

### 로봇 팔의 위치 제어를 위한 영상 처리 기법

조현석, 유래성, 최성섭, 홍석교  
아주대학교 전자공학부

## Image Processing for Position Control of a Robot Manipulator

Hyun-Suk Cho, Lae-Sung Yu, Seong-Seop Choi, Suk-Kyo Hong  
School of Electronics Engineering, Ajou University

**Abstract** - This paper presents an image processing method to recognize object's position from images for robot control applications. The Sobel Mask and the Dialated Gradient Mask algorithms are used to extract and refine the edge of the object. The inside of the extracted edge is filled with '1's for calculation of the center of mass to identify object's position. We propose a heuristic method which averages the positions of the objects in 10 frames to reject noises, and discuss the application of the proposed method to robot control.

### 1. 서 론

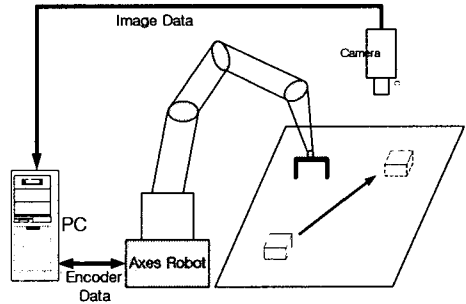
정밀한 제어를 위해서 여러 센서들이 개발되고 지금도 상당한 연구가 진행되고 있다. 하지만, 디지털 세계가 첨단 기술로 진보되어 가고 센서들의 종류가 많아지면서 대체용으로 영상 처리 시스템이 나오기 시작했다. 영상 처리 시스템을 통해서 여러 센서를 단일화시키는 획기적인 발전을 하게 되었다.

또한 로봇 팔은 예전부터 산업 현장에서 많이 이용되어 오고 있다. 인간이 직접 관여해서 작업하기는 힘들고 위험한 환경이거나, 단순하고 반복적인 작업을 하는 분야에서 인간을 대신하는 로봇 팔은 산업 현장에서 점점 많은 분야를 차지하고 있는 것이 요즘 현실이다. 또한 산업용 로봇이 많은 분야에서 활용되고 있는 만큼 비약적인 발전도 되고 있다. 산업용 로봇이 혁신적으로 발전된 경우를 말한다면 인간의 시각적인 부분과 같은 카메라를 통한 영상 처리로 작업의 정확성이 더욱 높아졌다. 이후로 첨단 산업이 급속도로 발전하면서 인간이 도전할 수 있는 영역이 넓어졌다. 우주 탐사, 심해 탐사, 폭발물 제거 등등의 작업을 인간의 눈을 대신해서 비전 로봇이 행해지고 있다. 영상 처리 시스템이 없다면 정형화 되어 있는 반복 작업이더라도 기계적인 작동에는 오차가 생기기 마련이다. 그 오차를 영상 처리를 통해서 정확하고 빠르게 인식하고 보정시키는 것에 초점이 맞춰져서 한층 진보되어 가고 있다.

이 논문에서는 영상 처리에 의하여 이러한 오차를 줄이고 정확도를 향상시키기 위한 기법을 다루고자 한다. 카메라를 통해서 얻은 영상을 인식하기 쉽도록 최소한의 잡음(noises)을 줄이는 전처리(preprocessing) 과정을 거치고 그 정보를 통해서 구하고자하는 목표물의 중심 좌표(center of mass)를 구하는 알고리즘을 이용하였다. 일정한 특징적인 목표물의 중심 좌표를 정확하게 구할 수 있다면, 5축 로봇 팔의 작업은 보다 정확하게 이루어질 수 있다. 영상 처리를 하지 않은 로봇 팔의 움직임과 영상 처리를 통한 로봇 팔의 움직임을 정확성과 안정성을 비교함으로써 개선된 점을 보여준다.

### 2. 시스템의 구성

<그림 1>은 이 논문에서 대상으로 삼는 로봇 팔과 영상부의 구성을 보여 준다. 카메라는 로봇 팔이 움직일 수 있는 영역을 인식할 수 있는 위치에 고정을 시킨다. 영상 처리와 로봇 제어는 PC상에서 이루어진다. 영상 처리기는 카메라를 통해 입력된 영상으로부터 실시간으로 물체의 좌표값을 인식하고, 로봇 제어기는 조작자의 입력 좌표와 인식된 물체의 좌표값을 비교하여 물체를 쫓고, 이동시키고, 내려놓는다.



