인버스 히스토그램을 이용한 다수의 이차원 물체 인식

°박 성 혁
한국 전자 통신 연구소

고 명 삼
서울 대학교 제어 계측 공학과

The Recognition of Two-dimensional Objects Using The Inverse Histogram

SUNG HYUK PARK
ETRI

MYOUNG SAM KO
Seoul National University

Abstract

Because the threshold technique using the histogram of intensity is the most attractive for segmentation in the sense of fast image processing, this paper defined the new function of inverse histogram of intensity and found out a threshold by means of it.
The segmented errors are removed by regulating a scan size of blob coloring. Blob-coloring algorithm presented by [6] was reproved for good performance i.e., no change of feature in blobs after blob coloring.
The ratio of successful recognition was about 85 percents.

1. 서 론

영상 영역화(segmentation)란 각 영역(region)의 형태나 상대적인 위치를 사용하지 않고, 주어진 화면을 공통성질(예 : 명암, 색상)의 작은 영역으로 나누는 것 [1]으로 그 방법에는 첫째로, 서로 다른 성질을 갖는 영역의 경계부분에 휘도(gray level)가 급격히 변한다는 사실을 이용하는 방법 [2-4]과 둘째로, 각 영역을 구성하는 tree를 만들고, 이들의 공통 성질을 조사하여 분리 혹은 합치는 방법 [5-6]이 있으며 세째로, 각 영역의 밝기차로부터 추출한 문턱값(threshold)을 이용하는 방법이 있다. [7-10] 특히 이 방법은 화면의 밝기 분포도가 bimodal한 경우, [11]에 의해 쉽게 문턱값을 구하는 방법이 알려져 있다.

그러나, 대상물체의 FOV(Field of View)에 대한 면적비가 상대적으로 작거나 배경과 대상물체의 밝기차가 뚜렷하지 않을 경우, 화면의 밝기 분포도가 더 이상 bimodal하지 않게 되어 [11]의 방법 적용에 문제가 있다. 따라서 이의 해결을 위해 계산량이 많은 digital Laplacian을 취하는 방법 [12] 대신에 본 논문에서는 세번째 방식의 한 부류로 역 밝기 분포도(inverse histogram)를 이용한 영상 영역화 알고리즘을 제시하였고 IBM-PC로 구성된 비전 시스템에서 여러가지 배경색(빨강, 노랑, 파랑, 녹색, 흰색)에 대하여 조도를 바꾸어 가며 7가지 전자부품을 인식하는데 이를 실험하였다.

2. 이론 및 내용

(1) 역 밝기 분포도

한 FOV내의 화면을 m * n개의 화소로 양자화 하고 가로로 i번째, 세로로 j번째의 화소를 P_{ij}라 표시하면 이때의 화소 밝기를 휘도함수 g로 식(1)과 같이 나타낼 수 있고 A/D 변환기의 dynamic range를 dm으로 하면 밝기 분포도(intensity histogram) h(k)는 식(2)와 같이 표시된다.

$$k = g(P_{ij}) \quad \begin{cases} i = 1 \ldots m \\ j = 1 \ldots n \end{cases} \quad --(1)$$

$$h(k) = \sum_{i}^{m} \sum_{j}^{n} \delta_{k,g(P_{ij})} \quad --(2)$$

$$\begin{cases} k = 0, 1, \ldots, dm - 1 \\ \delta \text{ 는 kronecker delta 함수} \end{cases}$$

식(2)로 부터 h(k)의 역함수를 $I_j(h_i)$라 식(3)처럼 정의하면 정의역은 [min.h(k), max.h(k)] (단, min.h(k) > 0)이 되며, 번역은 [0, dm)으로 임의의 h(k)에 상응하는 여러개의 $I_j(h_i)$의 값은 작은 것부터 차례로 j에 대응된다.

$$I_j(h_i) = h^{-1}(k) \quad j = 1, 2, \ldots \quad --(3)$$

이때, 각 h_i에 대해 휘도 변화 정도를 나타내는 $dI_j(h_i)$를 식(4)와 같이 정의하면 max. $dI_j(h_i)$에는 밝기 분포도 상에 가장 분포도가 큰 lobe에 대한 분포 한계값이

들어 있으므로 유효한 문턱값 정보를 갖게 된다.

