

## 스케치 특징의 추출을 위한 퍼지 임계치 추론

正會員 曹聖穆\*, 曹辰鎬\*\*

### Fuzzy Threshold Reasoning for Extracting Sketch Features

Sung-Mok Cho\*, Jin-Ho Cho\*\* Regular Members

#### 要 約

일반적으로, 스케치 특징을 효과적으로 추출하기 위한 임계치는 조작자(human operator)가 영상에 따라 달리 설정해야 한다. 더구나, 한 영상 안에는 넓은 영역에 걸쳐 명암변화가 일어나고 다양한 유형의 물체가 포함되어 있는데, 인간의 시각특성은 밝은 부분보다는 어두운 부분의 스케치 특징점에 더욱 민감하다. 그러므로, 영상 전체에 걸쳐 동일한 임계치를 사용하면 스케치 특징을 효과적으로 추출할 수 없다. 본 논문에서는, 조작자가 개입하지 않고도 이러한 인간의 시각특성에 따라 스케치 특징을 추출할 수 있도록, 퍼지추론을 통해서 화소단위의 임계치를 결정하는 방법을 제안한다. 이를 위해 명암대비와 국부적 밝기를 나타내는 측정자(measure)가 제안되고, 이들을 입력 영상에 적용하여 구성된 히스토그램에 근거하여 입력 소속함수(membership function)를 발생시킨다. 또한, 영상의 내용을 반영하여 임계치를 결정하기 위하여 출력 소속함수는 입력영상의 표준편차를 이용하여 생성시킨다. 실험결과, 제안한 방법은 조작자의 개입이 없이도 영상의 종류에 관계없이 인간의 시각특성에 따라 스케치 특징을 검출하는 매우 우수한 성능을 나타내었다.

#### ABSTRACT

Generally, threshold values for extracting sketch features effectively should be set differently according to images by human operator. Moreover, a global threshold cannot extract sketch features effectively because of the facts that there are various types of objects and regions having many different gray level range within a single image, and the human visual characteristics is more

\*동명전문대학 전자과  
Dept. of Electronics, Dongmyung Junior College

\*\*경북대학교 전자공학과  
Dept. of Electronic Engineering, Kyungpook  
National University  
論文番號 : 94194-0723  
接受日字 : 1994年 7月 23日

sensitive to the sketch features in dark regions than those in bright regions. Therefore, in order to extract sketch features in a manner based on the human psychovisual phenomena without human intervention, this paper suggests a method that a pixelwise threshold for deciding whether a pixel is a feature or not is deduced through fuzzy reasoning. To do this, a contrast and a local brightness are proposed and these membership functions are generated subject to the histograms which are constructed from applying these measures to input image. In addition, to decide threshold values according to image context, an output membership function is generated subject to the standard deviation of input image. Experimental results show that the proposed method has a very excellent performance extracting sketch features based on the human psychovisual phenomena independently of processed image and without human intervention.

## 1. 서 론

화소의 밝기나 색이 급격하게 변화하여 물체와 물체간의 경계를 나타내는 에지(edge)와 주위의 화소들에 비하여 상대적으로 어두운 밸리(valley)는 영상을 분석하고 인식하는데 매우 중요한 특징이다. 영상처리에 의해 추출된 이러한 스케치 특징들은 산업용 로봇에서와 같은 시각 장치 등에서 물체의 크기, 형태, 상대적인 위치 등을 인식해 내는데 기본적인 요소일 뿐만 아니라, 동영상 전송과 같은 통신 분야에서 정보량의 압축을 위해서도 사용되고 있다.

이러한 특징점을 검출하기 위한 Sobel, Prewitt, 및 Kirsch 등의 미분 연산자와 Laplace 연산자는 명암변화가 큰 영역에서 큰 값을 나타내므로, 이들 연산자를 입력영상에 적용시킨 기울기영상(gradient image)에 적절한 임계치를 사용하여 의미 있는 특징점들을 추출하게 된다.<sup>[1,2]</sup> 또한, 국부적 밝기를 고려하는 엔트로피 연산자와 DIP(Difference of inverse probabilities) 연산자는 같은 밝기 변화에서도 어두운 부분의 특징점들을 잘 추출하는데 이 연산자들도 적절한 임계치가 선택되어야 중요한 특징점들이 추출된다.<sup>[3,4]</sup> LOG(Laplace of Gaussian) 연산자는 에지를 효과적으로 추출하기 위해 다양한 가우시안 필터를 사용해야 한다.

이와 같이, 영상에서 특징점들을 검출하기 위해서는 연산자에 따라 임계치와 같은 변수들의 값을 적절하게 찾아내는 것이 매우 중요하다.<sup>[5]</sup> 이 변수들의 값은 처리할 영상에 따라 달라질 뿐만 아니라, 한 영상 안에서도 넓은 영역에 걸쳐 명암변화가 일어나고 다양한 유형의 물체들이 포함되어 있기 때문에 이들 요소들을 동시에

고려하여 효과적으로 스케치 특징을 추출하기가 매우 곤란하다. 또한, 인간의 시각특성은 밝은 부분 보다는 어두운 부분의 특징점들에 더욱 민감하므로 동일한 변수값을 사용할 경우에는 특징점들이 효과적으로 추출되지 않는다.<sup>[7]</sup>

그러므로 스케치 특징을 효과적으로 추출하기 위해서는 영상 전반에 걸쳐 동일한 임계치를 적용하는 것은 바람직하지 못할 뿐만 아니라 입력 영상에 따라 임계값을 다르게 선택해야 하며, 국부적인 밝기를 고려해야 하는데, 이와같은 고려사항에는 애매함이 존재한다. 뿐만 아니라 명암등급(gray level)중 각 화소가 가지는 표현값에는 모호함이 있으며 처리 과정에서의 부정확성과 불확실성이 존재한다.

