

## 퍼지논리를 이용한 Bin-Picking방법

### A Fuzzy Logic Based Bin-Picking Technique

金 兌 垣\* · 徐 一 弘\*\*  
(Tae-Won Kim · Il-Hong Suh)

*Abstract* - A novel 2-dimensional matched filter of the parallel-jaw type using fuzzy logic is proposed for bin picking. Specifically, the averaged pixel intensity of the windowed region for the filtering is considered to be fuzzy. Also membership functions for darkness and brightness are designed by employing the intensity histogram of the image. Then a rule is given to know how much a windowed region can be a possible holdsite. Furthermore eight rules are made to determine the part orientation, where Mamdani's reasoning method is applied. The proposed technique shows better performances than that of the conventional matched filtering technique in the following senses; 1) most of holdsites determined by the proposed technique are not concentrated at the locations nearly the end of part and 2) our filter is rather insensitive to noises than the conventional method. To show the validities of our proposed technique, some experimental results are illustrated and compared with the results by conventional matched filter technique.

**Key Words** : bin-picking, matched filter, holdsite, fuzzy logics(퍼지논리), membership function(소속함수)

#### 1. 서 론

상자안에 임의대로 쌓여있는 같은 모양의 물체를 로봇트나 산업용 매니플레이터를 이용하여 집어내는 bin-picking문제는 자동화의 확산에 힘입어 중요한 연구과제가 되어왔다[4~7, 9]. Bin-picking

\*正 會 員 : 漢陽大 大學院 電子工學科 博士課程  
 \*\*正 會 員 : 漢陽大 工大 電子工學科 副教授·工博  
 接受日字 : 1991年 12月 4日  
 1次修正 : 1992年 3月 4日  
 2次修正 : 1992年 4月 28日

은 기존의 로봇트에 센서정보를 제공하여 환경변화에 유연하게 대처하도록 한 것으로, 일반적으로 근거리 센서와 원거리 센서의 두가지 센서를 필요로 한다[5, 8, 9]. 원거리 센서는 원하는 물체가 어디 있는지를 알아내는데 이용되고, 근거리 센서는 물체를 잡았는지를 판단하는데 이용된다. 원거리 센서로는 카메라, 레이저 거리 감지기(Laser range finder)나 기타 다른 종류의 비전센서가 이용되며, 근거리 센서로는 근접 센서나 하중 센서 등이 쓰인다.

대부분의 경우, 비용문제 때문에 레이저를 이용한 고정밀 3차원 거리 측정장치 대신 값싸고 부착하기 쉬운 카메라를 주로 이용한다. 카메라를 두대 이상 설치하면 3차원 정보를 얻을 수 있으나 노이즈(noise)에 너무 민감하고 계산이 복잡하기 때문에 한대의 카메라와 근거리 센서를 이용한다. 즉, 한 대의 카메라만을 이용하기 때문에 잃어버린 거리 정보를 근거리 센서로 보상받는 것이다. 또한 물체를 잡았는지를 판단하기 위하여 힘/토크 하중 센서를 이용하기도 한다. 이들 정보 중 원거리 센서인 카메라를 이용하여 로봇트가 잡을 수 있는 물체의 holdsite를 찾는 2차원 bin-picking 방법이 여러 연구가들에 의해 발표되었다[1~5]. 이들 방법 중 널리 알려진 shrinking알고리즘, collision fronts알고리즘, 매치 필터(matched filter) 알고리즘의 세가지 방법을 살펴보기로 한다.

Shrinking알고리즘은 평활한 표면(smooth surface)과 균일한 반사성을 갖는 물체에 주로 사용된다[1, 5]. 이 방법은 먼저 영상을 이진화(binanzation)한 후, 물체의 외곽부분을 줄여나가(shrinking) 남은 부분의 가운데를 로봇트가 잡을 수 있는 곳(holdsite)으로 간주하는 것이다. 이 경우 이진화가 정확하지 않으면 원하는 점을 잡지 못하게 되는데, 하나의 임계치(threshold value)로 실영상을 이진화시킨다는 것은 거의 불가능하다. 또한, 조명, 물체의 크기나 임계치에 따라 줄여나가는 레벨(shrinking level)을 적절히 바꿔야만한다. 만약 이 레벨이 너무 크면 평활면이 너무 많이 제거되어 원래의 물체를 표현할 수 없고 아예 제거되는 경우도 있다. 이 방법은 vacuum cup gripper를 위해 개발된 것이나 parallel-jaw gripper에도 사용할 수 있다.

