

크레인 자동화를 위한 물체 좌표인식

Determination of Object Position for Crane Automation

박병석(한국원자력연구소), 권달안(충남대 대학원), 김성현(한국원자력연구소)
윤지섭(한국원자력연구소), 노성기(한국원자력연구소), 정용만(원광대 대학원)

ABSTRACT

Recently, the concept of automation is widely introduced in shipping and unloading materials using the overhead crane for the enhanced productivity. In this regards, we designed an overhead crane that can be operated by computer control system and installed this system at KAERI. In this paper, we introduce algorithms to find the 3D position, diameter, width, and rotated angle of objects such as drum, coil, and container. And the performance of the presented algorithms is tested using drum and container. The result will be useful for positioning grapple device such as spreader to objects in order to automatically grasp them.

Keywords : crane(크레인), position(위치), angle(각도), grapple device(파지장비), laser sensor(레이저 거리측정 센서)

1. 서 론

최근 산업시설에서는 크레인 작업의 생산성 향상 및 작업자의 안전을 위해 크레인 운전의 자동화를 추구하고 있다. 그러나 크레인 운전을 자동화하기 위해서는 많은 문제들이 해결되어야 한다. 첫째는 크레인의 구동원으로 사용하고 있는 교류모터를 제어하는 기술이 확보되어야 한다. 직류모터는 이미 제어기술이 완료된 상태이나 교류모터 제어기술은 아직까지 완벽하게 개발되어 있지 않다. 최근 벡터 제어기법을 적용한 고성능의 인버터가 생산되고는 있으나 좀더 개선이 필요하다. 둘째는 크레인의 절대위치를 측정하는 기술이다. 크레인은 고하중의 중량물을 이송하기 때문에 거더의 중량도 최소한 취급하고자 하는 중량 이상이 되어야 한다. 이와 같은 고중량은 크레인 정지시에 미끄럼을 유발시키기 때문에 크레인의 현재 위치를 정확히 측정하는 기술이 필요하다. 셋째는 크레인 이송물의 흔들림을 제거하는 알고리즘이다. 이송물의 흔들림이 제거되지 않는다면 하역시에 이의 흔들림이 제거 될 때 까지 많은 시간이 소요되기 때문에 생산성 저하의 주된 요인으로 작용한다. 넷째는 이송물의 흔들림을 측정하는 기술이다. 대부분의 흔들림제거 알고리즘에서는 이송물의 흔들림각도를 실시간으로 요구하기 때문에 알고리즘을 구현하기 위해서는 각도측정기술 및 장치가 필요하다. 다섯째는 이송물의 위치 및 틀어진 각도를 파악하고 파지하는 기술이다. 이와 같이 크

레인을 자동화하기 위해서는 많은 기술이 요구되며 어느 하나가 만족스럽지 못하면 자동화를 이루기가 어렵게 된다. 본 연구에서는 이의 기술중 이송물의 흔들림 제어 알고리즘, 각도측정장치, 이송물의 좌표 인식 및 파지기술에 관한 연구를 수행하고 있으며 본 논문에서는 이중 이송물의 3차원 위치, 크기, 및 틀어진 각도를 찾는 방법에 관해서 기술한다. 원자력이나 산업시설에서 크레인으로 이송할 수 있는 물체는 다양하지만 드럼, 코일 혹은 컨테이너가 대부분을 차지한다. 따라서, 지금까지의 크레인 작업에서의 물체 좌표인식 연구도 대부분 이들을 대상으로 하고 있다. 村田/雄 등은 레이저 광과 카메라를 이용하여 코일의 좌표를 인식하는 연구를 하였다. 그러나 구조가 다소 복잡하며 카메라의 영상처리 속도 한계로 인해서 좌표인식에 6초가 소요되었다. 이형록 등은 2개의 2차원 레이저 거리센서를 활용하여 컨테이너의 좌표를 인식하는 방법을 제시하고 있으나 코일이나 드럼의 경우에는 인식할 수 없게 된다. 본 논문에서는 하나의 고정된 장치로 코일, 드럼 혹은 컨테이너에 대해 3차원 좌표와 틀어진 각도 및 크기를 찾아내는 알고리즘을 제시하며 1개의 2차원(x,z) 레이저 거리센서를 회전기구에 부착한후 크레인의 트롤리에 매달아 본 논문에서 제시한 알고리즘의 성능을 검증한다.