따라서 본 논문에서는 퍼지집합 이론을 적용하여 화소 단위의 임계치를 결정하는 퍼지 임계치 추론기가 제안되고, 이를 위하여 명암대비와 국부적 밝기를 나타내는 입력 측정자와 임계치를 나타내는 출력 측정자가 제안된다. 제안된 명암대비 측정자는 특징점을 가늘게 추출할 뿐만 아니라 잡음에도 강하다. 또한, 임계치 결정을 위하여 국부적 밝기를 입력 측정자로 사용하므로 어두운 부분의 특징점도 매우 잘 검출한다. 뿐만 아니라, 임계치 결정을 위한 입력력 소속함수는 제안한 측정자를 입력 영상에 적용하여 구성된 히스토그램과 표준편차에 입각하여 정의되므로, 영상의 종류에 상관없이 제안된 퍼지 임계치 추론기가 사용될 수 있다. 이렇게 제안된 퍼지 임계치 추론기의 성능을 입증하기 위하여 다양한 영상에 대해 기존의 여러 연산자들의 성능과 비교 평가하였다.<sup>[7,8]</sup>

## 2. 퍼지 측정자와 입출력 소속함수

본 논문에서는 명암대비와 국부적 밝기를 나타내는 입력 측정자와 임계치 결정을 위한 출력 측정자가 제안되고, 이들을 임계치 결정에 반영되는 퍼지 입출력 변수로 사용한다.

### 1. 명암대비 측정자

특징점 추출 연산자는 그 연산자의 특성에 따라 다양한 임펄스 반응을 보인다. 본 논문에서는 화소단위의 최대-최소 기울기 연산을 수행하는 명암대비 측정자를 그림 1 의 3×3 국부 영역에서 식 (1)과 같이 정의한다.

$$\text{contrast} = \min(C1, C2, C3, C4.) \quad (1)$$

a	b	c
d	e	f
g	h	i

그림 1. 3×3 창  
Fig. 1. 3×3 window.

여기서 C1, C2, C3 및 C4는 각각 다음과 같이 정의된다.

$$C1 = \max(a, d, g) + \max(c, f, i) - 2e$$

$$C2 = \max(a, b, c) + \max(g, h, i) - 2e$$

$$C3 = \min\{ (\max(b, d)+\max(f, h)-2e), (\max(b, f)+\max(d, h)-2e) \}$$

$$C4 = \max\{\text{abs}(a-\min(f, h)), \text{abs}(c-\min(d, h)), \text{abs}(g-\min(b, f)), \text{abs}(i-\min(b, d))\}$$

식 (1)에 의해 제안된 명암대비 측정자의 성능을 분석하기 위하여, 그림 2와 같이 E, 0, 및 N인 명암도로 구성된 4개의 이상적인 계단 에지, 4개의 이상적인 경사 에지, 8개의 이상적인 밸리 및 2개의 임펄스 잡음에 대해 임펄스 응답을 구해 보면 그림 3과 같다.

그림 3에서 보는 바와 같이 제안된 명암대비 측정자는 계단에지와 경사에지에서 뿐만 아니라 밸리에서도 매우 잘 반응하여 특징점을 가늘게 추출하며, 임펄스잡음에도 매우 강함을 알 수 있다.

### 2. 국부적 밝기 측정자

밝은 영역 보다는 어두운 영역의 특징점에 더욱 민감한 인간의 시각체계에 근거하여 임계치를 결정하기 위하여, 국부적 밝기를 퍼지 입력 변수로 사용하고 그림 1에서 식 (2)와 같이 정의한다.

E	E	E	O	O
E	E	E	O	O
E	E	E	O	O
E	E	E	O	O
E	E	E	O	O

(a)

E	E	E	E	E
E	E	E	E	E
E	E	E	E	E
O	O	O	O	O
O	O	O	O	O

(b)

E	E	E	E	E
E	E	E	E	O
E	E	E	O	O
E	E	O	O	O
E	O	O	O	O

(c)

E	O	O	O	O
E	E	O	O	O
E	E	E	O	O
E	E	E	E	O
E	E	E	E	E

(c)

E	E	E/2	O	O
E	E	E/2	O	O
E	E	E/2	O	O
E	E	E/2	O	O
E	E	E/2	O	O

(d)

E	E	E	E	E
E	E	E	E	E
E/2	E/2	E/2	E/2	E/2
O	O	O	O	O
O	O	O	O	O

(f)

E	E	E	E	E
E	E	E	E	E
O	O	O	O	O
E	E	E	E	E
E	E	E	E	E

(j)

E	E	E	E	O
E	E	E	O	E
E	E	O	E	E
E	O	E	E	E
O	E	E	E	E

(k)

O	E	E	E	E
E	O	E	E	E
E	E	O	E	E
E	E	E	O	E
E	E	E	E	O

(l)

E	E/2	O	E/2	E
E	E/2	O	E/2	E
E	E/2	O	E/2	E
E	E/2	O	E/2	E
E	E/2	O	E/2	E

(m)

E	E	E	E	E
E/2	E/2	E/2	E/2	E/2
O	O	O	O	O
E/2	E/2	E/2	E/2	E/2
E	E	E	E	E

(n)