Collision fronts 알고리즘은 shrinking 알고리즘을 다치 영상(Gray-scale image)으로 확장한 것이다[2, 5]. 이 방법은 불규칙적인 표면이나 반사가 불량한 물체를 위해 고안되었으며, parallel-jaw gripper에 적용된다. 이 방법은 영상에서 대칭인

두 에지(edge)를 찾아 그 가운데를 잡는 점으로 간주하는 것인데, 각 에지를 영상의 밝기 기울기(gradient)를 이용하여 물체의 안쪽으로 평행하게 전파(propagation)시켜 전파된 에지끼리 마주치는 선을 두 에지의 가운데 선으로 보고 이 선의 중심을 잡는 점으로 하는 것이다. 이때 어느 정도까지 전파시킬지는 전파시키는 물체의 크기에 따라 매번 정해져야하며, 큰 물체의 경우 두 에지가 만날때까지의 시간이 너무 많이 걸리고, 직선형태의 에지만 이용 가능하다는 단점이 있다. 또한 두 에지가 만나서 이루는 선의 폭이 두 화소(pixel)이상이거나 단속적(discontinuous)인 경우가 많아 이를 보완하기 위한 계산이 따로 필요하다.

매치 필터 알고리즘은 신호처리 분야에서 오래 전부터 알려진 방법으로 비전분야에서 널리 쓰이고 있는 틀정합(template matching)과 유사하나 노이즈성분을 포함하여 계산한다는 점이 다르다[3~5]. Parallel-jaw 필터라고도 불리는 이 필터는 그림1과 같은 형태로 되어있다. 그림1에서 가운데 부분은 물체를 나타내고 양 끝부분은 parallel-jaw gripper가 들어갈 공간을 나타낸다. 즉, 그림1과 같은 모양을 갖는 부분에서는 출력이 크게 나오는 필터를 만드는 것이다. 따라서 각 부분의 크기는 원하는 물체와 사용된 gripper크기에 따라 조정되어야 한다. 사용된 필터는 밝은 영역(물체)의 평균 밝기와 어두운 영역(gripper)의 평균 밝기의 차를 계산하는데, 수직과 수평 각 방향의 필터 출력을 재귀적(recursive)으로 계산한 후 두 성분을 더하여 전체 필터 출력으로 한다. 공간 영역 중 국부 최대치(local maxima)를 가능 holdsite라 하고 이들중 가장 큰 값을 holdsite로 선택한다. 선택된 holdsite로 로봇트를 움직인 후 gripper로 물체를 잡을때 근거리 센서에서 실패했

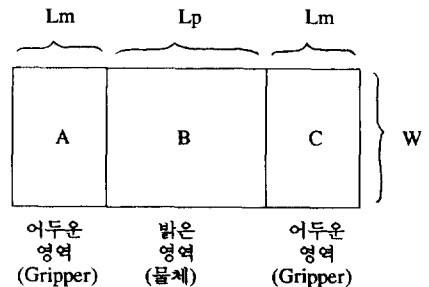


그림 1 Matched filter에 이용되는 패턴(수직방향)  
Fig. 1 Pattern to be matched(for vertical pieces).

다는 정보가 들어오면 국부 최대치 중 다음으로 큰 것을 holdsite로 삼는다. 그러나 필터내의 물체 영역과 gripper 영역의 밝기차가 크지 않은 경우에는 정확한 출력을 기대할 수 없고, 필터의 특성 상 물체의 끝에서 최대 출력을 내는 경우가 있어 물체를 잡는데 실패할 가능성이 많다.

본 논문에서는 앞에서 살펴본 방법 중 밝기에 대한 제약이 비교적 적으며 오차의 가능성이 적은 parallel-jaw 필터를 퍼지논리를 이용하여 새로 설계하고자 한다. 필터 내의 각 영역의 평균 화소 밝기는 애매한 값을 가질 수 있다고 보았으며, '밝음'과 '어둠'을 표현하는 소속함수(membership function)는 영상의 히스토그램(intensity histogram of image)을 이용하여 만들기로 한다. 따라서 퍼지규칙(Fuzzy rule)은 선택된 영역이 어느 정도 holdsite에 가까운가를 알기 위하여 사용된다. 또한 Mamdani의 추론 방법[10]을 이용한 8개의 규칙으로 물체의 각도(orientation)를 알아낼 수 있다.

**2. 퍼지 매치 필터를 이용한 holdsite의 결정**

기존 매치 필터의 경우, 필터의 입력이 되는 각 영역의 평균화소밝기는 다음과 같이 반복적으로 계산할 수 있다[4, 5].  $W, L_m, L_p$ 를 각각 parallel-jaw 매치 필터의 윈도우 폭, 어두운 영역의 길이, 밝은 영역의 길이라고 하고(그림1),  $G(i, j), M_i(j), P_i(j)$ 는  $N \times N$ 영상의  $(i, j)$ 에서의 화소의 밝기값,  $(i, j)$ 가 중심인 윈도우의 어두운 영역(A, C)과 밝은 영역(B)의 평균화소밝기라고 하자. 수직필터 처리의 경우, 버퍼 S는 화면의 세로(column)로 윈도우의 폭(W) 갯수만큼의 화소의 밝기 값의 합을 나타낸다. S의 반복적 계산은 다음과 같이 한다.