2. 물체 좌표인식 방법 및 알고리즘

크레인 작업장에는 이송물이 정해진 지점에 놓여 있는 경우와 그렇지 못한 경우가 있다. 예를 들어,

차량을 통해서 이송물이 들어오는 경우 임의의 지점에 차량과 이송물이 있게 된다. 이와 같은 경우 이송작업의 자동화를 고려할 때 이송물이 있는 좌표, 크기 및 틀어진 정보가 필요하게 된다. 이의 정보 획득 방법으로는 천정에 물체 좌표인식장치를 설치하거나 크레인 트롤리에 설치하는 방법을 고려할 수 있으나 작업장의 전영역을 대상으로 할 경우 트롤리에 설치하는 것이 좀더 타당하다. 본 논문에서 제시하는 물체좌표인식 알고리즘은 어느 경우에도 사용할 수 있으나 최소한 이송물이 물체 좌표인식장치와 $\pm 200\text{mm}$ 오차 이내에 있는 것으로 가정한다. 그러나 이송물의 크기가 커지면 허용오차도 커진다. 본 논문에서 제시하는 물체 좌표인식 알고리즘은 이송물의 틀어진 각도와 물체의 크기 및 이송물의 물체 좌표인식장치로부터 떨어진 x, y, z 좌표를 찾아낸다. 이의 알고리즘을 적용하기 위해서는 기본적으로 컴퓨터와 2차원 정보(x, z)를 측정할 수 있으면 가능하나 본 논문에서는 2차원 레이저 거리센서를 활용하는 것으로 하며 트롤리에 설치한 것으로 한다. 그림 1은 이송물의 형태에 따른 그의 좌표, 크기 및 틀어진 각도를 찾는 방법을 개략적으로 보여주고 있으며 자세한 알고리즘은 다음과 같다.

그림 1 (a)는 작업장에 놓여있는 원주형 이송물(드럼 등)에 대한 좌표인식 방법으로 이 경우는 이송물의 틀어진 형태는 존재하지 않는다. 따라서, 2차원 레이저 거리센서의 중심으로부터 떨어져 있는 이송물의 좌표 $C(x_c, y_c, z_c)$ 와 크기를 찾으려 한다. (a)에서 보는 바와 같이 2차원 레이저 거리센서의 측정 중심점이 $O(0, 0, z_a)$ 에 있다고 가정할 때 여기를 중심으로 평면상의 x, y 축을 잡고 이 축 방향으로 레이저 센서가 일직선상으로 스캔(scan) 하도록 하여 각각의 예지점(A, B, D, E) 까지의 거리 x_a, x_b 와 y_d, y_e 를 구하면 식 (1), (2)와 같이 센서의 중심으로부터 이송물의 중심이 떨어진 좌표 x_c, y_c 를 구할 수 있다. $z_c(z_a)$ 는 센서가 수직방향으로 측정한 이송물까지의 거리이므로 좌표 $C(x_c, y_c, z_c)$ 를 얻을 수 있다. 또한 x_a, x_c, y_c 로부터 식 (3)과 같이 원주형의 반경(r)을 구할 수 있다.

$$x_c = (x_a + x_b)/2 \quad (1)$$

$$y_c = (y_d + y_e)/2 \quad (2)$$

$$r = \sqrt{(x_a - x_c)^2 + y_c^2} \quad (3)$$

그림 1 (b)는 원주가 눕혀진 형(코일 등)으로 (a)와 같은 방법으로 x, y 축상을 레이저 센서로 스캔한다. 이 경우 코일형의 틀어진 각도(ϕ)는 식 (4)와 같은 타원 방정식을 이용하여 계산 할 수 있다. 그러나