E	E	E	E/2	O
E	E	E/2	O	E/2
E	E/2	O	E/2	E
E/2	O	E/2	E	E
O	E/2	E	E	E

(o)

O	E/2	E	E	E
E/2	O	E/2	E	E
E	E/2	O	E/2	E
E	E	E/2	O	E/2
E	E	E	E/2	O

(p)

O	O	O	O	O
O	O	O	O	O
O	O	N	O	O
O	O	O	O	O
O	O	O	O	O

(q)

N	N	N	N	N
N	N	N	N	N
N	N	O	N	N
N	N	N	N	N
N	N	N	N	N

(r)

그림 2. 제안된 명암대비 측정자의 성능을 시험하기 위한 4개의 이상적인 계단에지, 4개의 경사에지, 8개의 밸리, 및 2개의 잡음 패턴들

Fig 2. Four perfect digital step edges, four ramp edges, eight valleys and two noise patterns to test the performance of proposed contrast measure.

O	O	-E	-E	O
O	O	-E	-E	O
O	O	-E	-E	O
O	O	-E	-E	O
O	O	-E	-E	O

(a)

O	O	O	O	O
O	O	O	O	O
-E	-E	-E	-E	-E
E	E	E	E	E
O	O	O	O	O

(b)

O	O	O	O	O
O	O	O	-E	-E
O	O	-E	-E	O
O	-E	-E	O	O
-E	-E	O	O	O

(c)

-E	E	O	O	O
O	-E	E	O	O
O	O	-E	E	O
O	O	O	-E	E
O	O	O	O	-E

(d)

O	-E/2	O	E/2	O
O	-E/2	O	E/2	O
O	-E/2	O	E/2	O
O	-E/2	O	E/2	O
O	-E/2	O	E/2	O

(e)

O	O	O	O	O
-E/2	-E/2	-E/2	-E/2	-E/2
O	O	O	O	O
-E/2	-E/2	-E/2	-E/2	-E/2
O	O	O	O	O

(f)

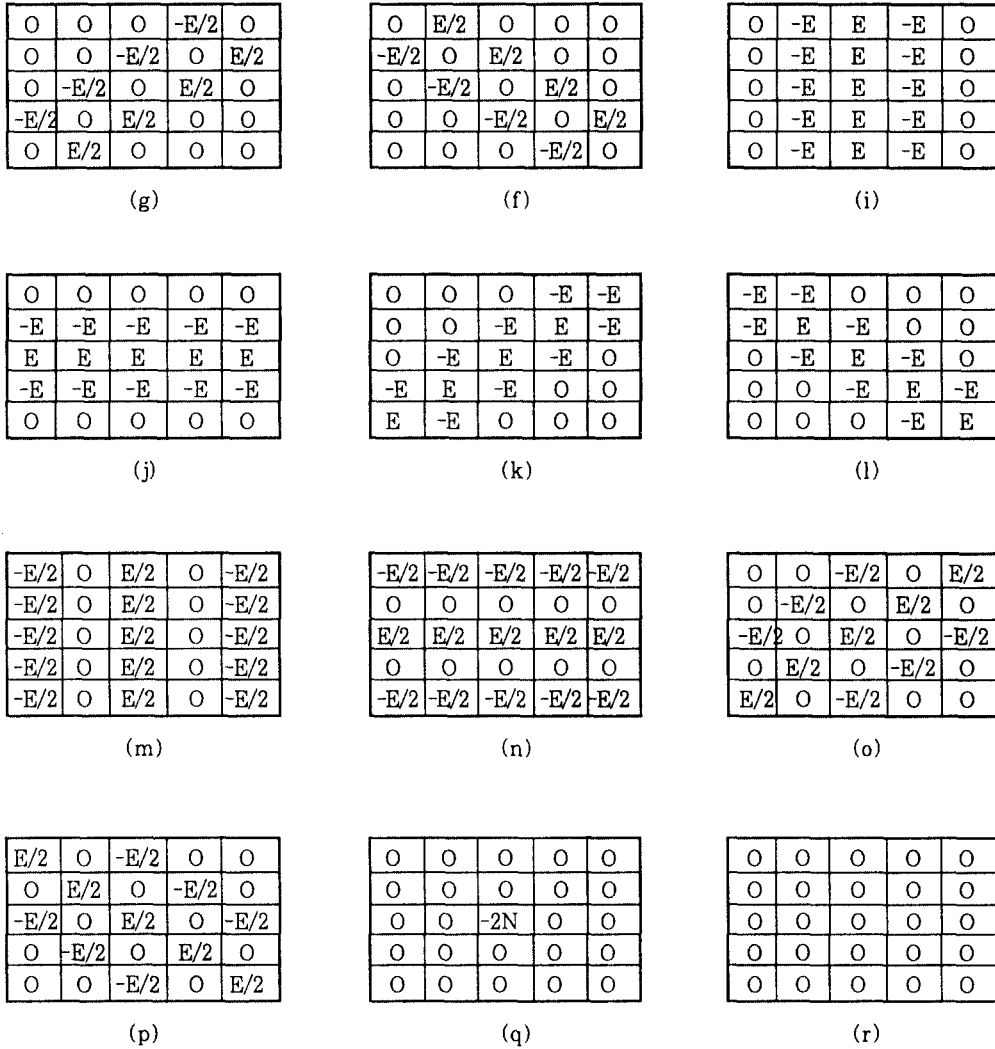


그림 3. 제안된 명암대비 측정자를 그림 2에 적용한 결과들  
 Fig. 3. Results of applying proposed contrast measure to Fig. 2.