$$S_i(j) = S_{i-1}(j) - G(i-w, j) + G(i-1+w, j), \tag{1}$$

$$\begin{aligned} i &= 1, \dots, N, \\ i &= w-1, \dots, N+1-w, \\ w &= (W-1)/2. \end{aligned}$$

이때 S의 초기값은

$$S_w(j) = \sum_{i=1}^w G(i, j) \tag{2}$$

이다. S가 계산되면 필터의 어두운 부분과 밝은 부분의 화소 밝기값의 합을 갖는 버퍼 M과 P가 반복적으로 계산된다.

$$\begin{aligned} M_i(L+j) &= M_i(L+j-1) - S_i(j) \\ &\quad - S_i(j+L_m+L_p) \tag{3} \\ &\quad + S_i(j+L_m) + S_i(j+2L_m+L_p), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_i(L+j) &= P_i(L+j-1) - S_i(j+L_m) \\ &\quad - S_i(j+L_m+L_p), \tag{4} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} j &= 1, \dots, N+1-2L, \\ i &= w, \dots, N+1-w, \\ L &= (L_p+1)/2 + L_m. \end{aligned}$$

M과 P의 초기값은 다음과 같다.

$$M_i(L) = \sum_{k=1}^{L_m} S_i(k) + S_i(k+L_m+L_p), \tag{5}$$

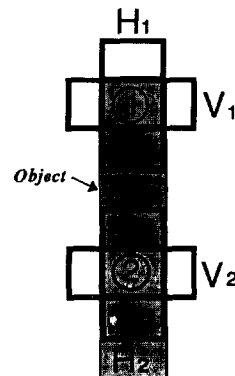
$$P_i(L) = \sum_{k=1}^{L_p} S_i(k+L_m). \tag{6}$$

버퍼 P와 M을 이용하여 수직 필터 출력 영상을 다음과 같이 구한다.

$$\begin{aligned} V(i, j) &= (1/W)[(P_i(j)/L_p) - (M_i(j)/(2L_m))], \text{ if } > 0 \\ &= 0 \text{ otherwise.} \tag{7} \end{aligned}$$

같은 방법으로 수평 필터 출력 영상  $H(i, j)$ 를 구한 후, 두 필터의 출력 영상을 합하여 parallel-jaw 매치 필터의 최종 출력 영상으로 한다. 필터의 출력 영상에서 임계치( $TH_p$ )이상되는 국부 최대치들(local maxima)을 찾아 이들 사이가 일정 거리 D이상인 것들을 내림차순의 순번 리스트(ordered list)로 만들어 (이를 가능 holdsites라 한다.) 최대치부터 순차적으로 로봇트가 잡도록 한다.

그러나 이 방법은 어두운 영역의 평균 밝기를 오른쪽(A), 왼쪽(C) 구분없이 한꺼번에 계산했고, 밝은 영역과 어두운 영역의 평균 밝기의 차에 의해서만 출력이 좌우되므로 항상 좋은 결과를 기대



**그림 2** 기존 매치 필터의 단점의 그림 표현  
**Fig. 2** Graphical representation of the drawback of conventional matched filter

할 수는 없다. 특히 어두운 영역의 구분이 없기 때문에 그림2의 ①의 경우처럼 물체의 끝부분에서 수직필터 출력  $V_1$ 은 최대값이 나오고 수평필터 출력  $H_1$ 도 어느정도의 값이 나오므로 두 필터의 합으로 만들어지는 최종 출력이 물체의 가운데 부분인 ②에서의 최종출력보다 크게 된다. 왜냐하면 ②의 경우,  $V_2$ 는 크나  $H_2$ 가 거의 0이기 때문이다. 따라서 거의 대다수 경우 물체의 끝에서 최대 출력이 나오므로 로봇트가 잡을 수 없게 된다. 제안하고자 하는 퍼지 매치 필터는 어두운 영역의 평균 밝기를 각각 계산하여 기존의 매치 필터의 단점을 보완할 수 있다. 이를 위하여 식(3)과 (5)를 다음과 같이 수정하였다.

$$M_{Ai}(L+j) = M_{Ai}(L+j-1) - S_i(j) + S_i(j+L_m) \quad (3)'$$

$$M_{Ci}(L+j) = M_{Ci}(L+j-1) - S_i(j+L_m+L_p) + S_i(j+2L_m+L_p) \quad (3)''$$

$$M_{Ai}(L) = \sum_{k=1}^{L_m} S_i(k) \quad (5)'$$

$$M_{Ci}(L) = \sum_{k=1}^{L_m} S_i(k+L_m+L_p) \quad (5)''$$

여기서  $M_{Ai}(\cdot)$ 는 A영역의 밝기의 합,  $M_{Ci}(\cdot)$ 는 C영역의 밝기의 합이다.