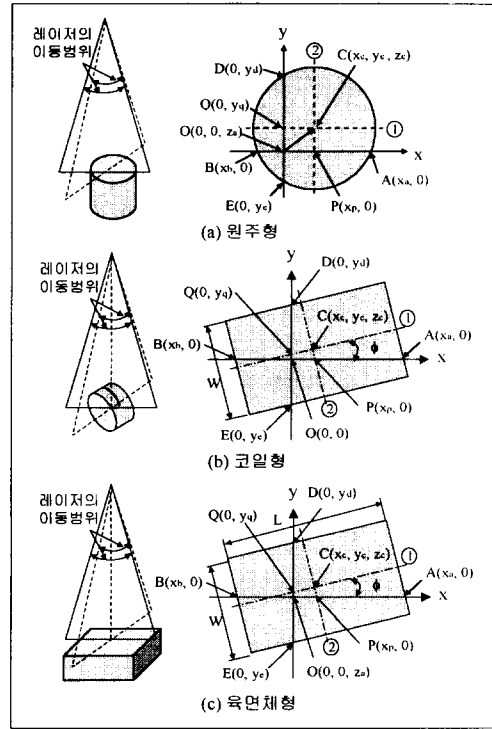


그림 1 이송물 형태에 따른 좌표인식방법

(a)의 경우와는 달리 x 축 상의 여러점의 거리정보(x_k)가 필요하고 그점에서의 z 축 거리 정보(z_k)도 필요하게 된다. 또한, 이의 정보를 활용하면 코일형의 반경(r)도 구할 수 있다.

$$(z_k - z_p)^2 + (x_k - x_p)^2 \cdot \cos^2 \phi = r^2 \quad (4)$$

(b)에서 x_p 는 x 축과 직선 ②가 만나는 지점이며, y_q 는 y 축과 직선 ①이 만나는 지점으로 식 (5), (6)과 같이 된다. 또한, 두 직선의 식은 (7), (8)과 같이 되며 이의 만나는 지점이 이송물의 중심위치가 되므로 식 (7)과 (8)을 연립하여 풀면 센서의 중심으로부터 이송물의 중심이 떨어진 좌표 x_c, y_c 를 식 (9), (10)과 같이 구할 수 있다.

$$x_p = (x_a + x_b)/2 \quad (5)$$

$$y_q = (y_d + y_e)/2 \quad (6)$$

$$x = -\tan \phi \cdot y + x_p \quad (7)$$

$$y = \tan \phi \cdot x + y_q \quad (8)$$

$$x_c = \cos^2 \phi (x_p - y_q \cdot \tan \phi) \quad (9)$$

$$y_c = \cos^2 \phi (y_q + x_p \cdot \tan \phi) \quad (10)$$

코일의 폭(W)은 식 (11)을 활용하면 구할 수 있다.

$$W = (y_d - y_e) \cdot \cos \phi \quad (11)$$

여기서도 z_c (z_a)는 센서가 수직방향으로 측정 한 이송물까지의 거리이므로 좌표 $C(x_c, y_c, z_c)$ 를 얻을 수 있다.

그림 1 (c)는 육면체형(컨테이너 등)으로 좌표 $C(x_c, y_c, z_c)$ 의 계산식은 (b)와 동일하나 틀어진 각도를 구하기 다소 어렵다. 따라서, 다소 시간이 소요되더라도 y축 근방에서 스캔한 후 $y_d - y_e$ 가 최소가 되는 거리를 찾아 이를 폭(W)으로 결정하고 식 (12)에 대입한후 틀어진 각도를 구하고, 이를 활용하여 식 (13)과 같이 컨테이너의 길이(L)도 구한다.

$$\phi = \cos^{-1} (W / (y_d - y_e)) \quad (12)$$

$$L = (x_a - x_b) \cdot \cos \phi \quad (13)$$

3. 이송물 좌표인식장치 구성

정밀한 좌표인식장치를 구성하기 위해서는 정밀한 거리측정센서가 요구되나 이송물을 파지하는 기구가 $\pm 30\text{mm}$ 정도의 오차는 극복할 수 있기 때문에 $\pm 30\text{mm}$ 의 오차 정도를 지닌 독일 IBEO사의 LADAR 2D-50에 회전기구를 부착하여 그림 2와 같이 트롤리 하단에 설치하였다. LADAR는 0.58° 의 간격으로 270° 범위를 측정할 수 있고, 초당 3600개의 데이터를 얻을 수 있다. 데이터는 스캔 각도(θ)와 그 지점까지의 거리정보(d) 혹은 환산된 x, z 값이다.