$$\text{Local brightness} = (a+b+c+d+e+f+g+h+i)/9 \quad (2)$$

3. 임계치 측정자

특징점 검출을 위한 임계치는 영상의 내용에 따라 달라지며, 영상의 복잡도가 증가할 수록 그 영상의 표준편차는 일반적으로 증가하게 된다. 또한, 퍼지추론을 위한 측정자는 정성적이고 애매한 언어적 서술로 표현되므로

상관성이 존재할 때 닳음의 정도에 의해 언어적으로 표현될 수 있다. 따라서 처리될 영상의 복잡도와 특징점 검출을 위한 임계치의 상관성을 이용하여 식 (3)과 같이 임계치 측정자를 정의한다. 식 (1)에 의해 제안된 명암대비 측정자와 식 (3)으로 정의된 임계치 측정자만을 사용하여 특징점을 검출해도 여러 영상에 대해 매우 잘 반응함을 확인할 수 있다.

$$\text{Threshold} = \begin{cases} -0.2\sigma^2 + 3.5\sigma, & \sigma \leq 15 \\ 0.5\sigma, & \sigma > 15 \end{cases} \quad (3)$$

#### 4. 입출력 소속함수

퍼지집합은 언어적인 애매함을 정량적으로 나타내기 위한 집합개념이다. 식 (1), 식 (2), 및 식(3)에 의해 계산된 값들은 경계짓기 어려운 매우 모호한 값들이므로, 본 논문에서는 이들을 소속함수를 갖는 퍼지집합으로 정의한다. 일반적으로 퍼지집합은 식 (4)와 같이 순서쌍들의 집합으로 표현될 수 있다.

$$A = \{x, \mu_A(x)\} \quad (4)$$

여기서,  $x$ 는 입출력 측정자의 값이며  $\mu(x)$ 는 해당하는 입출력 소속함수의 값의 정도를 나타낸다. 본 논문에서는 입력변수와 추론값인 임계치의 정도를 다음과 같이 언어적인 표현에 의한 퍼지 부분집합으로 분할하였다.

$$\text{입출력 변수값} = \{ \text{"낮다(low)", "중간이다(medium)", "높다(high)"} \} \quad (5)$$

그림 4는 명암대비와 국부적 밝기 및 임계치를 나타내는 퍼지집합으로 가로축은 퍼지집합의 입출력변수 값을 나타내며, 세로축은 해당 입출력 변수의 퍼지집합에 대한 소속정도를 나타낸다. Krishnapuram 등<sup>(9)</sup>은 이들 입출력 소속함수를 발생시키는 방법을 다음과 같이 분류하였다.

- (a) 퍼지 clustering에 의한 방법
- (b) Heuristic한 방법
- (c) 신경회로망에 의한 방법
- (d) 히스토그램에 기초한 방법

본 논문에서는 입력 소속함수를 결정하기 위하여 식 (1)과 식(2)를 입력 영상에 적용하여 구한 값들의 히스토그램에 입각하여 Heuristic한 방법으로 결정하였다. 일반적으로, 임계치를 결정할 때 사용하는 예지강도 값은 입력영상에서 각 화소가 갖는 예지강도값 중 상위 20% 내외의 값이다. 식 (1)로 정의되는 명암대비 정도는 특징점 유무와 관련되는 측정자이므로 명암대비를 나타내는 입력 소속함수는 이 값을 기준으로 결정하는 것이 타당하다. 따라서, 식 (1)을 입력영상에 적용하여 구

한 히스토그램에 입각하여 상위 20%에 해당하는 값을 기준으로 하여 그림 4와 같이 각  $c_i$ 의 값들을 heuristic한 방법으로 결정하였다. 또한, 국부적 밝기는 식 (2)를 입력영상에 적용하여 구한 히스토그램에서 중앙값(50%)에 해당하는 값을 기준으로 밝고 어두움을 나타내는 개략적인 집합으로 modelling하는 것이 인간이 국부적인 밝기를 인식하는 방법과 유사하다. 따라서, 이 값을 기준으로 그림 4와 같이 각  $b_i$ 의 값들을 heuristic한 방법으로 결정하였다. 표 1은 특징점 검출을 위한 연산자로 식(1)을 사용하였을 때, 각 영상에서의 표준편차와 임계값과의 관계를 실험 결과로 나타낸 것이며, 이 실험 데이터로 부터 식 (3)이 제안되었다. 따라서, 식 (3)을 출력 소속함수를 결정하기 위한 측정자로 사용하고, 입력영상으로 부터 구해진 식 (3)의 값을 기준으로 그림 4와 같이 각  $t_i$ 의 값들을 heuristic한 방법으로 결정하였다. 따라서 영상에 적용된 입력 측정자들의 히스토그램과 입력영상의 표준편차는 소속함수를 결정하는데 매우 중요한 정보를 제공해 준다.

표 1. 임계치 측정자의 정의를 위한 실험 데이터  
Table 1. Experimental data for the definition of a threshold measure.