$$dI_j(h_i) = I_{j+1}(hi) - I_j(h_i) \quad --(4)$$

$$i = 1, 2, \ldots.$$

(2) 문턱값 설정

일반적으로 알려진 유효한 문턱값은 밝기 분포도가 bimodal인 경우 계곡점 근방이며, multi-modal인 경우는 분포도가 큰 lobe를 중심으로 그 밖의 것과 구분되는 좌우에 있다. 따라서 식(4)의 j가 2보다 큰 경우에 한해서 역밝기 분포도 $dI_j(h_i)$를 조사하여 그림 1과 같이 문턱값 T_{id}를 설정한다. 이때 임의의(h(k)에 대하여 밝기 분포도상의 실제적인 분포도가 아닌 부분을 배제하기 위하여 식(5)처럼 h_i와 $dI_j(h_i)$간에 기울기를 조사한다. 한편 알고리즘의 견실성을 높이기 위해 max-h_i에 대한 휘도 k로 부터 문턱값 대상이 되는 $I_j(h_i)$와의 거리를 비교 큰 값에 해당하는 $I_j(h_i)$로 유효한 문턱값을 산출한다.

$$dI_j(h_{i+1}) \;/\; (h_{i+1} - h_i) < 1 \quad --(5)$$

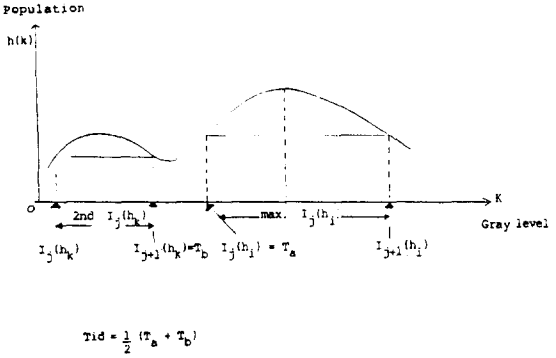


그림 1. 역 밝기 분포도에 의한 문턱값 설정

(3) smoothing 및 영역 구분

(1)에서 언급한 역 밝기 분포도를 얻기 전에 그림2와 같이 히스토그램의 유효정보를 유지하면서 불필요한 계산을 줄이기 위해 휘도 k에 대해 h_i는 이웃한 4개의 population으로 대신하도록 smoothing 하였으며, 영상 영역화 후 생기는 여러개의 blob을 구분하기 위하여 [1]에서 제안하는 영역 구분 알고리즘을 blob-color수의 불연속성을 줄이고 내부에 구멍을 갖은 영상 영역 데이타가 같은 blob내에서 연속성이 단절되지 않도록 표 1과 같이 개선하여 사용하였다.

(4) 특징 추출 및 인식

각 대상물체에 대한 특징 추출에 앞서, 영역 구분 후에 남아있는 작은 크기의 불필요한 blob을 특징 추출을 위한 blob scanning시에 scan size를 변형하여 없애 주었다. 즉, 대상 물체중에서 가장 작은 blob의 크기를 sA라 하고 FOV에서 sA가 차지하는 비율을 sa-ratio라 할때, sa-ratio 보다 작게 scan size를 택하면, 대상 물체에 해당하는 blob의 color number는 하나도 빠뜨리지 않고 찾아내면서 scan size 보다 작은 크기의 blob은 noise로 간주하여 없앨 수 있다. 이를 scan points의 집합으로 표현하면 식(6)과 같은데 식(7)의 부등식을 만족하도록 수평 방향의 scan size와 수직 방향의 scan size, hstep과 vstep을 정한다. 그림 3에 배경색이 파랑일 때 scan size를 조절하여 작은 크기의 blob noise를 제거한 예를 도시하였다.

the area of FOV : M = r * s

Sequence of scan points : Spoints

Spoints = [(p,q)/p =hstep * i + j,
q = vstep * i] -------- (6)

i = 0, 1, 2, ..., [r/hstep] - 1

j = (r mod vstep)

Spoints / M sA ---------- (7)

