

# 로봇 비전을 이용한 Bin-Picking

\* 최재완, 임선종, 이정규, 강용근, 박경택, 김기엽

한국 기계연구원 기계자동화연구부 자동제어실

## Bin-Picking Using Robot Vision

\* J.W.Choi, S.J.Lim, J.G.Lee, Y.G.Gang, K.T.Park, G.Y.Kim

Automatic Control Lab.

Korea Institute of Machinery & Metals

### Abstract

This paper proposes LM method for solving bin-picking problem in robot vision. It has the processing steps such as image enhancement, image thresholding, region labelling, and moment computation. To determine a target object from binned objects, the modified labelling method is used. To determine position and orientation of holdsite, the moment method is used. Finally, some experiment results are illustrated and compared with the results of conventional shrinking algorithm. The proposed LM method has reduced processing time.

수 있으나 노이즈(noise)에 너무 민감하고 계산이 복잡하기 때문에 현대의 카메라와 근거리 센서를 이용한다. 즉, 현대의 카메라를 이용할때 잃어버린 거리 정보에 대해 광센서를 이용하여 보상받는 것이다. 또한 물체를 잡았는지를 판단하기 위하여 힘/토크 하중 센서를 이용하기도 한다. 이들 정보중 원거리 센서인 카메라를 이용하여 로봇트가 잡을 수 있는 물체의 holdsite를 찾는 bin-picking 방법이 여러 연구가들에 의해 제시되었다[1-5]. 이들 방법중 널리 알려진 shrinking algorithm, fronts algorithm, collision fronts algorithm, matched filter algorithm의 세가지 방법에 대해 간단히 알아본다.

Shrinking algorithm은 평활한 표면과 균일한 반사성을 갖는 물체에 주로 사용된다[1,5]. 이 방법은 먼저 화상 이진화(binazation)한 후 물체의 외곽 부분을 줄여나가(shrinking) 남은 부분의 가운데를 로봇트가 잡을 수 있는 곳(holdsite) 간주하는 것이다. 이 방법은 vacuum cup gripper를 위해 개발된 것이나 parallel-jaw gripper에도 사용할 수 있다. Collision fronts algorithm은 shrinking algorithm을 다치 화상(gray-scale image)으로 확장한 것이다[2,5]. 이 방법은 불규칙적인 표면이나 반사가 불량한 물체를 위해 고안되었으며, parallel-jaw gripper에 적용된다. Matched filter algorithm은 신호 처리 분야에서 오래전부터 알려진 방법으로 비전분야에서 널리 쓰이고 있는 template matching과 유사하나 노이즈 성분을 포함하여 계산한다는 점이 다르다[3,4,5].

### 1. 서 론

생산라인에서 제품을 조립할때 첫번째 단계는 상자 안에 부품을 집어서 작업 위치에 공급해야한다. 이때 상자 안에 임의대로 쌓여있는 동일 모양의 물체를 로봇트가 집어내는 Bin-picking 문제는 자동화의 확산에 있어서 중요한 연구과제로 되어왔다[4-7,9].

Bin-picking은 기존 로봇트에 센서정보를 부여하여 환경변화에 유연하게 대처하도록 한 것으로, 일반적으로 근거리 센서와 원거리 센서의 두가지 센서를 필요로 한다[5,8,9]. 원거리 센서는 원하는 물체의 위치를 알아내는데 이용되고, 근거리 센서는 물체를 잡았는지를 판단하는데 이용된다. 원거리 센서로 카메라, 레이저 거리 감지기(Laser range finder)나 기타 다른 종류의 센서가 이용되며, 근거리 센서로 근접센서나 하중센서등이 쓰인다. 대부분의 경우, 원거리 센서로는 레이저를 이용한 3차원 거리 측정장치의 비용 문제 때문에 값싸고 부착하기 쉬운 카메라를 주로 이용한다. 카메라를 두대 이상 설치하면 3차원 정보를 얻을

앞에서 살펴본 각 화상 처리 알고리즘들은 응용에 매우 제한적인 범위를 가지고, 또한 실시간 처리가 어렵다는 단점을 있다. 본 논문에서도 bin-picking을 위한 시각 인식 방법의 특징인 응용 범위는 제한적이지만 화상 처리 시간을 줄일 수 있는 방법에 대해 연구해보았다. 먼저 응용 범위라 할 수 있는 적용 대상 물체와 사용 gripper의 선정이 선행되어야한다. 우선 적용 대상 물체는 정확한 형상과 반사 형태에 대한 정의가 필요한데 균일한 반사 표면을 가