<그림 1> 로봇 팔과 영상부의 구조

### 3. 전처리(preprocessing) 과정

전처리 과정은 잡음(noises)을 최소화하기 위해서 거치는 단계로 영상 인식에서 중요한 과정에 속한다. 전처리 과정에서 얼마나 잡음을 많이 줄이고 윤곽선을 정확하게 인식하느냐에 따라서 로봇 팔의 위치 제어가 안정적이고 정확하게 될 수 있다. 물체의 중심 좌표를 잘 잡더라도 잡음을 줄이지 못하면 매 프레임(frame)마다 좌표가 변화되는 현상을 보인다. 반면에, 전처리 과정을 거치게 됨으로써 많은 시간을 소요하게 된다. 따라서 영상 처리 속도와 잡음 제거의 효율을 염두에 두어야 한다. 전처리 과정에서는 입력 받은 영상을 이진화(binartization) 시키며, Sobel 마스크를 통해서 대략적인 윤곽선을 검출하고, 제대로 잡히지 않은 윤곽선의 테두리를 마무리 지어준다. 그 후에 윤곽선이 제대로 잡힌 이미지의 홀(hole)을 메우고, 원영상의 형상과 비슷하게 하기 위해서 이미지의 테두리를 부드럽게 다듬어준다.

#### 3.1 영상의 이진화와 Sobel Mask

입력 영상 데이터는 컬러 영상이지만, 의미가 없기 때문에 이진 영상(gray scale)으로 변환시켜 준다. 히스토그램(histogram)에서 임계값(threshold value)을 정하여 흑백 영상으로 만든다. 임계값이란, 0부터 255까지의 명암도를 나타내는 값에서 흑과 백을 구분 짓기 위한 경계값을 말한다. 이 논문에서는 임계값을 200의 상수로 정하고 그 이상의 값을 백색으로 하고 이하의 값

을 흑색으로 나타낸다. 물체의 특징을 잘 살리기 위해서 임계값을 적절하게 정해줘야 한다. 임계값을 낮게 설정하게 되면 배경과 함께 인식하게 되어 더 많은 잡음이 생긴 수 있으며, 높은 임계값을 설정하게 되면 물체의 형상도 인식하지 못하는 경우가 생긴다.

이진 영상을 통해서 윤곽선을 검출할 수 있는 Sobel Mask를 적용한다 [1]. 1차 미분을 통한 에지 추출기인 Gradient Edge Dector를 이용하는 방법으로,

$$Gf(x, y) = i \frac{\partial f}{\partial x} + j \frac{\partial f}{\partial y} \quad (1)$$

로부터 유추하여 Sobel Mask를 이용할 수 있다. <그림 2>에서 Sobel Mask는 수평과 수직 에지(edge)에서 보다는 대각선 방향에 놓여진 에지에 더욱 민감하다는 것을 알 수 있다. 하지만, Sobel Mask는 잡음과 같은 돌출된 값을 비교적 평균화하는데 수월한 성능을 가지고 있다.

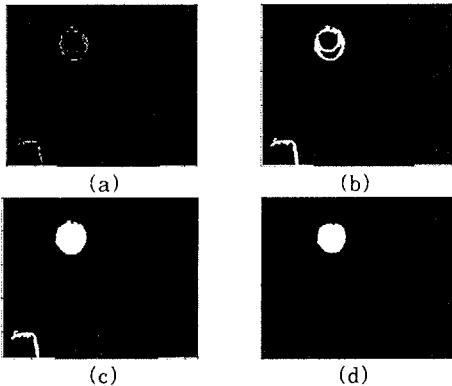
|    |   |   |
|----|---|---|
| 1  | 0 | 1 |
| -2 | 0 | 2 |
| -1 | 0 | 1 |

|    |    |    |
|----|----|----|
| -1 | -2 | -1 |
| 0  | 0  | 0  |
| 1  | 2  | 1  |

