about a large sample using the robot vision and to draw the dimensional draft for the machining. Because the resolution of one frame in the vision system is too low, it is necessary to set up a camera according to the desired resolution and to capture the image moving along the contour. And the overall outline can be compounded of the sequentially captured images. In the experiment, we compared the product after the cutting with the original sample and found that the size of two objects was coincided within the allowed error bound.

Key Words : Robot Vision(로봇비젼), Multi-Frame(다중화상), Machining(기계가공), Draft(도면)

1. 서론

생산 시스템의 자동화에 따라 작업의 적응성 및 유연성을 부여하기 위한 연구가 많이 진행되고 있다. 이중에서 특히 시각센서는 작업 환경에 융통성 있게 대응할 수 있을 뿐만 아니라 다른 시스템과 결합하여 보다 효율적으로 작업을 수행할 수 있다. 특히 로봇에 시각 장치를 이용하여 지각 능력을 부여함으로써 스스로 작업 환경의 변화에 적응하며, 조립작업, 용접작업, 도장 작업, 자동검사작업등에 다양하게 응용되고 있다. 연구사례를 보면 Makhlin[1]은 카메라를 수직으로 설치해 이진 영상(Binary image)으로 원형 형상의 위치를 알아내어 전기모터의 조립을 수행하였고, Hitachi[2]에서는 전자 소자를 PCB(Printed circuit board)에 삽입하는 과정에서 단면의 형상을 맞추는데 이용하였다. MosheShoham[3]은 4개의 요소로 구성된 스폿(Spot) 감지기로 2차원 상에서 방향과 속도정보를 이용하여 용접 선을 추적하는 작업을 수행하였다. 본 논문에서는 절단작업에서 로봇 비젼을 사용하여 도형 인식을 하고 이를 도면화한 후 이와 동일한 형상을 절단작업을 통하여 얻고자한다. 일반적으로 절단작업을 하기 위한 과정을 보면 대부분의 경우 설계과정에서 CAD를 이용한 도면이 제공되지만 2차원

* 영남대학교 대학원
** 영남대학교 기계공학부

가공물의 경우에 그 형상의 단순성 때문에 도면이 없는 가공형상이나 모델로 제시되는 경우가 많다. 이러한 경우 CAD작업을 하기 위한 작업자가 있어야하는데 형상이 비교적 간단한 것은 작업시간이나 비용 면에서 적게들지만, 형상정의가 쉽지 않은 경우는 경제적, 시간적인 면에서 부담이 될 수밖에 없다. 따라서 현재까지는 절단작업을 하기 위한 작업과정에서 설계과정을 생략할 수 있는 방법으로 포토센서가 사용된 Tracer장치를 부착하여 도형정보를 추출하고 절단할 수 있는 Copy기계가 미국의 웨스팅 하우스나 일본의 다나까에서 생산 판매되고 있다. 하지만 이 장비도 Tracer가 읽어들인 정보를 분석, 처리를 할 수 없기 때문에 동일한 형상의 제품을 얻기 위해서는 반복된 작업과정을 거쳐야하고 또한 동일한 반복정밀도도 얻을 수 없는 문제점들을 안고 있다. 따라서 이러한 문제점들을 해결할 수 있는 새로운 시스템의 개발이 필요하다. 본 논문에서는 로봇 비젼을 사용하여 도면이나 2차원 상에서 물체의 형상정보를 찾아내고 이를 도면화하는 자동화 시스템을 개발하였다.