진 cylindrical bolt로 정한다. 화상 처리는 입의 holdsite 부분을 찾기 위하여 geometric 표현, 즉 light intensity map을 이용한다. 우선 처리할 화상에서 상자 바닥 등의 영향을 없애기 위해 image enhancement을 행하고, 겹쳐진 물체들을 각각 다른 영역으로 분리시킬 수 있는 threshold(역치화) 값을 정한다. 처리된 이진 화상에서 분리된 영역들을 각기 다른 영역으로 이름을 부여하는 작업, 즉 labeling 후, 같은 이름이 부여된 가장 큰 영역을 목표물체로 선정한다. 로보트는 선정된 목표물체의 holdsite(위치)와 orientation(자세)을 모르면 물체를 획득할 수 있는 확률이 적다. 그러므로, 1차 모멘트와 면적을 이용하여 무게 중심(centroid)을 구하였고, 2차 모멘트를 이용하여 orientation를 구하였다. 제안된 방법의 타당성을 검토하기 위하여 기존의 방법들과 비교하고자 한다.

## 2. 적용대상 물체의 영역 분리

### 2.1 물체의 영역 분리 원리

Image sensor는 물체의 반사된 빛의 intensity를 감지 할 수 있으며 빛의 intensity는 아래와 같은 기하학적 특징을 갖는다[4].

$$I_r = I_i c \cos^2 \theta \quad (1)$$

$$I_r = I_{i0} (1 - e^{-3d/cw}) \quad (2)$$

$I_r$  : 반사된 빛의 밀도  
 $I_i$  : 입사된 빛의 밀도  
 $I_{i0}$  : 원래 입사된 빛의 밀도  
 $\theta$  : sensor 축에 수직인 축과 표면의 수직축이 이루는 각  
 $c$  : 표면의 반사 상수  
 $d$  : bin 내부의 깊이  
 $cw$  : bin 내부에서의 그림자와 반사 factor

식(1)에서 반사되는 빛은 입사되는 빛과 cosine의 제곱의 곱에 비례한다는 것을 나타내고 있다. 이 사실은 적용 대상 물체의 intensity profile과 cosine 제곱의 곱에 대한 곡선을 비교하면 알 수 있다. 즉, 적용 대상 물체에 입사되는 방향과 반사되는 방향과 차이에 따라 intensity 변화가 생긴다. 식(2)는 표면에 반사되는 빛이 상자 내부 깊이 증가에 따라 감소되고 있다는 것을 나타내고 있다. 쌓인 물체들 중 아래쪽에 위치한 물체들은 위쪽에 위치한 물체들의 부분적인 그림자 등과 같은 것들로 인하여 intensity의 변화가 생긴다.

### 2.2 Image Enhancement

겹쳐진 물체들에 대해서는 각각 다른 영역들로 분리시킬 수 있는 고정된 threshold 값을 정할 수 있다. 영역 분리를 위해 threshold를 정하기 전에, 상자 바닥으로부터 반사와 같은 바라지않는 화면 배경의 영향을 완전히 없애거나 최소화해줌으로써 처리할 화상의 명암차를 크게해주는 image enhancement을 행한다.

### 2.3 Threshold 결정

Image enhancement 수행한 후 처리할 화면의 입의 부분에서 수직, 수평 intensity profile을 구한다. 구한 그래프 스케일 값을 통해 적용대상 물체의 골격이 파괴되지 않는 값을 역치화의 기준으로 삼는다. 이 기준은 주변의 조명과 적용 대상 물체에 따라 달라진다. 결정된 threshold를 처리할 화상에 적용하면, 원하는 결과의 이진 화상을 얻을 수 있다.

## 3. 이진 화상의 labelling 알고리즘

### 3.1 Labelling 알고리즘의 전제조건 및 분할 마스크

화상 labelling 알고리즘[9]은 다음 몇가지 전제조건을 바탕으로 구성하였다.

- (1) 처리할 화상은 원화상을 threshold 시켜 만든 이진 화상이다.
- (2) 구현이 간단하도록 화상 주사순서에 따라 분할해 간다.
- (3) 경계정보가 4-방향(4-connected)으로 추출되도록 한다.

경계정보를 4-방향으로 추출하기 위해 그림1과 같은 마스크를 사용하였으며, 따라서 중심화소의 대각선 방향의 화소들은 포함시키지 않았다.