(a) Sobel의 수평 Mask (b) Sobel의 수직 Mask

### 3.2 이미지의 정확한 윤곽선 검출

Sobel Mask까지 처리한 영상의 윤곽선은 정확하지 않고 미흡한 상태이다. 물체의 형상을 제대로 인식하기 위해서 연결되지 않은 테두리를 연결시켜주는 기법을 사용했다. <그림 3>에서 윤곽선을 팽창시켜 주게 되면 미세한 부분까지 연결이 되어 원영상에 가깝게 형상을 잡는 것을 볼 수 있다 [2]. 그 결과 정확한 윤곽선을 잡지 못한 영상 잔재는 잡음으로 인식하고 제거하게 된다. 반면에 물체의 영상을 제대로 윤곽을 잡지 못하게 되면 제거되는 문제점도 생기게 된다.



(a) Sobel Mask (b) 윤곽선을 팽창시킨 영상 (c) 윤곽선 내부를 채운 영상 (d) 테두리를 다듬은 영상

실질적인 물체의 중심 좌표를 잡기 위한 기본 준비 과정으로, 물체로 인식된 윤곽선의 내부를 흰색으로 채운다 [3]. 물체의 중심 좌표를 구할 시에 물체의 형상으로 인식된 부분은 동일한 픽셀로 계산되어야 한다. 다음 단계로, 원영상보다 팽창되어 있는 형상으로 인식이 되어 있기 때문에 테두리를 부드럽게 다듬어 주어 물체의 원영상 크기로 대략적으로 맞추게 된다 [4].

### 4. 물체의 중심 좌표(center of mass) 인식 전처리 과정에서 윤곽선 검출을 통한 잡음 제거는 안

별할 수가 없다. 심한 경우, 잡음도 물체로 인식이 되어 영상 처리에 오류를 낼 수도 있다. 입력 받은 영상의 주변 환경이 최적의 환경이 아니기 때문에 잡음은 항상 고려되어야 할 대상이다. 약간의 잡음으로 인한 중심 좌표의 변화 현상이 나타난다. 따라서 로봇 팔의 동작에는 위치 제어에 불안정한 현상을 보일 수 있다.

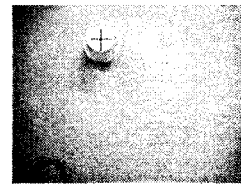
그러므로, 안정적인 좌표 인식을 위한 기법을 제안한다. 카메라를 통해서 약 20frame/second의 영상 속도를 얻게 된다. 빠른 속도의 영상 처리도 중요하지만 정확성을 더욱 필요로 하는 구동이기 때문에 안정적인 좌표 인식에 초점을 잡았다.

#### 4.1 각 영상 이미지의 좌표 인식

한 프레임(frame)의 중심 좌표는 임계값을 이용해서 얻어낼 수 있다. 전처리 과정에서 검출해낸 물체의 형상은 임계값보다 높기 때문에 영상 버퍼에 1로 저장하고 주변 배경은 임계값보다 낮기 때문에 0으로 저장한다.

$$x = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} x_i, \quad y = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} y_i \quad (2)$$

평균값을 구하는 (2)의 식에서, 1로 저장된 픽셀들의 좌표값을 합해서 픽셀들의 수만큼 나눠준 평균 좌표값을 구한다 [5]. 이로써 각 프레임에 대한 물체의 중심 좌표를 구할 수 있다. <그림 4>에서 인식된 특정 물체에 대해 십자(+) 표시를 하고 그에 대한 중심 좌표를 보여준다. 고정된 물체의 중심 좌표 인식율을 실험을 통해서 알아 본 결과, <그림 4> (b)에서 잡음으로 인해서 좌표가 계속적으로 미세하게 흔들린다는 것을 관찰할 수 있다.



