

## 로봇비전을 이용한 대형 2차원 가공물의 검사

정병목\* (영남대 기계공학과), 이성건 (영남대 대학원 기계공학과), 조지승(영남대 대학원 기계공학과)

### Inspection for Large 2D machining product using robot vision

B. M. Chung(Mech. Eng. Dept., YNU), S. G. Lee(Mech. Eng. Dept., YNU),  
C. S. Cho(Mech. Eng. Dept., YNU),

#### ABSTRACT

Generally, it is very difficult to inspect geometric shape of large 2D objects after machining. To maintain the accuracy for inspection, a robot vision is used to divide overall shape into several enlarged images, and image processing technique is applied to acquire one minute geometric contour. The inspection is to compare the NC data with the measured contour data by the vision system, and the algorithm is to rotate to minimize the maximum deviation coinciding two geometric centers. This paper experimentally shows that the proposed inspection algorithm is very useful for a large machined object.

**Key Words :** Inspection(검사), Robot vision(로봇 비전), Shape matching(형상 맞춤), geometric shape(기하학적 형상),

#### 1. 서론

기술과 산업의 발달로 생산 시스템이 자동화함에 따라 작업의 적응성 및 유연성을 부여하기 위한 연구가 많이 진행되고 있다. 특히 시각센서는 다른 시스템과 결합하여 보다 효율적으로 작업을 수행할 수 있어 로봇에 시각 장치를 이용하여 지각 능력을 부여함으로써 스스로 작업 환경의 변화에 적응하며, 조립작업, 용접작업, 도장 작업, 자동검사작업등에 다양하게 응용되고 있다. 이들 중 비전 센서를 이용한 가공 도형의 검사에 대한 연구를 보면 J.S. Sallade와 M.L. Philpott<sup>[1]</sup>는 CAD의 기하학적 정보를 이용하여 통합적 형상을 생성하고 이를 비전 시스템으로부터 획득된 이미지 형상과 매칭하여 가공된 제품을 검사하였고, Yvres Lucas, Tanneguy<sup>[2]</sup>는 이미지 데이터와 CAD 모델을 공간상의 윤곽선으로 나타내고 이 둘을 포개어 매칭하였다. Chen과 Ventura<sup>[3]</sup>는 형상을 모델링 하고, 이를 4개의 변수로 (scale, orientation, x position, y position) 두고 외각 포인트와 보간 곡선을 Euclidean 거리를 이용하여 오차를 구하고 최소 자승법을 이용 오차를 줄이는 방향으로 매칭 시켰다.

일반적으로 가공된 2차원 가공품의 양·불량은 특징부위의 치수를 작업자에 의한 수 작업으로 측정하여 판단하고 있다. 따라서 이러한 수 작업에 의한

검사는 작업자의 상황에 따라 측정결과가 정확하지 않거나 동일제품이라도 작업자의 숙련도에 따라 측정정밀도가 차이가 날 수 있다. 이러한 수 작업 과정을 비전 센서를 이용하여 검사과정을 자동화함으로써 측정결과의 신뢰성을 높일 수 있으며, 불량시 그 원인을 분석하여 이를 제품의 생산과정에 반영하므로 생산성을 높일 수 있다.

본 연구에서는 대형 2차원 가공물 검사시 측정정밀도를 높이기 위해 절단기에서 사용하는 로봇을 이용하여 2차원 가공물을 여러 개의 프레임으로 분할하여 인식하고, 이 분할 영상들을 병합하여 가공물의 전체형상을 획득한다. 그리고, 카메라로부터 획득한 가공물의 이미지와 NC 데이터로부터 획득된 도형을 직선과 곡선으로 이루어진 기하학적 형상 모델로 나타내고, 두 형상모델의 도심을 이용하여 중첩한 후, 오차가 최소가 되도록 매칭 한 후 최대 오차가 허용 오차 범위 안에 존재하는지의 여부로 제품의 양, 불량을 검사하였다. 그리고, 가공물이 불량일 경우 매칭 후의 오차분포로 불량률의 원인도 분석 할 수 있는 검사방법과 시스템을 제안한다.