퍼지논리를 이용하여 그림1과 같은 parallel-jaw 형태 매치 필터를 설계하기 위하여 물체와 gripper 각 영역의 평균화소밝기를 필터의 입력이라고 하자. 퍼지 필터의 출력은 필터의 각 영역의 밝음과 어둠의 정도가 된다. 이것을 위해 그림1과 같이 왼쪽 어두운 영역(A)의 평균화소밝기를  $\alpha$ , 가운데 밝은 영역(B)의 평균화소밝기를  $\beta$ , 오른쪽 어두운 영역(C)의 평균화소밝기를  $\gamma$ 로 각각 표기하면,  $\alpha$ 는  $M_{Ai}(L+j)$ ,  $\beta$ 는  $P_i(L+j)$ ,  $\gamma$ 는  $M_{Ci}(L+j)$ 가 된다.

어둠과 밝음의 소속함수를 설계하기 위하여 학습단계(Training phase)에서 인간이 holdsite라고 인식하는 여러영역에 윈도우를 씌워 얻은 히스토그램을 바탕으로 밝은 영역과 어두운 영역을 구분하는 임계치를 결정한다. 기존의 이진화 방법은 임계치 이상이면 밝고 임계치 이하이면 어둠이라고 하는 크리쉬(crisp)한 논리였다[12]. 그러나 화소 밝기가 임계치 근처이면 밝은 영역인지 어두운 영역인지 구분하기가 어렵다. 또한 원하는 물체의 밝기나 배경의 밝기가 특정한 한 값으로 고정된 것이 아니므로 물체와 배경의 밝기가 각각 어느값 근처일 때 출력이 크게 나오게 하려면 이들의 밝기를 퍼지하다고 보는 것이 합리적일 것이다. 이

를 위하여 각 영역의 밝기 정도를 표현할 수 있는 소속함수를 표현해보자. 영상의 각 화소가 최대  $I_{max}$ 의 값을 갖는다고 할 때, 이 영상의 히스토그램은  $h(k)$ ,  $0 \leq k \leq I_{max}$ , 로 표현할 수 있다.  $\Phi$ 가 임계치라면 히스토그램에서  $\Phi$ 에 의해 양분된 두 영역에서의 최대 높이를 각각  $h_a, h_b$ 로 나타낼 수 있고,  $h_a$ 와  $h_b$ 를 갖는 화소값은  $m_a, m_b$ 로 나타낼 수 있다.

$$h_a = \max_k \{h(k), k \leq \Phi\}, \quad (7)$$

$$h_b = \max_k \{h(k), k > \Phi\}, \quad (8)$$

$$m_a = \max_k \{k | k = h^{-1}(h_a), \text{ for } k \leq \Phi\}, \quad (9)$$

$$m_b = \min_k \{k | k = h^{-1}(h_b), \text{ for } k > \Phi\}, \quad (10)$$

여기서  $h^{-1}(\cdot)$ 는  $h(\cdot)$ 의 역함수이다.  $m_a$ 와  $m_b$ 를 이용하여 설계한 소속함수  $\mu_{dark}(\cdot)$ 와  $\mu_{bright}(\cdot)$ 는 아래와 같고 그림3과 같이 나타낼 수 있다.

$$\mu_{dark}(k) = \begin{cases} 1, & \text{for } 0 \leq k < m_a \\ k/(m_a - m_b) - m_b/(m_a - m_b), & \text{for } m_a \leq k < m_b \\ 0, & \text{for } m_b \leq k \leq I_{max} \end{cases} \quad (11)$$

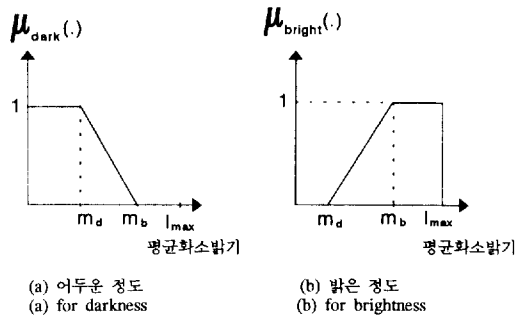


그림 3 밝음과 어둠의 소속함수

Fig. 3 Membership functions for darkness and brightness

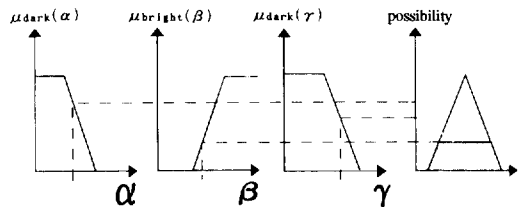


그림 4 퍼지 추론의 그림표현

Fig. 4 Graphic representation of fuzzy reasoning

$$\mu_{\text{bright}}(k) = \begin{cases} 0, & \text{for } 0 \leq k < m_a \\ k / (m_b - m_a) - m_a / (m_b - m_a), & \text{for } m_a \leq k < m_b \\ 1, & \text{for } m_b \leq k \leq I_{\text{max}} \end{cases} \quad (12)$$