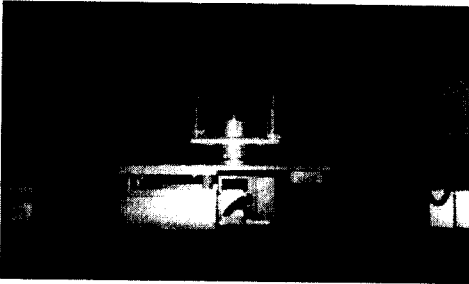


그림 2 이송물 좌표인식장치

4. 이송물 좌표인식 실험 및 결과

4.1 에지검출

레이저 센서는 식 (14), (15)와 같이 (d, θ) 를 (x, z) 로 실시간으로 변환하여 준다. 그러나 식 (16)에서 보는 바와 같이 레이저 센서의 설치높이(H)와 스캔

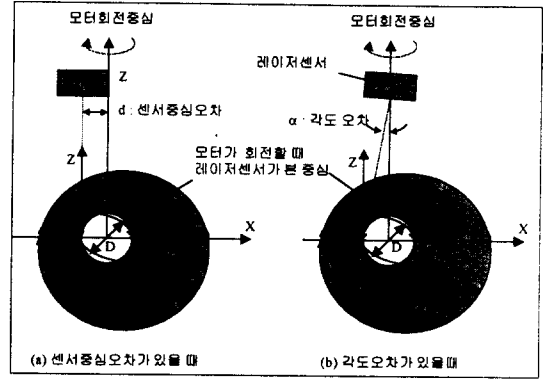


그림 3 센서중심오차와 기울어짐 보상

스텝 각도(θ_s)의 크기와 에 따라 지상에서 스캔되는 폭(x_g)이 변하게 됨을 알 수 있다. 특히, 설치높이가 커지면 스캔되는 폭도 커지게 되어 에지 검출의 정도가 떨어지게 된다. 따라서, 스캔 정도를 높이기 위해 식 (17)과 같이 스캔 시작각(θ_{st})을 angular resolution($360^\circ/2^{14}=0.02197^\circ$) 씩 쉬프트하면서 데이터를 얻은후 이를 재배열하면 스캔되는 폭의 간격을 줄일 수 있다.

$$x = d \cdot \sin \theta \quad (14)$$

$$z = d \cdot \cos \theta \quad (15)$$

$$x_g = H \cdot \tan \theta_s \quad (16)$$

$$\theta_{st} = \theta_{st} + \text{angular resolution shift} \quad (17)$$

에지 검출에는 z방향의 거리정보가 사용되는데 센서의 오차에 의해서 진동하게 된다. 따라서, 식 (18)과 같이 데이터를 인근평균하여 평활화 하였다.

$$z_i' = \frac{1}{2n+1} \sum_{k=i-n}^{i+n} z_k \quad (18)$$

물체의 높이(h)와 에지는 각각 식(19)와 식(20)으로부터 쉽게 구할 수 있다.

$$\text{if } (z_i' < (H - \text{Threshold}) \text{ and } z_i' \equiv z_{i-1}' \equiv z_{i+1}') \text{ then } h = H - z_i' \quad (19)$$

$$\text{if } (z_i' < (H - h/2 + \text{Threshold}) \text{ and } z_i' > (H - h/2 - \text{Threshold})) \text{ then edge} = x_i \quad (20)$$

4.2 센서중심오차와 처짐각 보상

그림 3 (a)와 같이 모터축과 센서중심에 오차가 발생하였을 경우 모터가 회전함에 따라 센서가 바라본

중심은 지름이 D인 원을 그리게 되고 (b)와 같이 레이저 센서가 기울어진 경우에도 센서의 중심이 원을 따라 있게 된다. 이를 보상하는 방법으로 x 방향으로 스캔된 에지점 e_i, e_{i+1} 를 얻고, 모터를 180° 회전하여 같은 위치의 에지점 e'_i, e'_{i+1} 을 얻으면 식 (21)과 같이 지름 D을 얻을 수 있다. 이를 이용하여 식 (22)와 같이 실제의 에지점 e_i 와 e_{i+1} 를 얻는다.