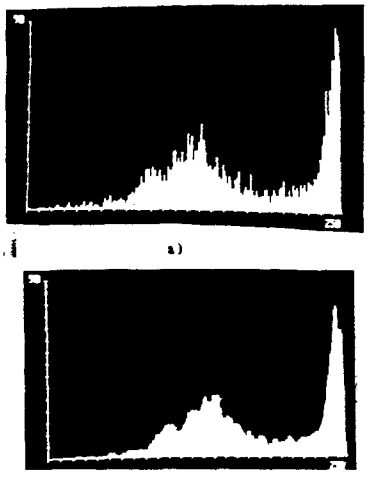


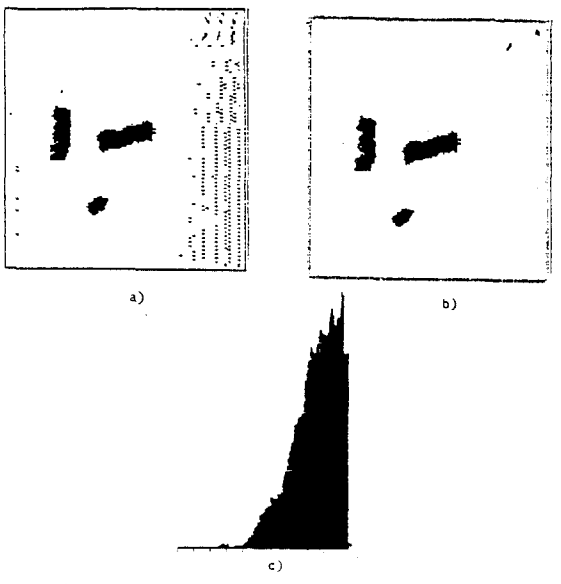
그림 2. 밝기 분포도 smoothing 예
a) smoothing 하지 않은 경우
b) 인접한 4개로 smoothing한 예

coloring된 이미지로 부터 유효 blob에 대한 인식을 위해 면적, 둘레 등 6개 특징(feature)을 화소수와 Freedman[13]의 chain code로 구했으며 특별히 template를 작성할 때는 카메라의 비 선형성을 고려하여 FOV에 대해 그림 4와 같이 여덟 방향의 평균치를 사용했고 식(8)처럼 각 특징에 대한 실험적인 가중치를 부여해서 만든 유사도 함수를 인식에 이용하였다.

MS(k,i) = abs(1-feat-ratio) * feat-wgt--(8)

```
K: = 1 (initial color #1)
if f(Xc) = 0 then continue
else BEGIN
A Group : if (f(Xu) = 1 and f(X1) = 0) then
            color(Xc): = color(Xu)
            count: = 0
B Group : else if (f(X1) = 1 and f(Xu) = 0) then
            color(Xc): = color(X1)
            count: = 0
C Group : else if (f(X1) = 1 and f(Xu) = 1) then
            if count = 1 then / * after d group,
                             / * directly C group
              K: = K-1 /* decrease color #
              count: = 0 / * count is semorphor
            else count: = 0
            if color(Xu)-color(X1) < = 0 then
                    color(X1): = color(Xu)
                    color(Xc): = color(Xu)
            else    color(Xu): = color(X1)
                    color(Xc): = color(X1)
            while   f(X1-1)<> 0 / * region growing
                                / * by color #
                    color(X1): = color(Xc)
                    if f(X1-1) < f(Xu) then
                      color(Xu): = color(Xc)
                    X1: = X1-1
D Group :   else    color(Xc): = K / * new color
                    count = count + 1
                    K = K+1
  END
```

표 1. 영역 구분 알고리즘



a) b) c)

그림3. scan size를 조절하여 blob noise를 제거한 예

a) 배경 색깔이 파랑일때 영상 영역화 에러를 제거한 경우 (문턱값 = 248)

b) 영역 구분후 scan size를 조절하여 noise를 제거한 경우

c) original 영상의 밝기 분포도

식(8)에서 feat-ratio는 대상물체의 feature를 template의 feature로 나눈 값이고 각 feature에 대한 가중치를 feat-wgt로 표시하였다. 유사도 MS(k,i)를 모든 template에 대해서 구하고, 이중 가장 작은 값을 갖는 것을 찾아 그 blob의 identity로 한다. 이때 matching 불가능을 나타내는 error 범위를 따로 정하여 matching 성공율을 증가시킬 수 있다.