매치 필터의 목적이 양영이 어둡고 가운데가 밝은 영역을 찾는 것이므로, 그림4를 관찰해보면  $\mu_{\text{dark}}(\alpha)$ ,  $\mu_{\text{dark}}(\gamma)$ 와  $\mu_{\text{bright}}(\beta)$ 가 모두 1에 가까운 값을 갖는다면 바라는 holdsite이고,  $\mu_{\text{dark}}(\alpha)$ ,  $\mu_{\text{dark}}(\gamma)$ 와  $\mu_{\text{bright}}(\beta)$ 중 하나라도 0에 가까운 값을 갖는다면 잡을 수 없는 영역이 된다는 사실을 알 수 있다. 이러한 관찰을 통해서 일정한 규칙을 얻을 수 있다. (규칙 A) 만약 A영역이 어두운 영역이고 B영역이 밝은 영역이고 C영역이 어두운 영역이라면 B영역의 중심이 가능 holdsite이다. 여기서 추론은 그림4와 같이 Mamdani의 추론법 [10, 11]을, 비퍼지화(defuzzification)는 최대평균방법(mean of maximum method) [14]을 사용하였다.

만약 물체가 영상에서 한쪽 방향으로만 놓여 있다면 규칙 A를 이용하여 쉽게 가능 holdsite를 찾을 수 있다. 대부분의 경우 물체가 임의의 방향으로 놓여있으므로 여러방향의 필터를 적용시켜야 한다. 그러나 이것은 계산의 복잡성을 증가시키는 것이므로 단순한 구조의 물체에 대해 2차원의 충분한 정보를 제공할 수 있는 형태라고 생각되는 수직 방향과 수평 방향의 필터 출력을 계산한 후, 두 필터의 결과를 합하여 평균을 내는 방법을 사용하기로 한다[5]. 두 필터의 합한 결과에서 극부적 최대치들을 가능 holdsite라고 한다.

한편 그림3에 있는 소속함수의 모양을 변화시킨다면 제한한 필터 처리과정은 불필요한 밝기의 화

소를 제거시킬 수 있다. 너무 어두운 화소와 너무 밝은 화소가 노이즈이거나 바라지 않는 화소인 경우 소속함수를 그림5와 같이 조정한다면 바라지 않는 화소의 영향을 줄일 수 있다. 부분적으로 밝은 부분이 있어 기존의 매치 필터에서 효과적으로 처리할 수 없었던 물체에 적용하면 효과적이다.

### 3. 퍼지추론에 의한 물체의 각도 결정

로봇 핸드를 이용한 bin-picking문제를 해결하려면 holdsite를 찾는 것 외에도 물체의 각도를 아는것도 필요하다. 이를 위해 0°, 45°, 90°, 135°방향의 필터를 설계하여 적용하였다. 계산의 부담을 줄이기위해 먼저 수평(0°), 수직(90°)방향 필터를 이용하여 가능 holdsite를 찾은 후 그곳에 45°, 135° 필터를 적용하였다. 만약 영상을 모든 방향으로 투영시킨다면 물체의 각도를 알 수 있으나[13], 제한한 필터는 네 방향의 평균 투영값을 이용하므로 직접 물체의 각도를 알 수는 없다. 그러나 비선형 보간법에 이용되는 퍼지추론을 이용하여 물체의 각도를 얻을 수 있다.

물체의 각도를 결정하기 위해 다음과 같은 8개의 규칙을 세웠다.

- (1) 만약 FO가 매우 크고 F45가 중간이고 F90이 매우 작고 F135가 중간이면, 물체의 각도는 0°이다.
- (2) 만약 FO가 크고 F45가 크고 F90이 작고 F135가 중간이면, 물체의 각도는 22.5°이다.
- (3) 만약 FO가 중간이고 F45가 매우 크고 F90이 중간이고 F135가 매우 작으면, 물체의