$$D = (e_i + e'_i) \quad (21)$$

$$e_i = e_i - D/2 \text{ and } e_{i+1} = e_{i+1} - D/2 \quad (22)$$

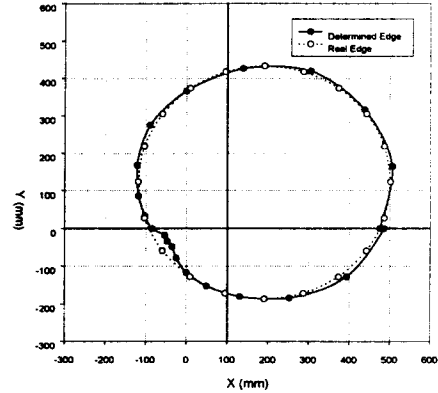
4.3 실험 및 결과고찰

물체 좌표인식장치는 지면으로부터 6600mm 되는 지점에 레이저센서의 헤드가 일치하도록 크레인의 트롤리에 부착시켰다. 좌표인식 실험은 지름이 610mm 이고, 높이가 860mm인 드럼을 레이저 센서의 중심점으로부터 x 방향으로 191mm, y 방향으로 123mm 벗어나게 한 후 실험한 결과 드럼의 윤곽선을 그림 4 (a)와 같이 찾을 수 있었으며, 드럼의 중심점은 센서로부터 (200, 126, 5727) 위치로 나타났다. 드럼의 지름은 623mm, 높이는 873mm로 측정되었고 전체적으로 2cm 이내의 인식 오차를 보였다. 또한, 컨테이너의 경우도 실험하였는데 이의 윤곽선은 (b)와 같다. 컨테이너의 크기는 높이가 860mm, 길이가 1650mm, 폭이 1050mm로 레이저 센서의 중심점으로부터 일정거리를 벗어나게 한 후 실험한 결과 컨테이너의 중심점 좌표인식 오차는 대략 3cm로 나타났다. 또한, 컨테이너를 18.5도 정도 틀어지게 한 후 각도를 측정된 결과 17.8도로 인식하는 좋은 결과를 얻을 수 있었다. 그러나 컨테이너의 경우는 모서리 부분에서 에지점을 정확히 찾을 수 없었다. 이는 좌표인식장치의 모터 회전각을 작게 함으로서 개선시킬 수 있으나 이 경우 데이터 양이 많아지므로 시간이 많이 소요된다. 좌표인식 알고리즘은 모서리 부분을 정확히 찾아야하기 때문에 모서리가 균일하지 못하면 인식 효과가 다소 떨어짐을 보였다.

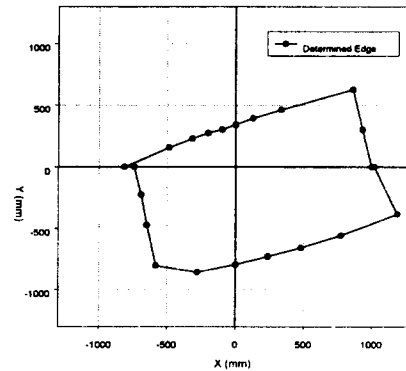
5. 결 론

본 논문에서는 산업현장에서 많이 쓰고 있는 크레인의 자동화에 요구되는 기술중 드럼, 코일 혹은 컨테이너와 같은 물체의 위치와 크기 및 틀어진 각도를 찾아내는 좌표인식 알고리즘을 제시하였으며, 임의의 지점에 놓여있는 드럼과 컨테이너에 대해 실험을 수행하여 만족할만한 좌표인식 정보를 얻을 수 있었다. 이와 같은 정보는 물체를 자동으로 파지할 수 있는 정보를 제공하기 때문에 크레인 자동화시에

유용하게 사용할 수 있다. 실험 결과 레이저 센서의 오차로 인해서 $\pm 20\text{mm}$ 정도의 오차는 발생하였으나 파지기구에서 이 정도의 오차는 허용할 수 있기 때문에 자동으로 물체를 파지하는 것이 가능한 것으로 여겨지며 좀더 정밀한 인식이 필요하다면 정밀한 센서를 사용하거나 2차적으로 물체에 근접해서 다시 정밀한 좌표를 얻는 방법을 적용하면 된다.



(a) 드럼의 에지 추출



(b) 컨테이너의 에지 추출

그림 4 드럼과 컨테이너의 에지추출

참 고 문 헌

1. Torbitt, A.J., et al., "Development of Deployment Results of the Tethered Remote Operating Device", Proceedings of ANS 6th Topical Meeting on Robotics and Remote System, Vol. 1, pp. 62-69, 1995.
2. B. S. Park, S. H. Kim, D. A. Kwon, J. S. Yoon, "A Study on Automation of Crane Operation", KACC Proceedings, vol. 12, pp. 1871-1875, 1997
3. H. R. Lee, J. H. Kim, "Spreader and Container Recognition Method for Unmanned Container Stack", KACC Proceedings, vol. 9, pp. 1155-1160, 1994.