

CCD카메라와 레이저 센서를 조합한 지능형 로봇 빈-피킹에 관한 연구

A Study on Intelligent Robot Bin-Picking System with CCD Camera and Laser Sensor

신찬배*, 김진대**, 이재원***

Chan-Bai Shin*, Jin-Dae Kim**, Jeh-Won Lee***

ABSTRACT - In this paper we present a new visual approach for the robust bin-picking in a two-step concept for a vision driven automatic handling robot. The technology described here is based on two types of sensors: 3D laser scanner and CCD video camera. The geometry and pose(position and orientation) information of bin contents was reconstructed from the camera and laser sensor. these information can be employed to guide the robotic arm. A new thinning algorithm and constrained hough transform method is also explained in this paper. Consequently, the developed bin-picking demonstrate the successful operation with 3D hole object.

Key Words : Bin-picking, Automatic handling, CCD camera, Laser sensor, Auto-calibration, 3D hole object

1. 서론

최근 들어 전자 기술의 급속한 발전과 더불어 센서 기술 및 마이크로프로세서의 성능이 비약적으로 향상되어 3차원 시각 센서의 성능도 크게 개선시킬 수 있게 되었다. 국내에서도 많은 형태의 시각 센서들이 개발되어 용접선 추적이나 3차원 로봇 검사용으로 적용되고 있다.^[1]

하지만 난잡하게 쌓여있는 불규칙적 대상물에 대한 핸들링이나 조립 등이 요구될 때 이를 자동으로 인식, 작업을 수행 할 수 있는 지능형 로봇 빈-피킹 작업에 적용 가능한 시각 인식 방법이나 기술에 대한 개발사례는 아직 미비한 실정이다. 비정렬된 부품에 대한 기존 로봇 작업에서는 주로 추가의 부품 정렬기구나 위치 결정 치구를 사용하였다. 이 경우 고비용의 문제점을 가진다.

Rahardja와 Kosaka^[2] 복잡한 비정렬 물체에 대한 스테레오 영상으로부터 다각형과 원형 부분을 추출하여 빈-피킹 작업을 수행하였다. Ikeuchi^[3]는 빈을 인식하고 파지(Grasping) 하기 위하여 카메라 영상과 CAD모델을 이용하였다. Yan Zhang^[4]은 레이저측정과 비디오 영상을 함께 이용하여 2차곡면(Superquadrics)으로 모델링하여 3차원 물체의 위치와 방향을 인식하는 작업을 수행하였다. 이와 같은 연구들에서는 3차원 물체의 표현이나 분해법이 주 관점이었다.

본 연구에서는 카메라와 레이저 빔 영상을 단계적으로 이용하여 실제 빈-피킹의 기준이 되는 로봇의 관점에서 강인한 성능을 발휘할 수 있는 지능형 로봇 빈-피킹 모듈을 개발하고자 한다.

2. 지능형 빈-피킹을 위한 알고리즘

2.1 2차원 영상처리 및 위치 인식

CCD 카메라로부터 얻어지는 영상으로부터 작업 대상물의 2차원 위치인식을 위하여 여러 단계를 거친다. 에지의 인식은 소벨(Sobel) 마스크를 사용하였으며 8방향 체인코딩(Chain coding)으로 물체들을 분해하였고 면적과 원형도(Complexity)를 이용하여 일단 작업 대상물을 인식하였다. 인식된 결과에서 다시 체인코드 정보로부터 빈의 중심위치를 보정행렬에 적용하여 2차원 위치 인식을 하였다.

2.2 레이저광 영상의 세선화(Thinning)

세선화는 가우시안 분포의 레이저 빔 영상에 대하여 밝기가 가장 밝은 부분을 연결하는 작업으로 본 논문에서는 레이저 광 단면의 빛의 강도를 2차식 곡선 맞춤하여 최대 값을 찾는 방법을 사용하였다.

2.3 구속 허프 변환(Hough Transform)

허프 변환은 직각 좌표계(x, y)상의 선 데이터를 극좌표(ρ, θ)로 변환하여 처리, 특정 정보만을 추출하고 역 변환하여 직선을 찾아내는 방법이다.