#### 2. 화상 처리

화상으로부터 이진화, 세선화를 거쳐 윤곽선 추출하고, 체인 코딩(Chain coding)의 방법을 사용하

여 세션화된 픽셀을 벡터의 순서쌍으로 나타낸다. 다음 체인 코딩된 영상정보로부터 특징정보인 선과 원호정보를 추출하여 기하학적 영상모델로 나타낸다. 본 연구에서는 CCD 카메라로 작업대상물의 전체 영역을 하나의 화면으로 처리하기 어려우므로 로봇을 이동시켜 여러 조각의 분할된 화상으로 나누어서 화상을 획득, 처리한다.<sup>[4-6]</sup>

픽셀 단위로 주어진 윤곽점 정보를 가지고 본래의 윤곽을 표현하기 위하여 화상처리과정을 거쳐서 도형정보를 추출하는데, 먼저 윤곽의 직선 근사화 과정으로 체인 코딩된 영상정보를 직선 근사화하면 정보의 양을 축약할 수 있다. 본 연구에서는 변형된 Iterative end-point fit 알고리즘을 사용하여 직선을 근사화하고, 각 직선선분들을 병합한다.<sup>[14]</sup> 로봇이 이동하며 획득한 이미지를 다시 병합하여 한 도형으로 나타내고, 이 도형정보로부터 각 이미지의 외각점과 모서리점을 추출해낸다. 여기서 추출된 특징점중 길이에 비례하는 개수의 점을 선택하여 검사에 필요한 이미지점으로 사용한다.

### 3. 영상 모델

검사방법은 비전 센서의 이미지로부터 구한 가공형상의 외각점들과 NC 데이터로부터 구한 도형정보를 비교한다. 이미지데이터와 NC 데이터로부터 구해지는 영상특징들은 다음과 같이 도형정보로 나타낸다. 이미지에서 획득한 외각점들의 집합은 IS(Image Set)로 나타낸다.

$$IS = \{IP_i = (Ix_i, Iy_i) \mid i = 1, 2, \dots, n\} \quad (1)$$

여기서,  $IP_i$ 는 이미지에서 획득한 외각점을 나타낸다. NC 데이터로부터 영상모델은 NS(NC data Set)로 표현하였다.

$$NS = \{NP_i \mid i = 1, 2, \dots, n\} \quad (2)$$

이때의 영상모델의 기하학적 표현은 직선( $L_i$ )과 원호( $C_i$ )로 구성되고 식(3)과 같이 나타낸다.

$$NP_i = \begin{cases} L_i, & i \in I_L \\ C_i, & i \in I_C \end{cases} \quad (3)$$

여기서, 직선은  $I_L$ , 원호는  $I_C$ 의 집합으로 나타내고,  $L_i$ 와  $C_i$ 는 다음과 같다.

$$L_i = \{G_i, Nx_i, Ny_i, l_i, \alpha_i\}, i \in I_L \quad (4)$$

$$C_i = \{G_i, Nx_i, Ny_i, l_i, \phi_i, Cx_i, Cy_i\}, i \in I_C \quad (5)$$

여기서,  $G_i$ 는  $i$ 번째 엔터티가 직선인지 원호인지를 나타내며,  $Nx_i, Ny_i$ 는  $i$ 번째 엔터티의 끝점,  $l_i$ 는  $i$ 번째 엔터티의 길이,  $\alpha_i$ 는  $i$ 번째 엔터티의 시작점에 대한 끝점의 경사각,  $\phi_i$ 는 원호의 사잇각,  $Cx_i, Cy_i$ 는 원호의 중심점이다. Fig.1은 기하학적영상에 대해 정의를 나타내었다.

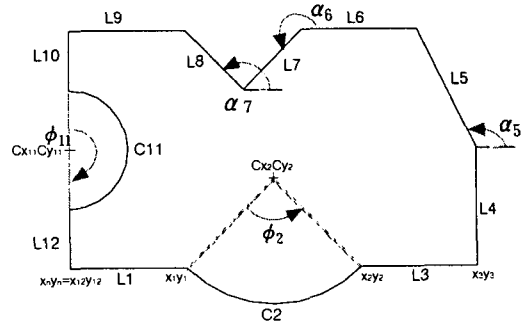


Fig. 1 Geometric description

### 4. 검사 과정

각 엔터티와 도심간의 최단 거리와 최장 거리가 되는 점들을 구한 후 단축에서 장축의 각도가 가장 작은 것을 선택하여 이때의 단축을 기준으로 초기 위치를 잡는다. 초기매칭을 한 다음으로 오차값을 계산하고 오차 벡터를 형성하여 이동벡터와 회전량을 결정해야 한다. 비전 센서에 의해 측정된 이미지에서 도형정보( $IP_i$ )와 NC 데이터로 구성된 기하학적 도형 정보( $NP_i$ )의 오차 계산은 Euclidean 거리를 이용하였는데 이때, 이미지 데이터와 비교할 NC 데이터 상의 대응점을 설정해 주어야한다. 이미지 데이터와 비교할 NC 데이터 상의 대응점들을 NIS (NC Data Point Set for Image point Set)로 정의하고, 식(6)으로 나타내었다.