### 3.2 이진 화상의 Labelling 처리단계

- (1) 처리할 이진 화상을 나타내는 영역  $G(i,j)$ 와 처리된  $G(i,j)$ 와 일치하는 region\_number 저장할 영역으로  $R(i,j)$ 를 둔다.
- (2) 그림2와 같이  $R(i,j)$ 의 영역 초기화를 한다.

$$R(i,j) = 1 \quad (i = j = 0)$$

- (3) 처리할 이진 화상은 배경과 물체로 나누어진다. 이때 배경을 같은 영역으로 구분짓기 위해 배경영역에 대해 영역 초기화 할때와 동일한 값을 부여한다.

$$\text{if}( G(i,j) = 0 ) \quad R(i,j) = 1$$

(4) 물체를 나타내는 영역은 마스크를 이용해 labelling 하고 병합(union)한다.

```

region_number = 1
for( i = 0; i < M; i++) {
for( j = 0; j < N; j++) {
    if( G(i,j) != 0 ) {
        if( G(i,j) == G(i-1,j) ) {
            R(i,j) = parent( R(i-1,j) )
        }
        else {
            region_number++
            R(i,j) = region_number
        }
    }
}
}

```

(5) union find 알고리즘[10]을 이용하였다. 영역을 병합 시키기 위해 region\_number의 조상(parent)을 찾고 필요한 region\_number들을 지우고 순서대로 정리하는 작업인 ordering을 행하여 물체의 전체 모양을 형성 시킨다. 그리고 같은 region\_number가 부여된 영역중 가장 큰 영역을 찾는다.

```

k = 0
for( i = 0; i < region_number; i++) {
    if( parent(i) == i ) {
        k++;
        order(i) = k;
    }
}
max_i = 0;
for( i = 0; i < M; i++) {
    for( j = 0; j < N; j++) {
        Rl(i,j) = order(find(R(i,j)));
        size(Rl(i,j)) += 1;
        if( max_i < Rl(i,j))
            max_i = Rl(i,j);
    }
}
region_number;

```

#### 4. 모멘트 개념을 이용한 holdsite 선정과 orientation 결정

이진 화상의 labelling을 통해 선정된 목표물체(target object)의 holdsite 위치와 orientation를 구한다. 목표물체에서 1차 모멘트와 면적을 이용하여 centroid를 구하여 이를 holdsite 위치로 결정하고, 2차 모멘트를 이용하여 물체의 orientation을 구하였다[11]. 로봇트는 물체의 holdsite와 orientation를 모르면, 물체를 획득할 수 있는 확률이 적다.

##### 4.1 1차 모멘트와 면적을 이용한 holdsite 선정

$$X_c = \int \frac{A * y * dA}{A} \quad (3)$$

$$Y_c = \int \frac{A * x * dA}{A} \quad (4)$$

Xc : X coordinate of centroid  
Yc : Y coordinate of centroid  
A : area

#### 4.2 2차 모멘트를 이용한 orientation 결정

$$I_{xx} = \int y^2 dA \quad (5)$$

$$I_{yy} = \int x^2 dA \quad (6)$$

$$I_{xy} = \int xy dA \quad (7)$$

$$\phi = \frac{1}{2} \text{atan2}(2I_{xy}, I_{xx}-I_{yy}) \quad (8)$$

Ixx, Iyy : moment of inertia  
Ixy : product of inertia  
 $\phi$  : orientation of major axis

#### 5. 실험 결과

제안한 방법(LM method)의 타당성을 보이기 위하여 아래와 같이 실험을 하였다. 그림3의 좌측 상단 화상은 원(original gray-scale image)에 결정된 holdsite가 표시된 화상, 우측 상단의 화상은 원화상의 threshold에 따른 이진화된 화상, 우측 하단의 화상은 labelling된 개별 물체를 다른 그레이 레벨로 표시한 화상, 그리고 좌측 하단의 화상은 선정된 목표 물체를 나타내는 화상이다. 제안한 방법을 서론에서 다른 기존 bin-picking 방법들과 비교하여보면 shrinking algorithm과 마찬가지로 적용 대상 물체들이 한정되어있고 조명에 따른 영향도 무시할 수 없지만 화상처리 시 접쳐진 물체의 영역을 분리하는 화상 이진화나 분리된 영역을 구분짓는 영역 labelling은 계산 시간이 없으므로 전체적인 처리 시간을 줄일 수 있다는 장점을 가지고 있다. 한편 면적과 1차 모멘트를 이용하여 얻은 holdsite 위치와 2차 모멘트는 물체의 자세에 대한 정보를 가지고 있으므로 이를 이용하여 구한 물체 각도는 오차가 거의 없으므로 gripper가 물체를 집을때 쥘 수 있는 확률이 크다는 장점을 가진다.