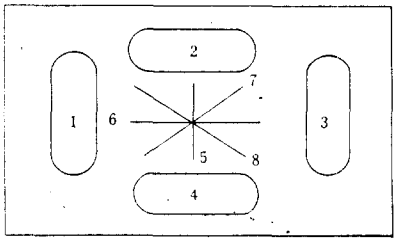


그림 4 Template를 만드는 물체의 위치

(5) 실험 및 결과

앞서 기술한 영상 처리 알고리즘을 시뮬레이션 하기 위해 그림 5와 같은 비전 시스템을 구성하고 128 * 128 * 8 bits 영상 데이타를 처리하여 각 대상물체를 동시에 인식한다. 사용된 대상물체는 표 2와 같이 7가지이며 7가지 배경색에서의 반사조도 변화를 표 3에 나타내었다. 표 4에서는 배경의 명도 변화에 대한 반사 조도의 변화를 나타내었는데 이 표에 명도 8보다 7에서, 6보다 4에서 반사 조도가 더 높게 나타난 이유는 조도계의 히스테리시스 때문이다.

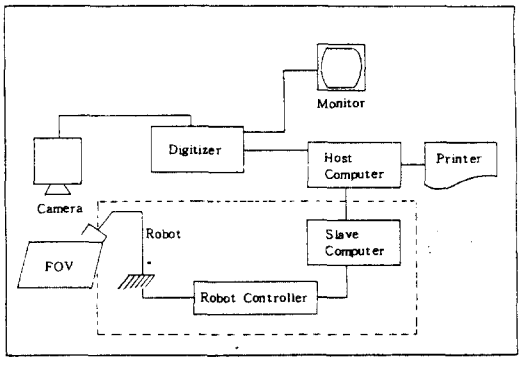


그림 5. 실험용 비전 시스템

id. #	대 상 물 체 명	discription
1	small chip	16 pin DIP
2	large chip	20 pin DIP
3	small capacitor	mica
4	large capacitor	전해 콘덴서
5	power resistor	10 Ohm, 2W
6	cable connector	50 pin
7	diode	정류용

표 2. 실험용 대상물체의 종류

이상 표에서 처럼 밝기 분포도가 bimodal형인 경우를 이상적이라 할때 배경색깔의 변화는 궁극적으로 밝기 분포도의 변화 요인이 되지 못하며 단지 그 색상의 고유 명도에 기인한다. 왜냐하면 work area에 놓여진 대상물체의 색깔이 주로 검은색으로 고유 명도가 낮아 배경색깔의 색상

조도변화 / 배경색깔	배경		카메라	
	자연광	+조명	자연광	+조명
빨강	145	500	40	160
주황	145	500	50	170
노랑	145	500	55	175
초록	155	500	40	150
파랑	155	500	40	150
남색	160	500	38	140
보라	160	500	35	140

표 3. 배경색에 대한 반사 조도 변화

조도변화(Lux) / 배경명도(Munshell)	배경	카메라
흰색 : 10	500	175
회색 : 9	500	165
: 8	500	161
: 7	500	163
: 6	500	156
: 4	500	160
: 3	500	155

표 4. 배경색의 명도변화에 따른 조도 변화

에는 관계없이 명도차가 크면 밝기 분포도가 이상적으로 되어 영상 영역화에 어려움이 없다. 한편 배경색깔의 고유 명도가 낮은 짙은 색깔(빨강, 녹색, 파랑)의 경우는 그림6에서 보듯이 조명 상태를 양호하게 해줌으로 해서 이상적인 밝기 분포도를 얻을 수 있다.

낮은 짙은 색깔(빨강, 녹색, 파랑)의 경우는 그림 6에서 보듯이 조명 상태를 양호하게 해 줌으로 해서 이상적인 밝기 분포도를 얻을 수 있다.

그림 7은 녹색의 배경에 대하여 조도가 150lux부터 500lux까지 4단계로 나누어서 밝기 분포도의 변화와 FOV에 존재하는 대상물체의 갯수에 따른 밝기 분포도의 변화를 나타내었다. 이 결과를 보면 FOV의 조도가 높아짐에 따라 밝기 분포도가 multi-modal형이 되는데 그 이유는 강제 조명에 의한 빛이 대상물체 표면의 매끄러운 정도에 따라 반사되는 양에 차이가 있기 때문이고 따라서 같은 검은색의 대상물체라도 카메라를 통해 보는 영상의 밝기가 달라 그 밝기 분포도는 마치 다른 색상(명도가 다름)의 대상물체에 대한 밝기 분포도처럼 multi-modal로 나타난다.