$$NIS = \{NIP_i = (NLx_i, Nly_i) \mid i = 1, 2, \dots, n\} \quad (6)$$

즉, 비전 센서에 의해 측정된 이미지와 비교할 NC 데이터상의 점이 대응점이 된다. 대응점에서 비전 센서에 의해 측정된 이미지의 도형정보로의 각 벡터가 오차벡터가 되고 이 벡터들의 크기가 오차크기가 된다. 여기서, 대응점을 구할 때 2가지 경우로 나누어진다.

i) 도형 정보가 직선일 때

이때의 대응점을 구하는 방법은  $i$ 번째 엔터티의 직선 정보와  $i$ 번째 엔터티안에서 획득한 이미지 점과 직선  $L_i$ 과의 법선 방향으로 이은 직선식을 연립하여 구한 점이 대응점( $Nlx_i, Nly_i$ )이 된다.

$$Nlx_i = \frac{\alpha^2 Nx_i + \alpha (ly_i + Ny_i) + lx_i}{\alpha^2 + 1} \quad (7)$$

$$Nly_i = \frac{\alpha^2 (Ny_i + 2Nly_i) + \alpha (lx_i - Nx_i) + Ny_i}{\alpha^2 + 1} \quad (8)$$

여기서,  $\alpha = (Ny_i - Ny_{i-1}) / (Nx_i - Nx_{i-1})$  이다.

ii) 도형 정보가 원호일 때

이때의 대응점을 구하는 방법은 호  $C_i$ 를 포함하는 원과 호  $C_i$ 의 중심점과 이미지에서의 도형정보를

있는 직선식을 연립하여 구한 두 점 중  $IP_i$ 에 가까운 점을 대응점으로 선택한다.

$$NLx_i = Cx_i + R \cdot \cos(\tan^{-1} \frac{Cy_i - Iy_i}{Cx_i - Ix_i}) \quad (9)$$

$$NIy_i = Cy_i + R \cdot \sin(\tan^{-1} \frac{Cy_i - Iy_i}{Cx_i - Ix_i}) \quad (10)$$

측정된 이미지 데이터에 대한 NC 데이터상의 정확한 점을 찾을 수 없으므로 이미지 데이터에서 NC 데이터와의 가장 가까운 지점을 동일점으로 가정한다. 앞의 식들로 구한 NC 도형 정보상의 대응점과 비전 센서에 의해 측정된 이미지에서 외각점들의 Euclidean 거리가 각 오차( $E_i$ )의 크기가 된다.

$$E_i = \sqrt{(Ix_i - NLx_i)^2 + (Iy_i - NIy_i)^2} \quad (11)$$

위에서 구한 대응점들에서 비전 센서에 의해 측정된 이미지의 외각점들로의 각각의 벡터가 오차벡터가 되고 이 오차 벡터로써 회전각( $\theta$ )과 이동 벡터(dx, dy)를 구할 수 있다. 이미지 데이터에서 NC 데이터와의 뒤틀린 각이 클 때는 자체 오차도 커지지만 오차를 줄이는 반복작업을 수행해 가며 대응점( $NIP_i$ )을 찾으면 점점 더 이상적 대응점에 접근하게 된다. Fig 2는 이미지점( $IP_i$ )에 대해 Euclidean 거리가 가장 작은 점을 대응점으로 선택한 그림이다.

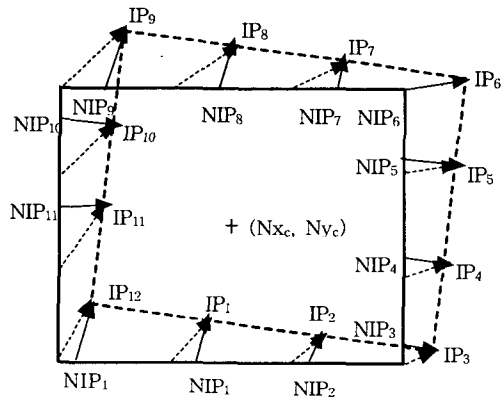


Fig. 2 Error vector generation

점선 화살표는 이상적인 대응점에서의 오차 벡터이고 실선 화살표는 Euclidean 거리가 가장 작은 점을 대응점으로 선택하고 여기서 오차 벡터를 생성한 그림이다. 여기서, 실선은 NC 데이터에 의해 형성된 도형이며 점선은 가공 도형을 이미지 처리하여 획득한 데이터를 기반으로 형성된 도형이다.