2. 화상 처리

일반적으로 절단작업을 통해 얻어지는 제품의 질은 절단 작업의 속도에 영향을 받는다. 제품의 질을 높이려면 속도를 일정하게 유지하여야 하는데 화상으로부터 얻어진 도형의 점 데이터로서는 가공속도를 일정하게 할 수 없다. 따라서 픽셀 단위로 주어진 윤곽점 정보를 가지고 본래의 윤곽을 표현하기 위하여 화상처리과정을 거쳐서 도형정보를 추출한다. 카메라로부터 획득된 화상의 특성을 보면 바탕과 물체가 큰 명암대비를 이루고 있다. 따라서 노이즈 제거를 위한 전처리 과정은 고려하지 않는다. 다음 화상으로부터 그 구성 성분 또는 물체별로 나누는 작업을 하는데 농도 히스토그램 분석, 이진화, 윤곽선 추출, 세선화를 활용한다. 물체의 인식에 필요한 특징을 보다 효율적으로 추출하기 위해서는 화상을 적당한 방법으로 부호화(Coding)하여 필요한 정보의 양을 통합하여 묘사할 필요가 있다. 여기서는 체인 코딩(Chain coding)의 방법을 사용하여 바로 앞 과정에서 추출한 세선화된 픽셀들을 결합하여 벡터의 순서쌍으로 나타낸다[4]. 다음 체인 코딩된 형상정보로부터 특징정보인 선과 원호 정보를 추출하는 과정이다. 먼저 윤곽의 직선 근사화 과정으로 체인 코딩된 형상정보를 직선 근사화하면 정보의 양을 축약할 수 있다. 일반적인 직선 근사화 방법으로는 Tolerance-band solution, Iterative end-point fit 방법 등이 있다[5-8]. 본 연구에서는 잘 알려진 Iterative end-point fit 알고리즘을 변형하여 사용한다. 먼저 처리시간을 향상시키기 위하여 길이가 일정한 최소 직선선분(Line segment)으로 자르면서 실제 곡선과 근사 직선간의 오차가 허용범위(Acceptable bound)를 초과하면 두 개의 새로운 직선선분으로 분리하는 과정을 수행한다. 다음 이 직선선분 들간에 오차가 허용범위를 초과하지 않는다면 각 직선선분들을 병합(Merge)하는 과정을 수행한다.

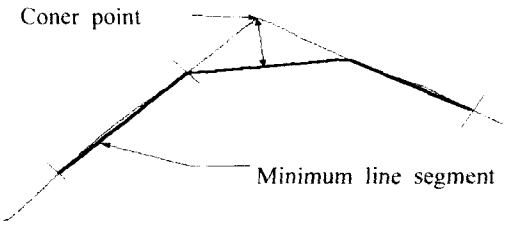


Fig. 1 Division into minimum line segment

Fig. 1은 일정한 길이의 직선선분으로 직선근사화(Line fitting) 과정 중에 곡선과 근사 직선과의 오차가 허용범위를 초과하면 거리가 최대인 점을 새로운 직선선분의 시작점으로 정한다. 그림에서 변곡점 전후의 가는 실선이 새로운 2개의 직선으로 분리된다. Fig. 2는 최소 직선선분을 병합하는 과정을 나타내고 있다. 처음 두 직선선분으로 근사 직선을 구한다. 처음 직선의 끝점이 근사 직선과의 오차가 허용범위를 초과하지 않는다면 각 직선선분들을 병합하고 다음 직선선분으로 넘어가고 초과할 경우 병합을 끝내고 그 직선선분을 시작으로 마지막까지 동일한 작업을 수행한다. 이러한 방법으로 근사화된 직선선분들로 윤곽정보를 축약하여 표현하고 여기에 다시 카메라를 이동시킨 후 동일한 과정을 거친다. 또 각 병합된 직선선분이 시계방향이나 반시계 방향의 각도변화를 가진다면 세점(시작점, 중간점, 끝점)으로 하는 곡선(Arc)을 추출하고 오차가 허용범위 안에 있다면 다음 직선선분으로 확장한다. 현 직선선분부터 위의 과정을 수행하며 처음의 시작점으로 되돌아오면 이 과정을 종료한다. 이러한 축약된 정보를 다시 곡선정보로 찾는

과정을 거쳐 하나의 도형을 표현하여 최소한의 정보로서 나타낼 수 있도록 하였다. 방향은 x축을 기준으로 반시계 방향으로 각이 시작되며 0° 에서 360°로 정의된다.

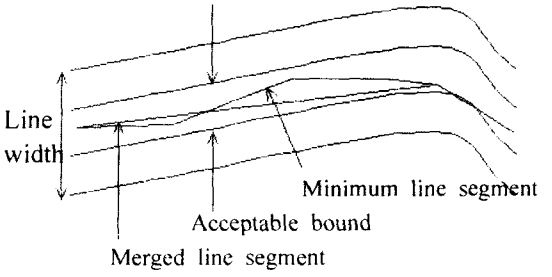


Fig. 2 Merge of minimum line segment

3. 분할 영상인식

먼저 본 연구에서는 CCD 카메라로 작업대상물의 전체영역을 하나의 화면으로 처리하기 어려우므로 로봇을 이동시켜 여러 조각의 분할된 화상으로 나누어서 화상을 획득, 처리하는 과정으로 도면화 작업을 수행한다.