영상 이름	표준편차	임계치
Girl	5.86	13
Balesman	11.76	14
Salesman	8.26	15
Crowd	13.73	10
Couple	6.02	14
Einstein	10.29	15
Boats	10.68	15
Grand	5.21	13
Lena	11.02	14
Bank	16.76	8
Pepper	7.26	15
Mandrill	22.39	11
Sail	23.65	12
model	15.11	8
Woman	11.43	14

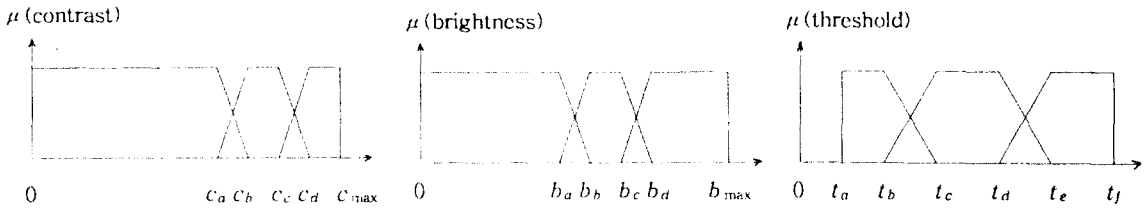


그림 4. 입력력 퍼지 소속함수  
Fig. 4. Input and output fuzzy membership functions.

그림 4에서  $c_a, c_b, c_c$  및  $c_d$ 와  $b_a, b_b, b_c$  및  $b_d$ 는 각각 식 (1)과 식(2)를 입력영상에 적용한 히스토그램에서 60%, 70%, 80%, 90%, 45%, 55%, 65% 및 75%에 해당하는 값으로 정의되고,  $t_a, t_b, t_c, t_d, t_e$  및  $t_f$ 는 각각 식 (3)을 입력영상에 적용하여 구한 값의 0.4, 0.8, 1.3, 1.9, 2.4 및 3배에 해당하는 값들로 정의된다. 이 때의 확률은 명암대비 히스토그램과 국부적 밝기를 나타내는 히스토그램에서 0에 해당하는 값들을 제외한 것이다.

### 3. 퍼지 임계치 추론기

Zadeh에 의해 제안된 퍼지 집합이론은 인간의 사고에서 비롯되는 애매하고 불분명한 상황에 대한 판단과 결정과정을 수학적으로 접근하고, 언어 등의 애매함을 정량적으로 표현하기 위한 수단으로써 여러 분야에 응용되어 왔다.<sup>(10)</sup> 특히 영상에서 추출된 특징들의 애매함과 특징 벡터 공간에서의 결정짓기 어려운 불명확한 패턴의 분류등 영상내의 불확실성을 다루기 위하여 퍼지 집합이론에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.<sup>(11-13)</sup> 본 논문에서는 에지를 검출하는데 사용될 임계치를 추론하기 위하여, 입력영상을 제어시스템으로 가상하고 제어시스템의 상태를 3×3 창내에 있는 화소들로 정의하면 그림 5와 같은 일반적 퍼지 논리제어기의 구조와 동일한 임계치 추론을 위한 퍼지모델을 도입할 수 있다. 이 퍼지모델의 주요 구성요소는 다음과 같다.

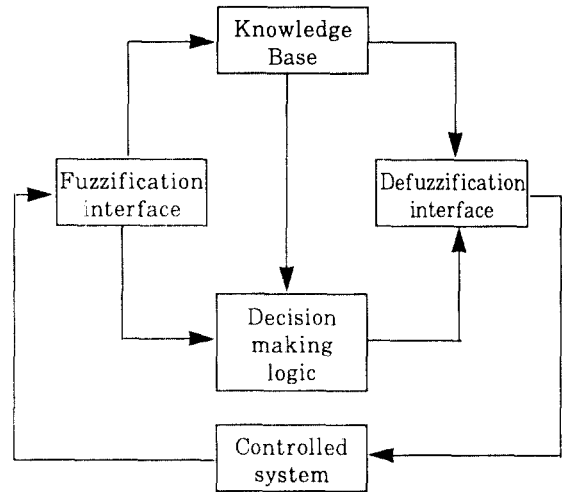


그림 5. 적절한 임계치를 결정하기 위한 퍼지모델  
Fig. 5. Fuzzy model for determining appropriate threshold values.

#### 1. 퍼지화 과정

제안된 측정자들을 3×3 창내의 화소값에 적용하여 얻어진 입력변수의 값들을 입력영상에 입각하여 발생시킨 퍼지용어 집합에 따라 언어적 변수로 변환한다.

#### 2. 지식베이스

임계치를 추론하기 위한 제어목표를 달성하기 위하여, 영상이 갖고 있는 특징들에 의거하여 작성된 제어법칙들

로써 언어적인 퍼지집합의 규칙들이다. 표 1은 본 논문에서 사용한 퍼지규칙들을 나타낸다.

3. 결정논리

입력변수로 정의된 각 측정값에 대하여 퍼지규칙을 이용하여 임계치의 정도를 퍼지집합의 형태로 개략적인 추론을 한다. 일반적으로 퍼지규칙은 IF(조건부)와 THEN(결론부)의 조합으로 기술되며, 측정된 각 입력변수의 값이 조건부를 만족할 때 퍼지관계와 결론부의 정도에 따라 최적의 결론을 유도해 낸다. 그림 6은 최대-최소 합성법을 이용하여 임계치를 결정하기 위한 근사추론 방법이며, 그 결과로 도출된 퍼지집합은 무게중심법(moment method)에 의해 역퍼지화 된다. 그림 6(a)와 6(b)는 제어규칙 I와 J를 나타낸 것으로  $\mu_B$ 와  $\mu_C$ 는 입력 x와 입력 y에 대한 소속함수 값을 나타내며,  $\mu_T$ 는 입력 x와 y에 따라 제어해야 할 출력정도를 나타낸다.  $B_I, B_J, C_I, C_J, T_I$  및  $T_J$ 는 언어적으로 표현된 입력변수 B와 C 및 출력변수 T의 I와 J번째 제어규칙을 나타내는 입력출력 소속함수이며, B와 C의 입력이 들어올 때 이들 입력은 각 제어규칙의 입력 소속함수로 부터 다음의 정도를 나타내는 '0'에서 '1'까지의 실수값을 가지게 된다. 실수값으로 표현된 소속함수의 값들은 식 (6)의 퍼지 곱집합 연산에 의해 각각의 제어규칙에 따른 제어출력을 발생시킨다.