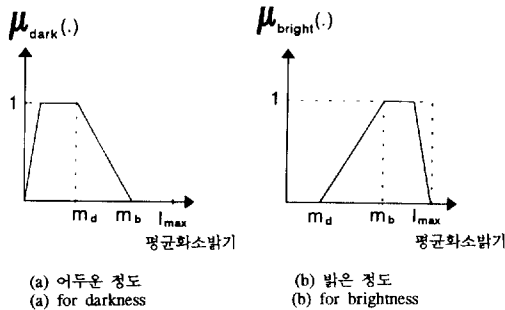


그림 5 원치않는 밝기의 화소를 제거하기 위한 소속함수

Fig. 5 Membership function to exclude the excessive bright/dark pixels

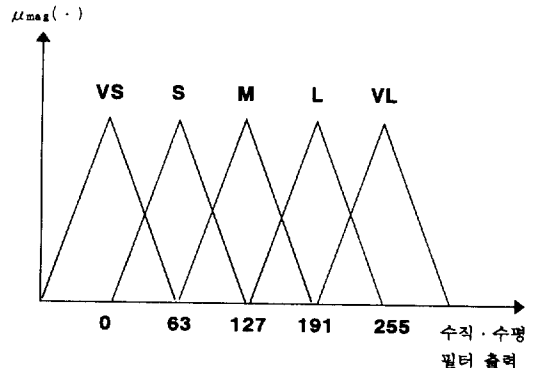


그림 6 필터출력크기의 소속함수  
Fig. 6 Membership Functions for Magnitudes of Filter Outputs

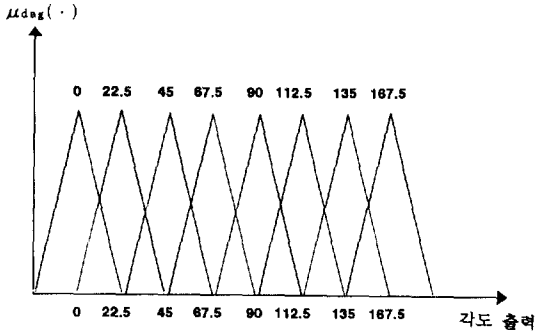


그림 7 각도의 소속함수  
Fig. 7 Membership Functions for Degrees

- (5) 만약 FO가 매우 작고 F45가 중간이고 F90이 매우 크고 F135가 중간이면, 물체의 각도는 90°이다.
- (6) 만약 FO가 작고 F45가 작고 F90이 크고 F135가 크면, 물체의 각도는 112.4°이다.
- (7) 만약 FO가 중간이고 F45가 매우 작고 F90이 중간이고 F135가 매우크면, 물체의 각도는 135°이다.
- (8) 만약 FO가 크고 F45가 중간이고 F90이 작고 F135가 크면, 물체의 각도는 167.5°이다.

여기서 F0, F45, F90, F135는 각각 0°, 45°, 90°, 135°방향에 대하여 (규칙 A)를 적용한 필터의 출력을 의미한다. 각 필터의 출력 크기에 대한 소속함수는 그림6과 같다. 0°부터 167.5°까지 물체의 각도를 나타내는 소속함수는 그림7과 같다. 그림6에서 'VL', 'L', 'M', 'S', 'VS'는 각각 '매우 크다', '크다', '중간이다', '작다', '매우 작다'를 의미한다.

제안한 퍼지 매치 필터 알고리즘을 이용한 bin picking방법은 그림8과 같은 흐름도(flow chart)로 나타낼 수 있다.

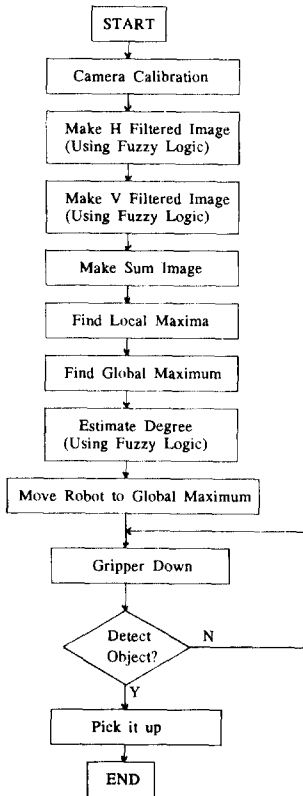
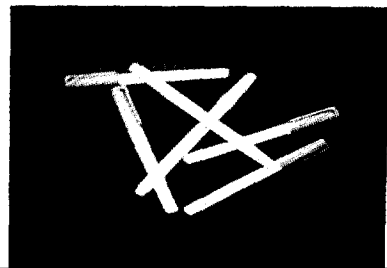


그림 8 제안한 매치 필터 알고리즘을 이용한 bin picking의 흐름도  
Fig. 8 Flow chart of the bin picking using proposed fuzzy matched filter algorithm

#### 4. 실험 결과

제안한 방법의 타당성을 보기 위해 IBM-PC/AT 386 DX(25MHz)에 장치된 PC-Vision plus Frame Grabber(512×512×8bit)를 이용하여 기존의 매치 필터 방법과 제안한 방법을 비교하는 실험을 하였다. 수평 및 수직 필터의 출력과 전체 출력을 PC-Vision의 한 화면에 나타내기 위하여 처리영상을 256×256으로 줄여 수행시켰다. 그림9와 같은 원영상(Original gray-scale image)에 제안한 방법과 기존의 매치 필터 방법을 적용하였



각도는 45°이다.