(a)

|     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|     | 0   | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   |
| x좌표 | 86  | 86  | 90  | 87  | 86  | 89  | 86  | 86  | 87  | 87  |
| y좌표 | 189 | 190 | 190 | 189 | 188 | 190 | 190 | 189 | 187 | 189 |

(b)

(a) 중심 좌표의 영상 (b) 각 프레임의 중심 좌표값

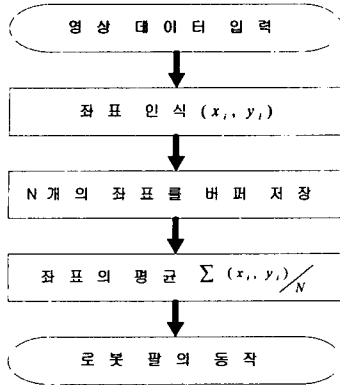
#### 4.2 안정적인 물체의 중심 좌표 인식

<그림 6>은 제거되지 않은 잡음을 고려해서 안정적인 중심 좌표를 추출하기 위한 기법을 보여주고 있다. <그림 4> (b)에서 20frame/second의 영상 정보를 얻게 되지만, 효율적인 위치 정보가 아님을 알 수 있다. 따라서 약간의 시간 지연이 되는 것을 감안해서라도 영상 좌표를 인식한 각 10프레임을 버퍼에 저장하고, 그 좌표값들의 평균 좌표로 로봇 팔의 위치 제어에 적용한다.

결과적으로는 영상 처리 인식과 로봇 팔과의 처리 속도는 2frame/second으로 설정된다. 이 영상 처리 속도를 이용하더라도 로봇 팔의 물체 이동에는 큰 무리가 없다. 또한 <그림 4> (b)와 <그림 5>을 비교해 보면 시간 지연은 10배 차이가 나기는 하지만, 중심 좌표 인식율을 보면 안정성이 두드러지게 차이가 나는 것을 볼 수 있다.

[참 고 문 헌]

[1] J. Canny, "A computational approach to edge detection," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. PAMI 8, No. 6, pp. 679-698, 1986.  
 [2] R. M. Haralick and L. G. Shapiro, *Computer and Robot Vision*, vol. I, Addison-Wesley, pp. 158-205, 1992.  
 [3] P. Soille, *Morphological Image Analysis: Principles and Applications*, Springer-Verlag, pp. 173-174, 1999.  
 [4] van den Boomgaard and van Balen, "Image Transforms Using Bitmapped Binary Images," *Computer Vision, Graphics, and Image Processing: Graphical Models and Image Processing*, vol. 54, no. 3, pp. 254-258, May, 1992.  
 [5] 김희승, *영상 인식*, 생능 출판사, pp. 37-40, 1994.



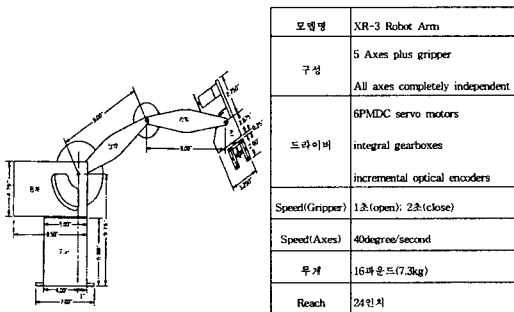
<그림 5> 안정적인 중심 좌표 인식

5. 결 론

이 논문에서는 로봇 팔을 통해서 물체를 정확하고 안정적으로 이동하기 위한 영상 처리 기법을 보여 주었다. 연속되는 영상 좌표의 평균값을 이용하여 영상 처리 속도보다 안정적인 좌표 인식에 초점을 맞춰서 어느 정도 정확한 인식율을 나타냈다. 하지만 느린 영상 처리 속도에 로봇 팔의 동작 속도를 맞춰야 하는 문제가 야기된다.

또한 전처리 과정에서 얼마나 잡음을 줄일 수 있는가에 따라서 영상 처리의 정확성이 좌우된다. 모의실험을 통한 전처리 과정에서 인식해야 할 물체도 윤곽선을 제대로 잡지 못하고 잡음 처리가 되어 제거되는 상황이 가끔 발생하였다. 차후에는 전처리 과정에서 발생하는 오류부분을 개선할 것이다.

<그림 6>은 이 논문에서 제시한 영상 처리 기법을 적용하려는 Rhino robot와 그에 대한 제원이다. 이 논문에서 구한 물체의 중심 좌표값을 이용해서, Rhino robot으로 동작하는 것을 구현할 계획이다.



<그림 6> Rhino robot의 구조와 제원