$$\mu_{B \otimes C}(x, y) = \min(\mu_B(x), \mu_C(y)) \quad (6)$$

이와 같이 제어규칙 I와 J로 부터 얻어진 각각의 제어출력은  $T_I$ 와  $T_J$ 에서 퍼지집합으로 표현되며, 이들 퍼지집합들은 식 (7)의 퍼지 합집합 연산에 의해 그림 6(c)와 같은 퍼지집합으로 최종적인 제어출력을 발생시킨다.

$$\mu_{T_I \oplus T_J}(th) = \max(\mu_{T_I}(th), \mu_{T_J}(th)) \quad (7)$$

4. 역퍼지화 과정

그림 6(c)와 같이 퍼지집합으로 추론된 제어출력은 입력영상의 에지를 검출하기 위한 각 화소의 임계치를 결정하기 위해 식 (8)에 의해 실제 적용될 수 있는 실수값으로 변환된다.

$$threshold = \frac{\sum_{i=1}^n (\mu_T(th_i) \times T_i)}{\sum_{i=1}^n \mu_T(th_i)} \quad (8)$$

5. 제어 시스템

전체 영상의 국부영역인 3×3 창내의 화소값으로 부터 추론된 임계치는 식 (1)에 의해 구해진 명암대비 값과 비교하여 중심화소의 특징점 여부를 결정하고 창의 중심을 다음 화소로 이동한다.

표 2. 임계치 결정을 위한 퍼지 규칙  
Table 2. Fuzzy rules for determining thresholds.

No	Rules
1	IF contrast is high and brightness is low THEN threshold is low
2	IF contrast is medium and brightness is low THEN threshold is low
3	IF contrast is high and brightness is medium THEN threshold is low
4	IF contrast is medium and brightness is medium THEN threshold is medium
5	IF contrast is low and brightness is low THEN threshold is medium
6	IF contrast is high and brightness is low THEN threshold is medium
7	IF contrast is medium and brightness is high THEN threshold is high
8	IF contrast is low and brightness is low THEN threshold is high
9	IF contrast is low and brightness is low THEN threshold is high



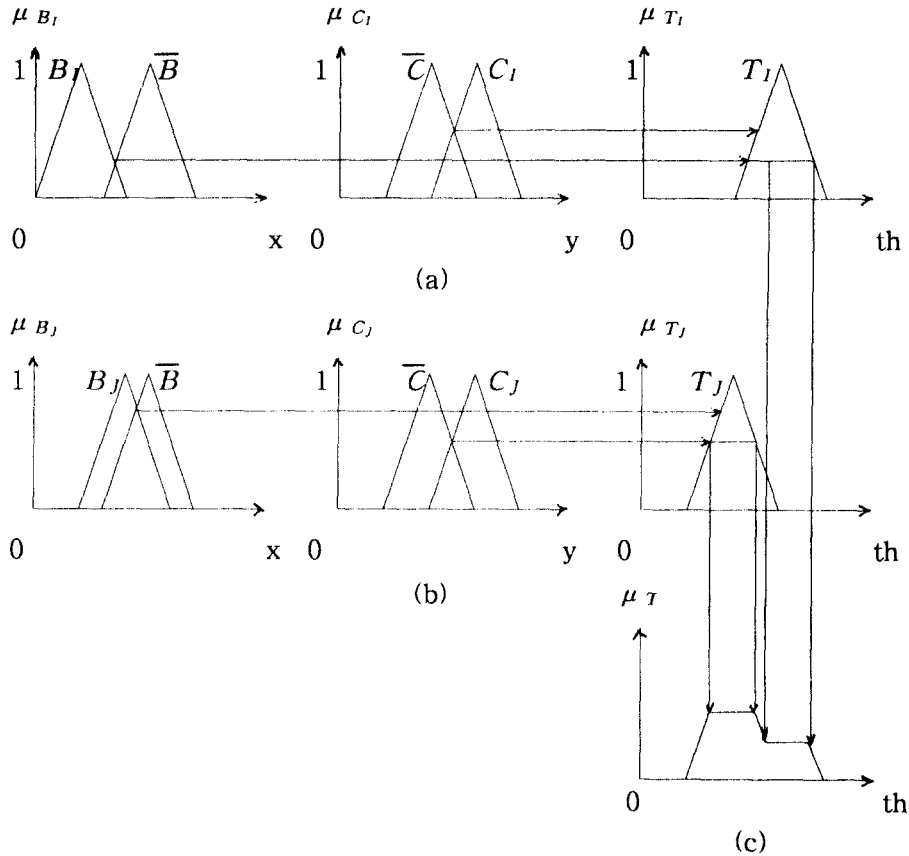


그림 6. 퍼지 추론 과정  
Fig. 6. Fuzzy reasoning process.