3.1 카메라 보정

분할된 화상의 수는 작업속도에 영향을 미치므로 초점거리를 적절히 선정하여야한다. Fig. 3은 초점 거리를 30mm 부터 10mm씩 증가시켜가면서 거리에 따른 가시영역의 변화를 나타낸다. 이 그림에 알 수 있는 것처럼 초점 거리가 증가함에 따라 정밀도가 떨어지므로 적당한 카메라의 거리를 선정함으로 써 작업에 필요한 정도를 선택할 수 있다. 초점 거리의 선정은 다음의 조건 즉 카메라의 거리에 따른 가시영역, 선폭, 해상도 등을 고려하여야 한다. 본 연구에서 사용된 도면의 선폭은 0.25mm이다. 카메라의 위치를 이동하면서 이 도면의 선 폭이 차지하는 픽셀 폭은 Fig. 4에 나타낸다. 이 그림에서 알 수 있듯이 높은 정밀도를 픽셀 수를 필요로 할 때는 많은 픽셀 수를 선정하고, 즉 초점 거리를 낮게 설치하고, 그다지 정밀도가 필요하지 않을 때는 적은 픽셀 수를 선정, 즉 초점 거리를 높게 선정하여야 한다. 60mm에서의 선 폭은 6 픽셀로 한 픽셀 당 0.042mm를 나타낸다. 따라서 허용 오차를 5로 줄 경우 0.42mm의 정밀도를 나타낸다. 여기서 허용오차는 픽셀의 euclidean distance를 나타낸다. 또 카메라로부터 획득된 화상은 화면의 가장자리로 갈수록 비틀림 현상이 나타나고 화소의 해상도도 떨어진다. 따라서 Window의 영역을 설정하여 화면의 중심부근의 데이터를 사용한다. 위 조건들을 고려하여 실험에 사용한 초점 거리는 60mm이며 Window의 영역은 (50,50) - (430,430)으로 선정한다. 만약 오차 거리 값의 차이가 적은 구간을 선택할 경우는 Window의 영역이 줄어든다.

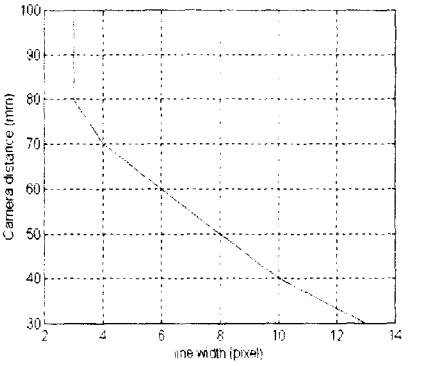


Fig. 3 Camera distance vs line width

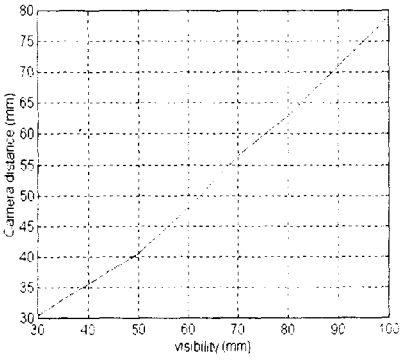


Fig. 4 Camera distance vs visibility

3.2 카메라 이동에 대한 보상

카메라는 한 화상을 처리한 후 다음 화상을 획득하기 위하여 로봇을 이동하게 되는데 다음의 관계로서 이동한다. 현 화상(T1)의 마지막 직선선분의 위치를 구하여 다음 화상(T2)에서는 한 변의 중앙에 오도록 카메라를 이동한다(T1-> T2). Fig. 5는 카메라의 이상적인 이동모습을 나타내고 있다. 하지만 상당히 정밀하게 설정하여도 기구 부의 이동에 따른 오차로 인하여 한 변의 중앙에 도형의

중심선이 정확히 놓이지 못하는 이동 오차가 나타날 수 있다. Fig. 6은 실제 카메라를 이동한 후 획득된 화상의 이동오차의 예를 나타내고 있다. 따라서 이러한 오차를 보상하는 방법으로 한 화상처리 후 카메라를 이동시킬 때 정확한 위치 보다 적게 이동시킨다.