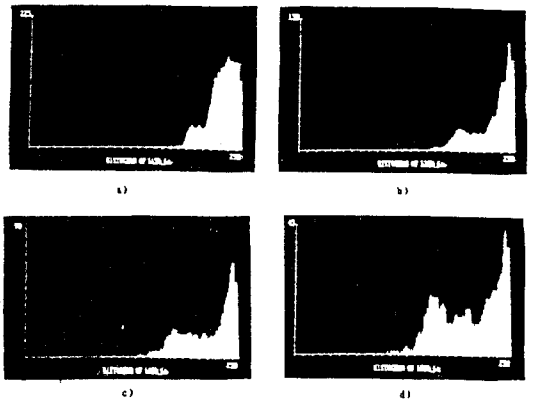


그림 6. 조도에 따른 밝기 분포도 변화
배경색이 파랑이고 대상물체의 갯수가 6개 일때
a) 조도 = 150 lux b) 조도 = 300 lux
c) 조도 = 400 lux d) 조도 = 500 lux

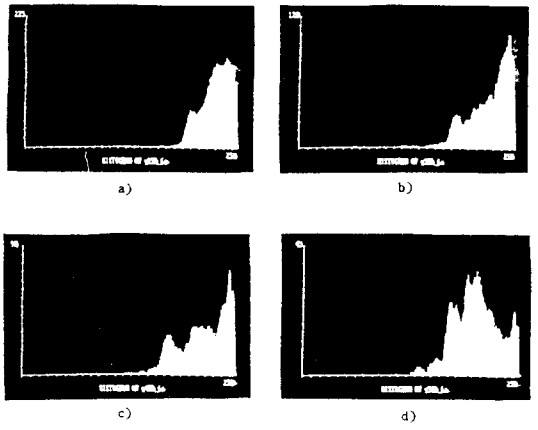


그림 7. 조도에 따른 밝기 분포도 변화
배경색이 녹색이고 대상물체의 갯수가 6개 일때
a) 조도 = 150 lux b) 조도 = 300 lux
c) 조도 = 400 lux d) 조도 = 500 lux

이는 짙은 배경색의 경우 밝기 분포도의 계곡값이 반드시 유효한 문턱값이 되지 못하는 이유가된다. 대체로 본 논문에서 제시한 알고리즘에 의해 영상 영역화 한 결과 짙은 배경색에서 강제 조명이 없는 경우를 제외하고는 그림 8과 같이 영상 영역화가 잘되었다. 그러나, 그림9와 같이 배경색이 빨강이고 FOV의 조도가 300, 400, 500 lux 일때의 영역화 결과는 a)의 경우 그림 9 d)의 밝기 분포도에서 보듯이 알고리즘 상으로는 당연한 문턱값(216)을 찾아냈지만 영역화 결과는 그 특성이 매우 좋지 못하다.

이는 이론상, 정상적인 밝기 분포도가 multi-modal형으로 (배경, 물체 반사빛) 나타나야 함에도 불구하고 강제 조명에 의한 반사빛이, 테스트 영상을 얻을 때 다른 배경색의 경우보다 많이 카메라에 들어가 이 부분에 해당하는 휘도 영역이 넓어지면서, 배경부분의 휘도 영역과 중첩되어 마치 배경과 대상 물체가 서로 상당한 명도차가 있는 경우처럼 밝기 분포도가 bimodal형으로 되었기 때문이다. 따라서 이를 토대로 역 밝기 함수를 구하고 문턱값을 설정하면 대상 물체 중에서 가장 매끄럽지 못한 표면을 갖은 power resistor 만이 영상 영역화될 뿐 다른 영상은 문턱값 밖으로 벗어나 버린다. 이상과 같은 현상은 반사빛과 배경색의 휘도 특성사이에서 생기는 복합적인 문제로 이런 경우는 밝기 분포도에 의한 영상 영역화가 불가능함을 알수 있다.

다음에 matching score 계산과 이를 근거로 행한 인식의 결과 예로 그림 3의 경우에 대하여 표 5에 요약하였다.