본 연구에서 사용된 구조화 레이저 빔은 주로 직선 형태 영상을 형성하므로 직선 찾기에 대해서는 식(1)와 같은 각도 구속 허프 변환을 적용하였다.

$$y = ax + b$$

* 신찬배 : 울산과학기술대학교 부교수

** 김진대 : 유진MS, 차장

*** 이재원 : 영남대학교 기계공학부 교수

$$\rho = x \cos \theta + y \sin \theta \quad (1)$$

여기서, $\theta_{lower} < \theta < \theta_{upper}$

θ_{lower} 와 θ_{upper} 는 검사 대상물의 형상에 의해 결정되는 값으로 구속 조건으로 사용가능하며 V에지와 같은 여러 직선 형상의 물체에 대한 두 직선, $(\rho_1, \theta_1), (\rho_2, \theta_2)$ 에 대한 교점은 식(2)로 간단히 구할 수 있다.

$$x_i = \frac{-\rho_1 \sqrt{(1/\tan \theta_1)^2 + 1} + \rho_2 \sqrt{(1/\tan \theta_2)^2 + 1}}{-(1/\tan \theta_1) - (1/\tan \theta_2)}$$

$$y_i = \frac{-\rho_1 \sqrt{(1/\tan \theta_1)^2 + 1} - \rho_2 \sqrt{(1/\tan \theta_2)^2 + 1}}{(1/\tan \theta_1) + (1/\tan \theta_2)} \quad (2)$$

2.4 공간원의 중심 및 방향 찾기

Fig. 1의 공간원에 대한 경우 여러 번의 레이저빔 측정으로 레이저 라인이 원호의 에지점과 만나는 최소4점 이상을 이용하여 공간적으로 해결하여야 한다. 식(3)은 중심점이 $(-A/2, -B/2, -C/2)$ 이고 반경 $sr = (\sqrt{A^2 + B^2 + C^2 - 4D})/2$ 인 구의 방정식을 나타낸다.

$$x^2 + y^2 + z^2 + Ax + By + Cz + D = 0 \quad (3)$$

이를 정리하고 n개의 공간 원호 상의 에지 점들에 대하여 적용하면 다음과 같다.

$$\begin{pmatrix} x_1 & y_1 & z_1 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_n & y_n & z_n & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A \\ B \\ C \\ D \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -x_1^2 + y_1^2 + z_1^2 \\ \vdots \\ -x_n^2 + y_n^2 + z_n^2 \end{pmatrix}$$

의사 역행렬을 이용하여 구의 중심과 반경을 알 수 있다.

한편 구면상에 존재하는 공간원은 또한 동일 평면을 형성하므로 식(4)의 평면으로 나타낼 수 있다.

$$ax + by + cz + d = 0 \quad (4)$$

마찬가지 방법으로 n개의 공간 원호 상의 에지 점들에 대하여 적용하여 정리하고 $a=1$ 로 두면 식(5)이 유도 된다.

$$\begin{pmatrix} y_1 & z_1 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ y_n & z_n & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} b \\ c \\ d \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -x_1 \\ \vdots \\ -x_n \end{pmatrix}, \quad k\bar{x} = l \quad (5)$$

식(22)의 의사 역행렬 방법으로 평면의 계수를 알 수 있다.

$$\bar{x} = [k^T k]^{-1} k^T l \quad (6)$$

따라서 구하고자 하는 공간원의 반경은 Fig. 1로부터 계산가능하다.

$$cr = \sqrt{sr^2 - dr^2}$$

$$dr = \frac{|-Aa/2 - Bb/2 - Cc/2 + d|}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2}} \quad (7)$$

원의 중심점은 구 중심점을 지나고 평면의 방향 벡터와 평행한 직선과 평면의 방정식의 교점의 관계로부터 식(8)로 구할 수 있다.