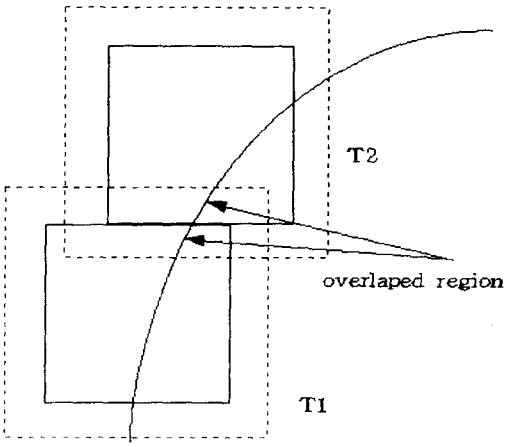


Fig. 5 Ideal movement of camera

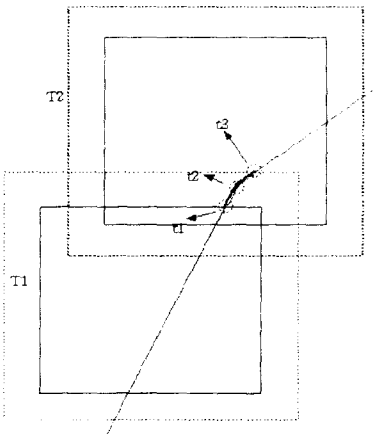


Fig. 6 Real movement of camera

Fig. 6은 중첩구간에 변곡점이 있을 경우에 대한 보정을 나타낸다. T1화상의 점선 안 영역과 T2화상의 점선 안 영역의 도형데이터를 중첩시켰을 때 두 도형간의 중복된 거리(t1-t2)를 없애기 위한 보정을 해주어야한다. 따라서 이 경우에 대한 보상을 하기 위해 T1화상의 점선 안 영역과 T2화상의 점선 안 영역의 도형데이터를 중첩시켜 두 도형간에 최소 오차값(t1-t2간의 거리)을 갖는 점을 찾아 T2화상의 이동 오차를 보정한다. 위의 경우는 중첩구간에 변곡점이 있을 경우이지만, 중첩구간이 최소 오차 값의 변화가 없는 곡선이나 직선일 경우는 설정시 일정길이에 대해 반복 이동시켜서 얻은 값의 평균값만큼 T2화상에서 이동 오차를 보정한다.

4. 실험

Fig. 7은 2축 로봇으로 구성된 절단기의 실제 모습을 나타내고 있다. ①과 ②는 2축 로봇의 X축, Y축을 나타내고 있고, ④는 절단작업을 할 수 있는 토치를 나타내고 ③은 토치 중 하나의 끝단에 카메라가 부착되어 도면을 따라가며 형상을 얻는 작업을 수행할 수 있도록 되었다.

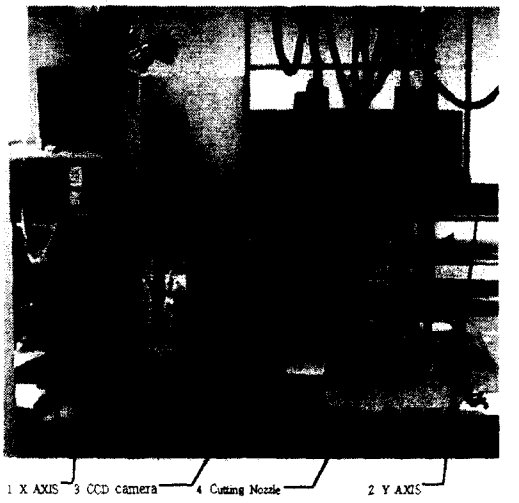


Fig. 7 Cutting machine with robot vision

전체시스템은 CCD 카메라, 카메라에서 얻은 화상을 처리하는 화상보드, 절단기의 구동을 하는 모터드라이브, 이를 제어하는 인터페이스카드, 그리고 전체작업을 관리하는 PC로 되어있다. 카메라로부터 얻은 화상은 화상보드를 통해 PC에 Bmp 파일로 저장된다. 이를 화상처리, 분석하여 모터드라이브를 구동하고 다시 화상을 획득하는 과정으로 진행된다. 다음은 전체시스템의 장치에 대한 설명이다. CCD 카메라는 PC에 장착되어 판매되는 현대에서 만든 화상회의용 칼라 CCD 카메라이며, 유효화소수는 25만 화소 이다. 카메라로부터 획득된 영상은 480*480*24bit의 bmp 파일로 저장하여 데이터