검사를 위한 매칭에서 NC 데이터에 의해 형성된 기하학적 도형을 도심( $Nx_c, Ny_c$ )을 중심으로 화살표로 표시된 오차 벡터의 합의 방향으로 이동(translation)과 회전(rotation)을 시킨다. 이때, 이동될 양은 표준화하여 이동벡터(dx, dy)를 구해서 이동시키고, 오차벡터의 도심에 의한 각도의 합을 표준화하여 회전각( $\theta$ )를 결정하여 도심을 중심으로 회전시킨다.

다음 식은 이동벡터와 회전각을 구하는 식이다.

$$dx = \frac{\sum_{i=1}^n (Ix_i - NLx_i)}{n} \quad (12)$$

$$dy = \frac{\sum_{i=1}^n (Iy_i - NIy_i)}{n} \quad (13)$$

$$\theta = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \tan^{-1} \left( \frac{Iy_i - (Ny_c + dy)}{Ix_i - (Nx_c + dx)} \right) - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \tan^{-1} \left( \frac{NIy_i - Ny_c}{NLx_i - Nx_c} \right) \quad (14)$$

앞에서 구한 이동 벡터와 회전각으로부터 이미지 데이터와 NC 데이터에 의한 기하학적 도형간의 매칭을 위한 이동 행렬과 회전 행렬을 구할 수 있고, 이로 구성된 NC 데이터의 이동 행렬(TM)는 식(15)와 같고, 이 이동행렬을 이용해 좌표(x, y)에 대해 이동된 좌표(TX, TY)를 구하면 식(16)과 같다.

$$TM = \text{Trans}(Nx_c + dx, Ny_c + dy, 0) \times \text{Rot}(z, \theta) \times \text{Trans}(-Nx_c, -Ny_c, 0) \quad (15)$$

$$TX = (x - Nx_c) \cos \theta - (y - Ny_c) \sin \theta + Nx_c + dx$$

$$TY = (x - Nx_c) \sin \theta + (y - Ny_c) \cos \theta + Ny_c + dy \quad (16)$$

## 5. 실험

Fig. 3는 2축 로봇으로 구성된 실제 절단기에 CCD카메라를 부착한 모습을 나타내고 있다. 화상 획득은 PC의 TV 수신용 카드를 이용하였고, 산업용 PC를 사용하였다. 그리고, 로봇 조작 및 화상처리부분은 Visual C++을 사용하여 프로그래밍 하였다.

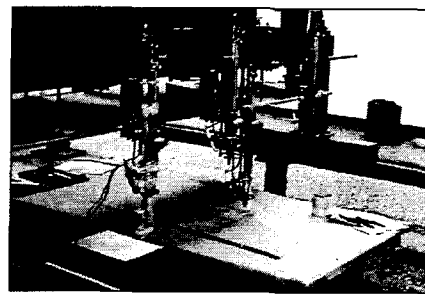
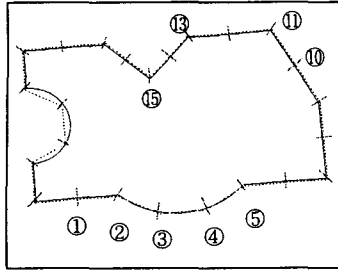
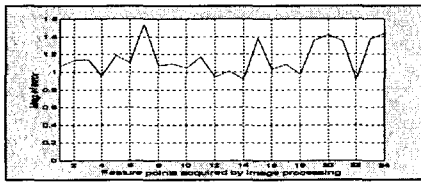


Fig 3 Cutting machine with robot vision

본 연구에서는 대형 2차원 물체를 다루므로 CCD 카메라로 작업대상물의 전체영역을 하나의 화면으로 처리하기 어렵다. 그래서 로봇을 이동시켜 여러 분할된 화상으로 나누어서 화상을 획득, 처리하였고, 이들 중 비교할 특징점을 추출하였다. Fig. 4 (a)에 부쳐진 숫자는 이미지점에서 추출한 특징점을 순번으로 적어놓은 것이다. 이렇게 적은 수의 특징점을 사용한 이유는 비교대상이 많을 때 보다 정밀하지는



(a) Matching result



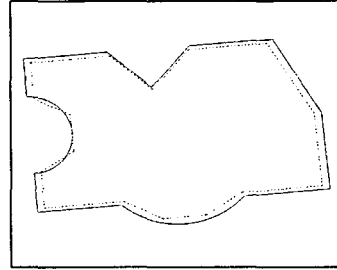
(b) Error distribution after shape matching

Fig. 4 Matching result of 1mm under-cut shape.