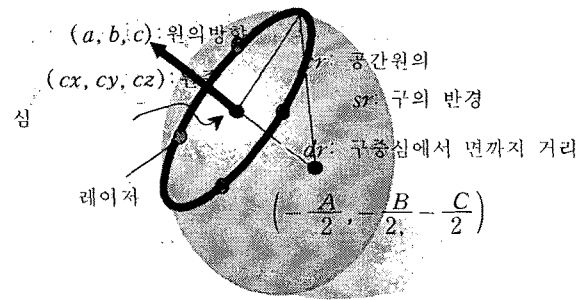


Fig. 1 Concept of space hole recognition

$$cx = ta - A/2, \quad cy = tb - B/2, \quad cz = tc - C/2 \quad (8)$$

$$\text{여기서, } t = \frac{Aa/2 + Bb/2 + Cc/2 - d}{a^2 + b^2 + c^2}$$

구한 원의 중심과 평면의 법선은 빈피킹로봇의 그리퍼 툴 경로 계산에 이용된다.

$$\begin{bmatrix} s_x \\ s_y \\ s_z \end{bmatrix} = \frac{1}{2 \sin \Phi} \begin{bmatrix} r_{32} - r_{23} \\ r_{13} - r_{31} \\ r_{21} - r_{12} \end{bmatrix} \quad (9)$$

3. 실험 및 검토

본 연구의 지능형 빈-피킹 테스트에 사용된 로봇 모델은 NACHI-SC50 6R이며 카메라는 Sony의 HR50을 사용하였고 프레임 그라버(Frame Grabber)는 메트룩스사의 Meteor2-MC/4, 레이저 광은 Class IIIb, Wave length: 660nm, Power:35mW 고출력레이저를 이용하였다.

빈피킹 대상물은 외경 50mm, 내경 30mm, 두께:5mm의 원형 링들로 공간상에서 원을 형성하는 물체를 임의로 배치하였다. 먼저 Fig. 2는 비 정렬 물체를 카메라로 촬영한 영상으로부터 2차원 처리 과정들을 통하여 구해진 빈-피킹 2차원 위치를 얻어내기 위한 과정으로 원의 중심점 결과를 나타낸다.

여기에서 구해진 원의 중심점은 2차원 보정행렬 적용과정을 거쳐서 Fig. 4의 3차원 측정 위치를 계산하는데 사용되며 본 실험에서는 중심점에서 $\pm 5\text{mm}$ 부분을 3차원 측정위치로 계산하였다.

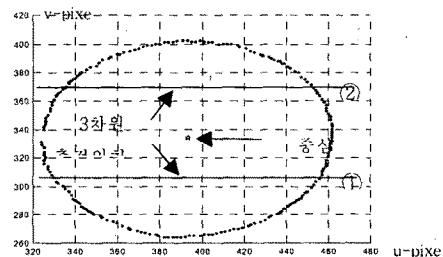


Fig. 2 Output of 2D processing

Fig. 3은 Fig. 2의 ①과 ②의 위치에서 레이저 센서로 측정된 영상을 보이고 있다.

2차원 인식 부분에서 우선적으로 레이저 시각센서 헤드를

공간 홀의 중심부분으로 이동하였기 때문에 두 직선을 u 방향 픽셀의 중간부분을 중심으로 분할 후 구속허프변환을 적용하였다. 분할 및 구속허프변환을 적용하고 난 결과로부터 찾아낸 직선은 다음의 Fig. 4와 같다.

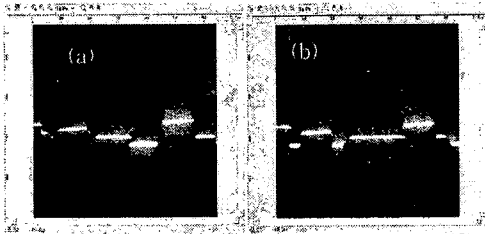


Fig. 3 Laser measurement images

이로부터 공간 원주 상에 존재하는 에지 인식 결과는 Fig. 5에 나타내었다. 에지 점을 인식하기 위해 점과 직선까지의 거리를 이용하였다. 위의 순서로 공간 원주상의 4점을 3차원 레이저 보정과 로봇 기준 좌표계로의 변환 과정을 거쳐 공간원의 중심과 방향 벡터로부터 2단계 로봇 피킹 툴의 접근 경로를 구하였고 Fig. 6에 나타내었다.