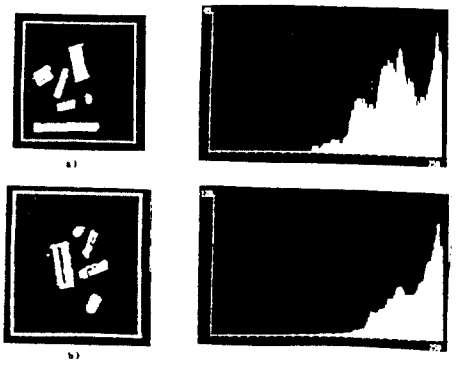


그림 8 역 밝기 분포함수에 의해 처리된 영상과 밝기분포도

a) 배경색(녹색), 문턱값= 232 b) 배경색(과랑), 문턱값= 248

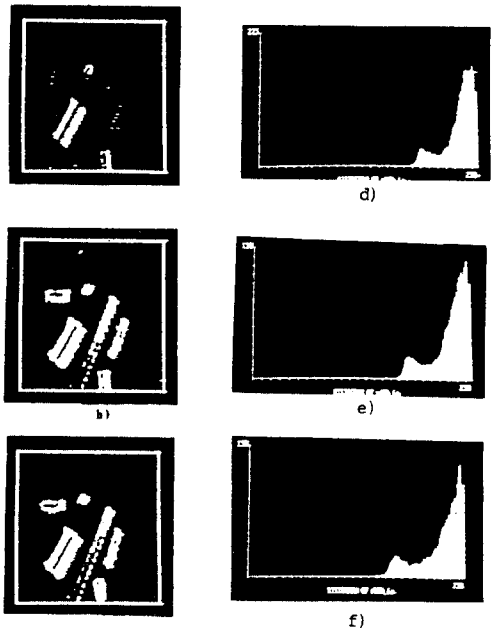


그림 9. 3가지 조명에서의 영상 영역화

배경색은 (빨강)

a) 영상 영역화 : 문턱값 = 216, 300 lux
b) 영상 영역화 · 문턱값 = 248, 400 lux
c) 영상 영역화 · 문턱값 = 246, 500 lux
d) a의 경우 밝기 분포도
e) b의 경우 밝기 분포도
f) c의 경우 밝기 분포도

Feature \ Template	Small Chip	Large Chip	La-cond.	Sm-cond.	Cable conn.	Power res.	Diode
Area	0.341	0.248	0.103	0.216	0.063	0.099	1.014
Perimeter	0.448	0.357	0.275	0.417	0.204	0.231	1.000
Thinness	0.584	0.515	0.733	0.802	0.057	0.535	0.960
La-dia	0.333	0.217	0.227	0.345	0.125	0.200	0.833
Sm-dia	0.465	0.600	0.214	0.316	0.167	0.231	0.857
Dia-ratio	0.595	0.370	0.980	1.042	0.758	0.980	0.877
Grade	6.7409	7.7481	7.7510	6.5342	8.7109	8.3289	0.7212
Identity							0

a) diode 로 인식

Feature \ Template	Small Chip	Large Chip	La-cond.	Sm-cond.	Cable conn.	Power res.	Diode
Area	1.389	1.010	0.419	0.878	0.256	0.404	4.129
Perimeter	1.284	1.024	0.789	1.194	0.585	0.662	2.867
Thinness	1.179	1.040	1.479	1.620	1.326	1.080	1.939
La-dia	1.500	0.978	1.023	1.552	0.563	0.900	3.750
Sm-dia	0.538	0.700	0.250	0.368	0.194	0.269	1.000
Dia-ratio	2.296	1.429	3.782	4.018	2.922	3.782	3.383
Grade	5.1352	0.9556	6.9121	6.9404	7.7302	6.6747	24.7467
Identity		0					

b) large chip 으로 인식

Feature \ Template	Small Chip	Large Chip	La-cond	Sm-cond	Cable conn.	Power res.	Diode
Area	1.082	0.787	0.326	0.684	0.200	0.315	3.214
Perimeter	0.940	0.750	0.578	0.875	0.429	0.485	2.100
Thinness	0.813	0.717	1.020	1.116	0.914	0.744	1.336
La-dia	1.100	0.717	0.750	1.138	0.412	0.660	2.750
Sm-dia	0.846	1.100	0.393	0.579	0.306	0.423	1.571
Dia-ratio	1.071	0.667	1.765	1.875	1.364	1.765	1.579
Grade	1.2238	2.9543	5.1989	3.1282	6.5205	6.1351	15.2660
Identity	0						

c) small chip 으로 인식

표 5. 그림3.의 경우에 계산된 matching score table

3. 결 론

본 논문에서는 한 FOV안에 있는 다수의 물체를 동시에 인식해 내는 일련의 2차원 영상 처리 알고리즘을 제시하였다. 특히 영상 데이타의 밝기 분포도가 bimodal이 아니거나 배경 색깔이 흰색이 아닌 경우에 대해서도 알고리즘이 신뢰성을 갖도록 영상 영역화를 위해 새로이 역 밝기 분포도를 도입했으며 영상 영역화 에러는 영역 구분 후 scan size를 조절하여 인식에 영향을 안 미치도록 제거하였다.