#### 6. 결 론

시각장치를 갖춘 로봇트가 상자안에 임의대로 놓여 있는 물체를 잡는 bin-picking 작업에서 대상물체의 변화에 적용할 수 있는 새로운 방법을 제시하였다. 제안된 LM 방법 을 이용함으로써 목표물체 선정을 쉽게 할 수 있었다. 또한

화상처리 시간을 계산한 결과 처리 시간이 상당히 단축하였다.

References

- [1] S.Levialdi "On Shrinking Binary Patterns," *Commun. ACM*, Vol.15, No.1, PP.7-10, 1972
- [2] U. Montanari, "Continuous Skeleton from Digitized Images," *J.ACM*, No.16, PP.534-549, Oct. 1969
- [3] W. Pratt, Digital Image Processing, New York:Wiley Interscience, 1979
- [4] J.D.Dessimoz, J.R.Birk, R.B.Kelly, H.A.S.Martins, and C.L.I, "Matched Filters for Bin Picking," *IEEE Trans. on PAMI*, Vol.PAMI-6, No.6, PP.686-697, Nov. 1984
- [5] R.B.Kelley,H.A.S.Martins, J.R.Birk, and J.D.Dessimoz "Three Vision Algorithms for Acquiring Workpieces from Bins," *Proceedings of IEEE Trans*, Vol.71, No.7, PP.803-820, July 1983
- [6] A.Distane, N.Ancona, G.Attolico, L.Caponett, M. Chiaradia, and E.Stella, "A Model-Based 3D Vision System for Bin-Picking," *IEEE Trans on Circuits and Systems*, Vol.35, No.5, PP.545-553, May 1988
- [7] H.Wechsler and G.L.Zimmerman, "Distributed Associative Memory(DAM) for Bin-Picking," *IEEE Trans. on PAMI*, Vol.PAMI-11, No.8, PP.814-822, Aug.1989
- [8] E.Al-Hujazi and M.Tistarelli, "Range Image Segmentation with Application to Robot Bin-Picking Using vacuum Gripper," *IEEE Trans. on PAMI*, Vol.PAMI-20, No. 6, PP.1313-1325, Nov/Dec.1990
- [9] 홍 원학, "HVS기반 분할법에 의한 영상부호화" 경북대학교 석사 학위 논문, 1990.
- [10] E.Horowitz, S.Salni, Fundamental of Computer Algorithm, Computer Science Press, 1978
- [11] R.J.Schilling, R.B.White, Robotic Manipulation, Prentice-Hall, 1990

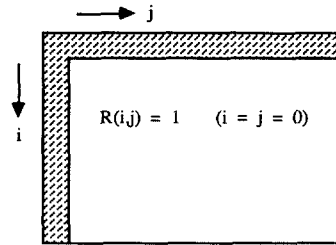


그림 2: 영역 초기화

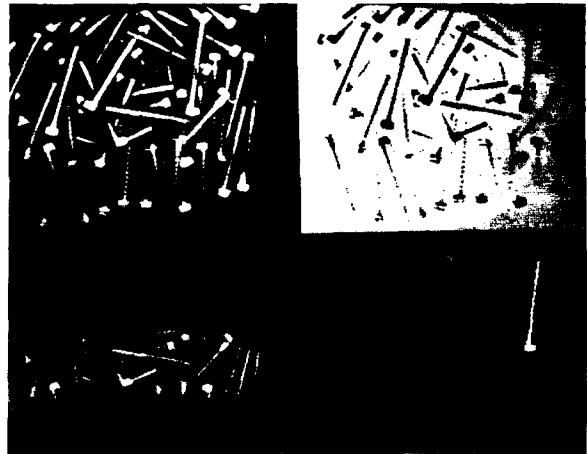


그림 3: Bin-picking 실험 결과

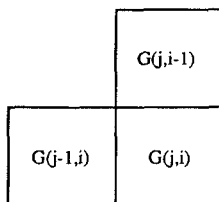


그림 1: Labelling 마스크