다. 그림10은 원영상의 히스토그램과 퍼지 추론에 사용된  $\mu_{\text{dark}}(\cdot)$ ,  $\mu_{\text{bright}}(\cdot)$ 이다. 그림10에서  $I_{\text{max}}$ 는 255,  $\phi$ 는 100,  $h_a$ 는 735,  $h_b$ 는 880,  $m_a$ 는 48,  $m_b$ 는 163이다.  $m_a$ 와  $m_b$ 를 이용하여 설계한 소속 함수  $\mu_{\text{dark}}(\cdot)$ 와  $\mu_{\text{bright}}(\cdot)$ 는 다음과 같다.

$$\mu_{\text{dark}}(k) = \begin{cases} 1, & \text{for } 0 \leq k < 48 \\ -k/115 + 1.41, & \text{for } 48 \leq k < 163 \\ 0, & \text{for } 163 \leq k \leq 255 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{bright}}(k) = \begin{cases} 0, & \text{for } 0 \leq k < 48 \\ k/115 - 0.41, & \text{for } 48 \leq k < 163 \\ 1, & \text{for } 163 \leq k \leq 255 \end{cases}$$

필터의 파라미터인  $L_m$ ,  $L_p$ ,  $W$ 는 잡고자 하는 물체와 gripper에 따라 결정되는데, 그림9의 경우, 물체의 폭이 11화소 정도되므로  $L_p$ 를 11,  $L_m$ 을 7로 하였고, gripper의 폭을 15라 가정하여  $W$ 를 15로 하였다. 그림11은 기존의 매치 필터 방법

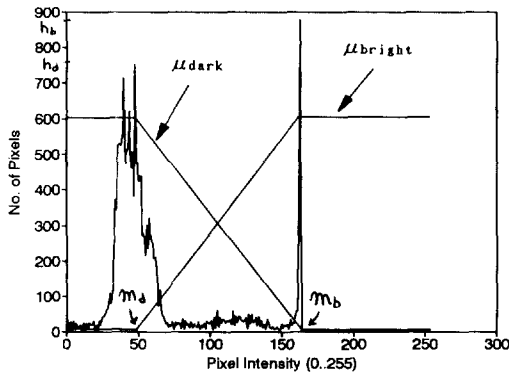


그림 10 밝기 히스토그램과 소속함수  
Fig. 10 Intensity histogram and membership function

을 이용하여 찾은 가능 holdsite중 상위 7개를 표시한 것으로 2절에서 지적한 바와 같이 거의 모든 holdsites가 펜 끝에 나타나 로봇의 gripper로 잡을 수는 있으나 들어 올리기는 힘들다는 것을 알 수 있다. 그림12은 제안한 퍼지 매치 필터를 사용하여 찾은 holdsite중 필터 출력이 최대출력의 80%이상인 가능 holdsites이다. 그림에서 보듯이 holdsites가 펜 끝에 몰리지 않고 팔고루 분포함을 알 수 있다. 256x256영상에서의 실험 결과, 기존의 매치필터의 경우 전체 출력까지의 소요 시간이 17초이고, 제안한 퍼지 매치필터는 15초 걸렸다. 기존 매치 필터의 경우,  $\beta - (\alpha - \gamma)/2$ 를 계산하는데 비해, 제안한 퍼지 매치 필터의 경우,  $\mu(\alpha)$ ,  $\mu(\beta)$ ,  $\mu(\gamma)$ 를 테이블을 이용하여 계산하여 Mamdani의 추론법과 평균 최대 방법에 의해 필터 출력을 내기때문에 시간이 차이난다. 특히 평균최대

표 1 물체의 각도 추정 결과  
Table 1 Results of estimating the part orientation

각도	최대오차	평균오차
0.0	-2.25	0.5
22.5	3.75	3.0
45.0	10.0	6.7
67.5	4.75	2.0
90.0	0.0	0.0
112.5	4.0	2.25
135.0	8.5	2.7
157.5	2.75	1.0

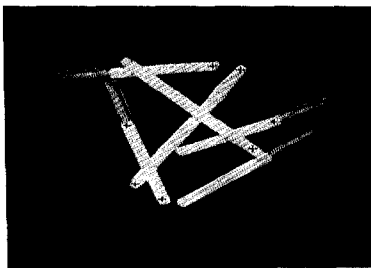


그림 11 기존의 matched filter를 이용하여 선택된 holdsites  
Fig. 11 Selected holdsites employing the conventional matched filter

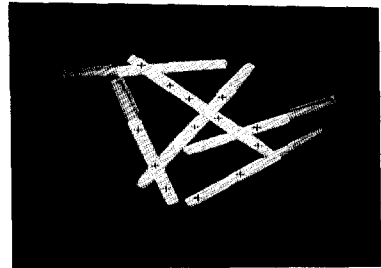


그림 12 제안한 matched filter를 이용하여 선택된 holdsites  
Fig. 12 Selected holdsites employing the proposed fuzzy matched filter

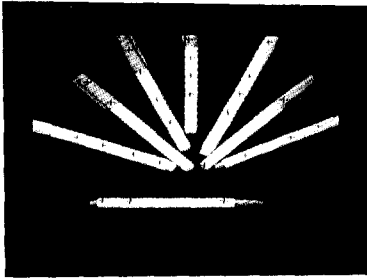


그림 13 물체의 각도를 계산하기 위한 배치  
 Fig. 13 Layout for the computation of the part orientation

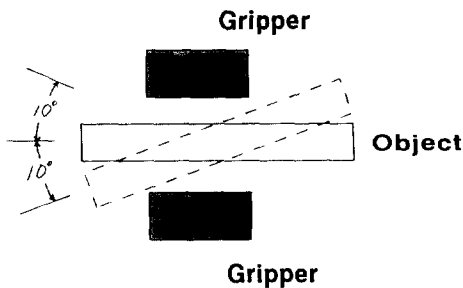


그림 14 각도여유의 그림 표현  
 Fig. 14 Graphical representation of degree margin

방법은 규칙이 결론부의 높이만을 출력으로 내기 때문에  $\mu(\alpha)$ ,  $\mu(\beta)$ ,  $\mu(\gamma)$ 의 최소값이 전체 필터의 출력이 되므로 시간이 적게 걸린다.