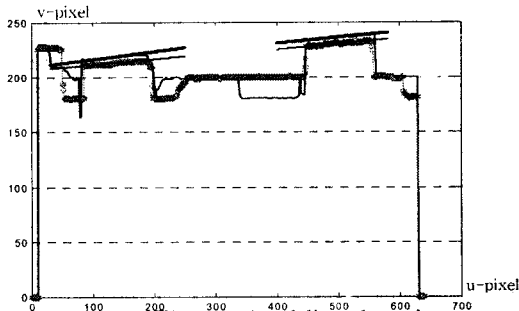


Fig. 4 The result of line detection

초기 로봇 그리퍼 위치에서 진입전 경로에까지 직선 경로로 먼저 움직이고 속도를 낮추어 빈-피킹을 위한 진입 후 지점까지 미세하게 움직이도록 경로 계획을 수행하였다.

4. 결론

본 논문에서는 공간상에 난잡하게 쌓여있는 비정렬 홀물체에 대하여 자동으로 인식, 핸들링을 수행할 수 있는 지능형 로봇 빈-피킹 모듈을 개발하였다. 비정렬 홀 부품의 초기 위치 인식을 위하여서는 비접촉식 2차원 CCD 카메라를 이용하였고, 3차원 방향과 위치 정보를 추출하는 과정에서는 레이저 센서를 이용하여 단계적으로 작업을 수행하였다. 또한 로봇 측정 자세 변화에 대한 3차원 측정의 보정문제에 있어 미리 센서 단계에서 고려할 수 있는 자동 보정기법을 도입함으로써 복잡한 기구학적 문제를 단순화함으로써 안정적인 빈-피킹 작업이 수행되도록 하였다.

레이저 빔의 세선화시 픽셀 단위의 오차보다 낮은 성능을 얻기 위해서 강도 2차함수로 적합하여 탐색하는 알고리즘을 제시하였고 작업 대상물의 형상에 구속적으로 적용할 수 있는

허프 변환 알고리즘을 소개하였다.

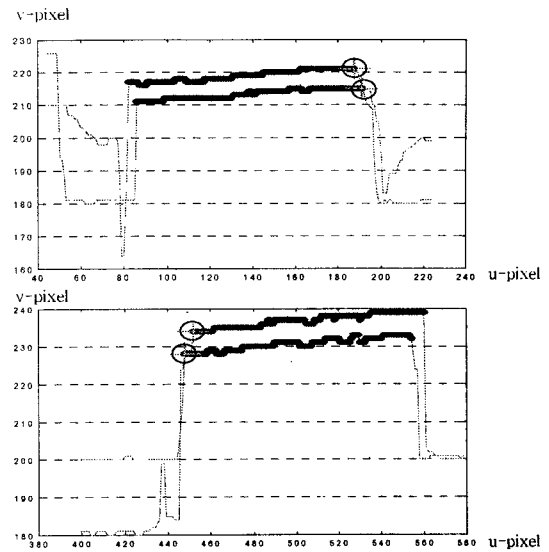


Fig. 5 The result of hole edge detection

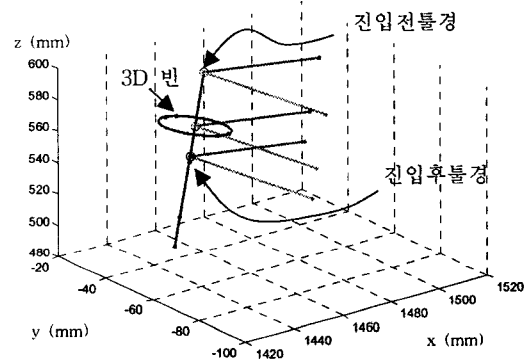


Fig. 6 Robot tool path for bin-picking

참고문헌

- [1] Shin, C. B., Kim, J. D., Lee, J. W., "A study on development of PC based in-line inspection system with structure light laser," Journal of KSPE, Vol. 22, No. 11, pp. 82-90, 2005.
- [2] Rahardja, K., and Kosaka, A., "Vision-based binpicking: recognition and localization of multiple complex objects using simple visual cues," IEEE Proceedings of International Conference on Intelligent Robots and System, Vol. 3, pp. 1448-1457, 1996
- [3] Ikeuchi, K., "Generating an interpretation tree from a CAD model for 3d-object recognition in bin-picking tasks," International Journal of Computer Vision, Vol.1, pp. 145-165, 1987.
- [4] Y.Zhang., J.Paik., "3-D Object Representation from Multi-view Range Data Applying Deformable Superquadrics," Int'l Conf. Pattern Recognition, Vol. 3, pp. 273-276, 2002.