#### 4. 실험 결과 및 검토

실험에 사용된 영상은 크기가  $256 \times 256$  화소의 256 등급의 명암도를 갖는 그림 7의 GIRL, LENA, MANDRILL, PEPPER, BUILDING, SAIL, 그리고 MODEL 영상이다. 그림 8은 GIRL 영상에 대해 여러 연산자를 적용한 후 적절한 임계치를 사용하여 이진화한 결과 영상과 본 논문에서 제안된 퍼지 임계치 추론 방법을 이용한 결과 영상이다. 그림 8(a)를 보면, Van Vliet 등<sup>[2]</sup>에 의해 제안된 nonlinear gradient 연산자는 뱀리를 중심으로 특징점들이 양쪽에서 추출되고, 다른 연산자들에 비해 비교적 두껍게 추출되며, 국

부적인 밝기를 고려하지 않았기 때문에 어두운 부분의 특징점들은 잘 추출하지 못한다. 그림 8(b)는 Van Vliet 등<sup>[2]</sup>이 제안한 nonlinear Laplace 연산자를 적용한 결과이다. 이 그림은 Laplace 연산자에 비하여 잡음에 덜 민감하며, nonlinear gradient 연산자에서 발생하는 특징점들의 편이(shift)가 제거되는 효과가 있으나, 고립점이 많이 발생하고 국부적인 밝기를 고려하지 않기 때문에 어두운 영역의 특징점들을 잘 추출하지 못하고 있음을 알 수 있다. logical Laplace 연산자는  $3 \times 3$  창내의 주위화소에서 중심화소를 뺀 차이가 클수록 가중치를 크게 줌으로써 밝기의 변화가 아주 작은 화소를 예지로 판단하지 않게 하는 특징을 지닌다. 이 연산자는 국부적인 밝기를 고려하지 않는데, 이를 적



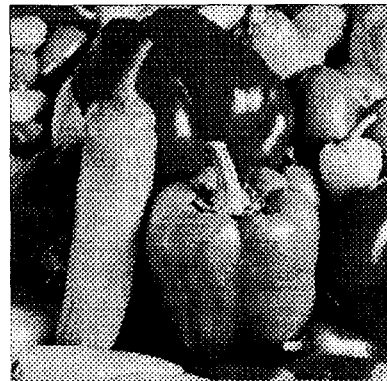
(a)



(b)



(c)



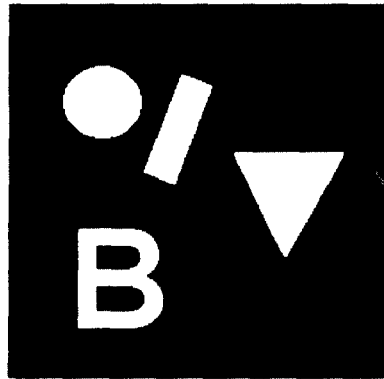
(d)



(e)



(f)



(g)

그림 7. 실험에 사용된 영상들: (a) GIRL, (b) LENA, (c) MANDRILL, (d) PEPPER, (e) BANK, (f) SAIL 및 (g) MODEL  
Fig. 7. Images used in experiments: (a) GIRL, (b) LENA, (c) MANDRILL, (d) PEPPER, (e) BANK, (f) SAIL, and (g) MODEL.



(a)  $th=20$



(b)  $th=20$



(c)  $th=17500$ ,  $weighting=x^3$



(d)  $th=0.9917$

(e)  $th1=2.4, th2=15$ 

(f) fuzzy thresholding

그림 8. GIRL 영상에 대해 각 연산자와 제안된 방법을 적용하여 이진화한 결과들

(a) Nonlinear gradient, (b) Nonlinear laplace, (c) Logical laplace, (d) Entropy, (e) DIP operator 및 (f) 제안한 방법.

Fig. 8. Results of the binary thresholding output applying

(a) Nonlinear gradient, (b) Nonlinear laplace, (c) Logical laplace, (d) Entropy, (e) DIP operator, and (f) Proposed method to GIRL image.



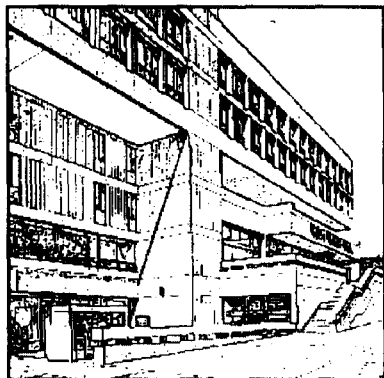
(a)



(b)



(c)



(d)

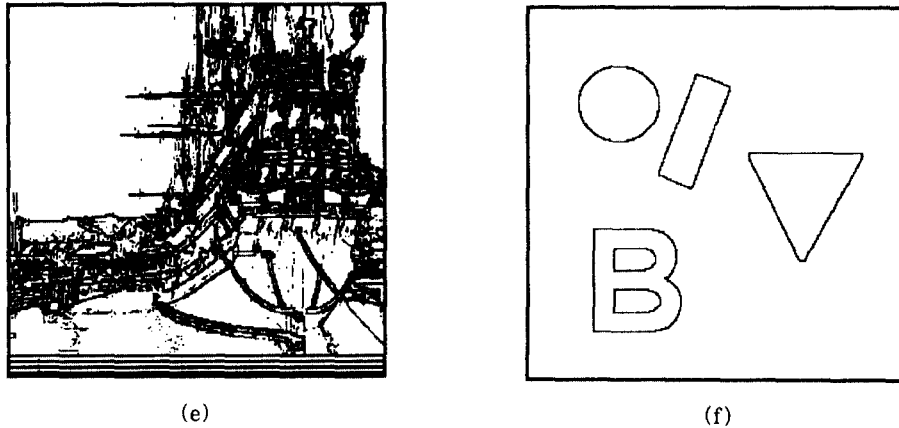


그림 9. 제안된 퍼지 임계치 추론방법을 그림 7(b), 7(c), 7(d), 7(e), 7(f) 및 7(g)에 적용한 결과들  
 Fig. 9. Results of applying proposed fuzzy threshold reasoning method to Fig. 7(b), 7(c), 7(d), 7(e), 7(f), and 7(g).