않지만 실험결과 충분히 정확도를 가지고 있었고, 검사시간이 특징점의 수에 비례하므로 굉장히 빠른 시간에 매칭이 이루어지기 때문이다. Fig 4는 1mm 미절삭된 일반 도형의 매칭 결과며 실선이 NC 데이터로 구성된 도형을 나타내며, 점선은 이미지에서 획득된 특징점들로 구성된 도형을 나타내고있다. 이때 최대 오차는 7번째 특징점에서 1.5427mm로 나타났다. 이론적 최대 오차의 값은 1.4142mm인데 이와 비교해 0.1285mm의 차이로 매칭이 잘 이루어졌음을 볼 수 있었다. Fig 5은 전체적 오차를 가진 도형의 매칭 결과이며 최대 오차는 7번째 특징점인 우측하단 모서리 부분에서 생겼으며 오차는 2.51855mm를 보였다. 그리고, 각 그래프의 (b)는 매칭 완료 후 오차들의 분포를 나타내고 있는데, 균일하게 미 절삭(Fig. 4(b))이 생겨 오차가 발생한 경우에는 오차가 항상 일정 오차값 이상을 나타내고 있고 있음을 알 수 있다. 또한, 균일한 과절삭 역시 같은 결과를 나타내었다. 그리고, 비틀림에 의해 오차가 발생한 경우(Fig. 5(b))에는 오차 분포가 고루 퍼져있음을 알 수 있어 매칭 후 오차의 원인도 분석 할 수 있다.

## 6. 결론

본 논문에서는 PC기반의 비전 시스템을 이용하여 가공된 제품에 대한 검사를 병용 할 수 있는 검사알고리즘을 개발하여 적용하였다. 본 연구에서의 2D 가공물 검사방법은 현장에서 작업하는 NC 데이터모델을 이용할 수 있으므로 CAD 데이터를 이용하지 않고 검사할 수 있어 작업효율을 높일 수 있다. 또한, 실험결과 각 경우 8회 미만의 반복으로 매칭이 이루어짐으로 아주 빨리 불량률을 가려낼 수 있다. 그리고, 매칭 후 오차 분포 그래프를 보면 균일하게 미절삭



(a) Matching result



(b) Error distribution after shape matching

Fig. 5 Matching result of shape with general error

이나 과절삭이 생겨 오차가 발생한 경우에는 오차가 항상 일정 오차 이상의 값을 가지지만 비틀림에 의해 오차가 발생한 경우에는 오차 분포가 그렇지 못하다. 따라서 개발된 검사기능은 제품 가공 후 불량률을 식별할 뿐만 아니라 불량률의 원인도 분석 할 수 있어 가스절단작업에 적용하여 가공물을 검사하고 나아가 레이저나 플라즈마 절단 같은 정밀 가공물 검사에도 다양하게 적용할 수 있을 것이다.

## 참고문헌

1. J.S. SALLADE , M.L. PHILPOTT, "Synthetic template methodology for CAD directed robot vision," *Int.J.Tools Manufact.*, Vol. 37, No. 12, pp.1733-1744,1997
2. Yvres Lucas, Tanneguy, Alain Jutard, "Spatial contours for vision and CAD model matching," *image and vision computing*, Vol.14, 1996
3. J.M. Chen, J.A.Ventura, "Vision-based shape recognition and analysis of machined part," *International Journal of Production Research* 33, (1) 184-135, 1995
4. 조지승, 정병목, "로봇 비전을 이용한 대형 2차원 물체의 인식과 가공," *한국정밀공학회지*, 제 16권, 제 2호, pp.68-73, 1999
5. Robert M.Haralick and Linda G.Shapiro, "Computer and Robot Vision 1," Addison Wesley, pp. 588-625, 1993.
6. Ramesh Jain, Rangachar Kasturi, Brian G.Schunck, "Machine Vision," McGRAW-Hill International Editions, 1995