한편 배경색과 FOV의 조도 변화에 따른 밝기 분포도를 분석하여 대상물체의 휘도 분포와 인접한 휘도 분포를 가지는 짙은 배경색의 경우에는 밝기 분포도상의 계곡값이 반드시 유효한 문턱값은 아님을 알아 보았다. 또 강제 조명을 사용하는 경우, 대상물체에 대한 영상 데이타중 반사 빛에 의한 부분이 커짐에 따라 휘도 분포가 상향 조정되는데, 이때 배경색의 휘도 분포와 중첩되어 일어나는 영상 영역화 에러를 통해 밝기 분포도에 의한 영상 영역화의 문제점을 고찰하였다.

이상의 영상 처리 알고리즘은 대체로 성공적인 결과를 보였으며, 전체 인식율은 85%로 주된 에러는 실험 및 결과에서 언급한 바와같이 반사 빛의 영향을 심하게 받은 빨강 바탕색의 경우에서 일어났다.

한편, 부동 소숫점 연산용 보조 프로세서와 경제성 때문에 본 논문에서 실험적으로 구성한 PC 수준의 비전 시스템은 처리할 영상 데이타의 크기를 512 * 512로 할 경우 처리속도가 4배나 더 걸리게 되어 고해상도 정밀 처리를 요하는 시스템으로는 적합하지 못하다.

따라서 앞으로 본 시험용 비전 시스템의 하드웨어 성능

을 높여 IBM AT 수준으로 높이는 것과 역 밝기 분포도로부터 문턱값을 하드웨어로 산출하도록 설계하는 것이 필요할 것으로 사려된다.

참 고 문 헌

1. O.H. Ballard & C.M. Brown, Computer Vision, Prentice-Hall, Inc., Englewood cliffs, New Jersey, 1982.
2. W. Frei & C.C. Chen, "Fast Boundary Detec -tion : A Generalization & A New Algorithm," IEEE Trans. Computer, Vol. c-26, no. 10, oct. 1977, pp.988-998.
3. C.C. Lee, "Elimination of redundant Opera -tion for fast Sobel Operator," IEEE Tran. SMC-7, April 1983, pp.242-245.
4. Ramesh Jain, "Two-stage method for fast edge detection," GIP-14, 1981, pp.177-181.
5. S.L. Horowitz & T. Pavlidis, "Picture Segmentation by a Directed Split-&-Merge Procedure," Proc. 2nd 1JCPR, Aug. 13-15, 1974, pp.424-433.
6. P.M. Narewdra & M. Goldberg, "Image Segmentation with Directed Tree," IEEE Trans. PAMI, Vol., PAMI-2, no.2, Mar. 1980, pp.185-191.
7. J.S. Weszka, R.N. Nagel, and A. Rosenfeld, "A Threshold Selection Technique," IEEE Trans. Computer, Vol. c-23, no. 12, Dec. 1974, pp. 1322-1326.
8. A. Rosenfeld & A.C. Kak, Digital Picture processing, Academic Press, N.Y. 1976.
9. J.S. Weszka, and A. Rosenfeld, "Histogram Modification for Theshold Setection," IEEE, Trans. Vol. SMC-9, No. 1, Jan. 1979.
10. R.L. Kirby, and A. Rosenfeld, "A Note on the Use of (Gray Level, Local Average Gray Level, Space as an Aid in Threshold Selec -tion," IEEE, Trans. Vol. SMC-9, No. 12, Dec. 1979.
11. A Rosenfeld, "Histogram Concavity Analysis as an Aid in Threshold Selection," IEEE Trans. SMC-13, April, 1983.
12. Zucker, S.W. "Toward a model of Texture," CGIP5, 2, June 1976, 190-202.
13. Freeman, H. "Computer processing of line drawing images," Computer Survey 6, 1, March 1974, 57-98.
14. KIET, "Study on development of Process Information Process System," Final Report 1984. ppl81-204.
15. P.L.T. Cederberg, "chain-link coding & segmentation for raster scan devices," CGIP, Vol. 10, pp224-234, 1979.
16. Microsoft, Pascal Compiler for the MS-Dos User's Guide, 1983.
17. IMAGING Tech., PCVISION Frame Grabber Manual, 1984.