처리하였다. 줌 기능은 제공되지 않고 영상을 일정 크기 이상으로 확대할 수는 없다. 화상의 확대는 궁극적으로 정보의 해석에 편의성을 줄 수 있다. PC에서 화상을 받아들일 수 있도록 하는 역할을 담당하는 보드로는 PC의 VGA카드 역할을 담당하는 기능을 가진 TV 수신용 카드를 사용하였는데 화상처리 전용 보드는 각종 화상처리 기능을 제공하는 반면 가격이 비싸므로 로봇 조작 및 화상처리 부분을 Visual C++4를 사용하여 프로그래밍 하였다. 이 보드 있는 영상입력이 들어오면 내용을 저장하고 기억하는 프레임 그래버 등은 제공되지 않으며 펜티엄 PC를 사용하여 화상정보를 읽어 처리하고 그 결과를 표현 분석하였다. 카메라로부터 입력된 화상의 처리 결과를 로봇에 전달하고 로봇을 직접제어하기 위해서 로봇과 컴퓨터의 인터페이스 카드로 절단기에 부착된 Motor 제어보드, 삼성 AC Motor와 Servo drive(Faracon csd-04bb1s)를 사용하였다.

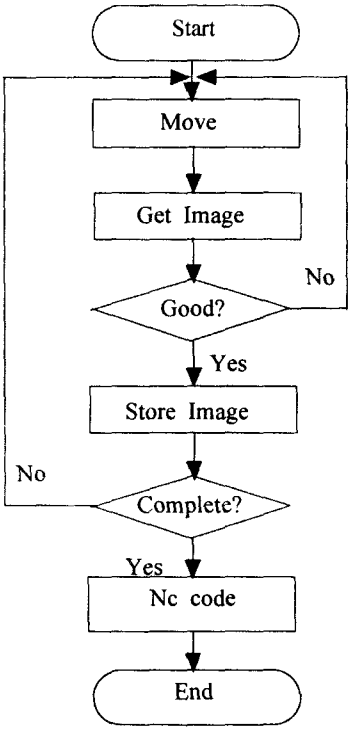
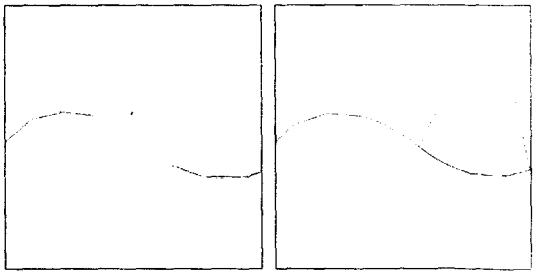


Fig. 8 Flowchart of expeiment

Fig. 8은 인식 작업순서를 간략히 나타낸다. 먼저 화상 획득을 위해 도형이 임의의 시작점으로 이동한다. 다음 화상을 획득, 처리하여 도형정보를 추출하는데 도면의 처음 위치로 오게 되면 종료하고, 그렇지 않을 경우 다음 화상을 획득하기 위하여 도형의 윤곽을 따라 카메라를 이동하여 위 과정을 반복한다. 실험에서는 먼저 화상해석을 통하여 허용오차 조건에 따라 도형정보의 수의 변화를 살펴보고, 다음 실험으로 실제 도형에 대해 인식작업을 거친 후 도면화 시킨 다음 이를 토대로 가공한 실험 결과와 원 도형과 비교하여 허용 오차 조건을 만족하는지를 나타낸다.

5. 실험결과

먼저 화상해석을 통하여 허용오차 범위 조건에 따라 도형정보의 수의 변화를 알아본다. Fig. 9는 곡선으로 이루어진 하나의 화상이 오차범위에 따라 병합되는 결과를 나타내고 있다. Fig. 9의 (a)는 허용오차 범위가 3일 때의 결과인데 곡선은 2개의 등분으로 나뉘어져 있으며 완전히 병합이 되고 있지 않다. (b)는 허용오차 범위가 5일 때의 결과인데 허용오차 범위가 5일 때는 2개의 곡선으로 나누어져 병합되었다. 위 결과에서 알 수 있는 것처럼 허용 오차범위가 증가할수록 인식되는 직선과 원호 수가 감소함을 볼 수 있었다.