한편 제안된 물체의 각도를 계산하는 퍼지규칙의 능력을 보기 위하여 그림13과 같이 각도를 알고있는 물체에 퍼지규칙을 적용하였다. 그림13에서 검정색 십자 커서(Cross cursor)는 제안한 퍼지필터를 사용했을때의 가능 holdsite이다. 물체의 각도계산을 4회하여 평균낸 결과를 표1에 정리하였다. 표1에서 보는바와 같이 물체의 각도를 계산한 최대 오차는 10°였다. 이 오차는 비록 커보이지만 그림14에서 보는 바와 같이 parallel-jaw gripper를 사용하는 경우에는 gripper자체의 각도여유때문에 그리 치명적인 것은 아니다. 보통 약  $\pm 10^\circ$ 의 각도여유는 가지고 있기 때문이다[4, 5]. 본 실험의 경우 수직·수평 필터의 출력이 크게 나타난 가능 holdsite에만 45°, 135°필터를 적용하였으나 가능 holdsite주위 3×3나 4×4영역에 45°, 135°필터를 적용한 후 평균을 내면 좀더 정확한 각도를 알 수 있을 것이다.

### 5. 결 론

시각장치를 갖춘 로봇트가 임의대로 놓여있는 물체를 잡기위하여 밝은 영역과 어두운 영역의 소속함수를 설계한 후, 수직 및 수평 필터를 사용하여 holdsite를 찾고, 네방향의 필터를 이용하여 물체의 각도를 알아내는 방법을 제안하였다. 각 방향 필터 및 물체의 각도 검출을 모두 퍼지논리를 이용하였다. 제안한 퍼지 매치 필터는 기존 매치 필터의 단점인 물체의 끝에 holdsite가 몰리는 현상과 평균값의 상대적 차이만을 이용한다는 점을 보완하였으며, 실험을 통하여 제안한 방법이 기존 방법보다 성능이 우수하다는 것을 보였다. 그러나 필터로 사용되는 퍼지의 소속함수의 자동 설정이 보는 영상에 맞는 것은 아니므로 이에 대한 보완이 필요하다.

### 참 고 문 헌

- [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. Kelley, 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, Vol. 71, No. 7, pp. 803~820, July 1983
- [6] A. Distanto, N. Ancona, G. Attolico, L. Caponett, M. Chiaradia, and E. Stella, "A Model-Based 3-D 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-II, No. 8, pp. 814~822, Aug. 1989
- [8] D. Vernon and M. Tistarelli, "Using Camera Motion to Estimate Range for Robotic Parts



- Manipulation," IEEE Trans. on Robotics and Automation, Vol. 6, No. 5, pp. 509~521, Oct. 1990
- [9] E. Al-Hujazi and A. Sood, "Range Image Segmentation with Applications to Robot Bin-Picking Using Vacuum Gripper," IEEE Trans. on PAMI, Vol. PAMI-20, No. 6, pp. 1313~1325, Nov./Dec. 1990
- [10] E.H. Mamdani, "Applications of Fuzzy Algorithms for Control of Single Dynamic Plant," Proceedings of IEE, Vol. 121, No. 12, pp. 1585~1588, 1974
- [11] E.H. Mamdani and B.R. Gaines(eds.), Fuzzy Reasoning and its Applications, London: Academic Press, 1981
- [12] G.A. Baxes, Digital Image Processing, Prentice-Hall, Inc., 1984
- [13] J.L.C. Sanz and E.B. Hinkle, "Computing Projections of Digital Images in Image Processing Pipeline Architectures," IEEE Trans. Acoust., Speech, and Signal Process, Vol. ASSP-35, No. 2, pp. 198~207, Feb. 1986
- [14] W. Pedrycz, Fuzzy Control and Fuzzy Systems, Research Studies Press Ltd., 1989

## 저 자 소 개



**김태원(金兌垣)**

1965년 12월 28일생. 1988년 한양대 전기공학과 졸업. 1990년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 한양대 대학원 전자공학과 박사과정.



**서일홍(徐一弘)**

1955년 4월 16일생. 1977년 서울대 공대 전자공학과 졸업. 1982년 한국 과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(공학). 1982년 대우중공업 기술 연구소 근무. 1987~88년 미국 미시간대 객원 연구원. 현재 한양대 공대 전자공학과 부교수. 당학회 편집위원.