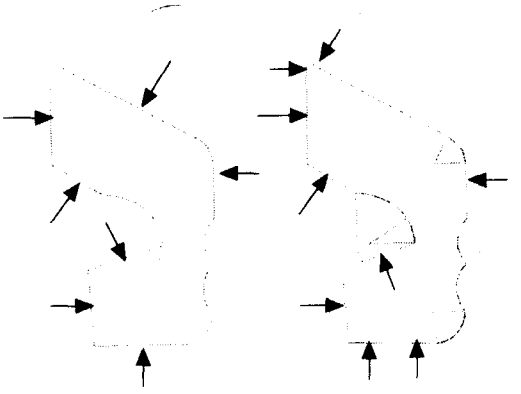


(a) Error bound 3 (b) Error bound 5

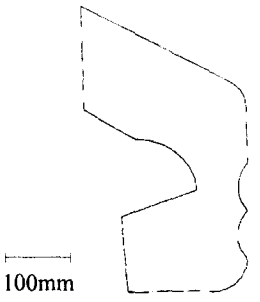
Fig. 9 Recognized shape

다음은 실제 도형에 대해 인식작업을 거친 후 도면화 시킨 다음 이를 토대로 가공한 실험 결과와 원 도형과 비교하여 허용 오차 조건을 만족하는지를 나타내었다. Fig. 10의 (a)는 7개의 직선과 5개의 곡선으로 이루어진 도형을 나타낸 그림이다. 이 도형을 인식한 결과는 Fig. 10의 (b)에 나타내었다. 그림에서 화살표는 직선을 의미한다. 그 결과를 보면 10개의 직선과 6개의 곡선으로 재구성되었다. 3개의 직선과 1개의 곡선이 더 추가되었지만 거의 원 화상과 일치함을 알 수 있다. (b)에서 얻어진 도면

을 이용하여 가공해보고 그 결과를 (c)에 나타내었다. 그림(a)과 (c)를 비교하였을 때 허용 오차(1mm) 범위를 벗어나지 않았음을 알 수 있었다.



(a) Original shape (b) Recognized shape



(c) Shape after cutting

Fig. 10 Result of experiment

6. 결 론

현재까지는 절단작업을 하기 위한 작업과정에서 설계과정을 생략할 수 있는 방법으로 포토센서가 사용된 Tracer장치를 부착하여 도형정보를 추출하고 절단할 수 있는 Copy기계가 미국의 웨스팅 하우스나 일본의 다나까에서 생산 판매되고 있다. 하지만 이 장비는 Tracer가 읽어들인 정보를 분석, 처리를 할 수 없기 때문에 동일한 형상의 제품을 얻기 위해서는 반복된 작업과정을 거쳐야하고 또한 동일한 반복정밀도도 얻을 수 없는 문제점들을 안고 있다. 그러나 비젼센서를 사용하여 물체의 화상정보를 획득하고 이를 선분과 원호의 형태로 나타냄으로써 도형정보를 최소화하였다. 또 선분과 원호의 형태로 나타냄으로써 물체 인식과정에서 발생되는 노이즈 부분을 제거 할 수 있으며 한번의 인식만으로 모든 윤곽 정보가 컴퓨터에 수록되므로 도면이 없는 2차원 물체를 대량으로 가공하고자 할 때 아주 유익하다. 향후 개발된 시스템은 가공된 도형을 검사할 수 있는 정밀 검사장비로서의 개발로도 응용될 수 있을 것이다.

참고문헌

1. Markhlin, "Robot control and inspection by multiple camer a vision system," 11th ISIR, pp. 121-128, 1981.
2. Hitachi, "Vision system of an automatic inserter for PCB assembly," Proc. of the 2nd International Conf, pp. 63-72, Nov. 1982.
3. Moshe Shoham, "An optical sensor for real time positing tracking and teaching of industrial robots," IEEE Trans, Vol. IE, NO 2, May 1984.
4. Rafael C.Gonzalez and Richard E.Wood, "Digital Image Processing," Addison Wesley, pp. 491-495, 1992.
5. Robert M.Haralick and Linda G.Shapiro, "Comtuter and Robot Vision 1," Addison Wesley, pp. 588-625, 1993.
6. Ramesh Jain, Rangachar Kasturi and Brian G.Schunck, "Machin Vision," McGraw-Hill, pp. 193-203, 1995.
7. 한국과학기술원, "전자 부품 조립 자동화를 위한 로봇 비젼의 범용 화상처리 알고리즘의 개발," 삼성전자위탁 보고서, pp. 93-109, 1991.
8. 김희승, "영상 인식-영상처리, 컴퓨터 비젼, 패턴인식, 신경망," 생능사, pp. 160-171, 1993.