용하여 이진화한 그림 8(c)를 보면 다른 Laplace 연산자들 보다는 고립점이 적고 잡음에도 강하지만 얼굴부분이 여전히 지저분함을 알 수 있다. 그림 8(d)는 국부적인 밝기를 고려하는 엔트로피 연산자를 적용하여 이진화한 결과이다. 이 그림은 밝기의 변화 뿐만 아니라 국부적인 밝기를 고려해 주기 때문에 어두운 영역의 특징점들은 매우 잘 검출하지만, 특징점들을 지나치게 두껍게 검출하며 수행시간이 길고 실현이 용이하지 못한 단점이 있다. 그림 8(e)는 DIP 연산자를 사용하여 적절한 임계치로 이진화한 결과이다. 이 연산자는 국부적인 밝기를 고려하여 같은 밝기의 변화에서도 어두운 부분의 특징점들을 잘 추출하며 수행이 간단하지만, 어두운 영역일수록 DIP가 큰 값을 가지게 되므로 어두운 영역의 특징점들은 비교적 두껍게 검출되며, 또다른 임계치를 설정해야 하는 단점이 있다.

이와 같이 기존의 연산자들은 이진화 영상을 얻기 위하여 임계치와 같은 변수의 값을 적절히 선택해야 하며, 국부적인 밝기를 고려하지 않거나 또다른 임계치를 결정해야 하는 등, 특징점 추출에 따른 문제점을 지니고 있다.

따라서, 본 논문에서는 명암대비 측정자와 국부적인 밝기를 입력 측정자로 사용하고 임계치의 정도를 출력 측정자로 사용하여 제안된 퍼지규칙에 따라 임계치를 결

정하여 특징점을 추출하였고, 그림 8(f)가 이진화된 그 결과 영상이다. 이를 보면, 국부적인 밝기를 입력 측정자로 사용 하였으므로 밝은 부분 뿐만 아니라 어두운 부분(특히 눈, 목아래의 옷깃부분, 가슴의 입사귀 부분)의 특징점들을 매우 잘 추출하고 있으며, 추출된 특징점들이 영상 전반에 걸쳐 매우 미세함은 제안된 명암대비 측정자가 지니는 임펄스 응답 특성에 부합하고 있음을 보여주고 있다. 또한 제안된 임계치 측정자로 인해서 영상의 종류에 상관없이 적용될 수 있다는 타당성을 보이고, 본 논문에서 제안한 퍼지 임계치 추론기에 의한 특징점 검출이 넓은 영역의 명암변화를 갖는 영상에서 뿐만 아니라 처리할 입력 영상이 지니고 있는 내용의 복잡도에도 상관없이 매우 잘 반응하고 있음을 입증하기 위하여, 여러 영상에 적용된 결과 영상들을 그림 9에 제시하였다. 이로써, 본 논문에서 제안한 퍼지 임계치 추론기는 입출력 측정자에 따라 특징점들을 매우 잘 추출하고 있음을 알 수 있다.

## 5. 결 론

본 논문에서는, 조각자가 개입하지 않고도, 어두운 부분의 특징점들에 더욱 민감한 인간의 시각특성을 고려하고 영상의 내용에 상관없이 스케치 특징을 추출할 수 있

도록, 퍼지추론을 통해서 화소 단위의 임계치를 결정하는 방법을 제안하였다. 이를 위해, 명암대비와 국부적 밝기를 나타내는 입력 측정자와 임계치의 정도를 나타내는 출력 측정자가 제안되었다. 제안된 측정자는 특징점들을 미세하게 추출할 뿐만 아니라, 어두운 부분에서도 특징점에 잘 반응하도록 임계치를 추론한다. 뿐만 아니라, 임계치 결정을 위한 입출력 소속함수는 제안된 연산자를 입력 영상에 적용하여 구성된 히스토그램과 표준편차에 입각하여 정의되므로, 영상의 종류에 상관없이 제안된 퍼지 임계치 추론기를 사용할 수 있다.

또한, 임계치 선택을 필요로 하는 기존의 모든 특징점 추출 연산자가 본 논문에서 제안된 명암대비 측정자로 사용되고, 사용되는 연산자에 따라 입출력 소속함수를 동조(tuning)시키면 제안된 퍼지 임계치 추론기에 의해 자동으로 국부 영역에서의 임계치가 결정될 수 있으며, 이 임계치에 의해 입력영상의 모든 특징점들이 보다 잘 검출될 수 있다.

이로써 본 논문에서는, 기존의 특징점 추출 연산자를 사용할 때 발생하는 임계치 선택의 신뢰도 문제를 개선시켜 특징점들을 가늘게 추출할 뿐만 아니라, 인간의 시각 특성에 근거하여 특징점을 추출하는 퍼지 임계치 추론기를 설계하였다. 앞으로의 과제는 퍼지추론 과정을 신경회로망으로 구성하여 실시간 처리를 실현하는 것이다.

### 參考文獻

1. A. Rosenfeld and A.C. Kak, Digital Picture Processing, Academic Press, vol. 2, New York, 1982.
2. L.J. Van Vliet and I.T. Young, "A nonlinear laplace operator as edge detector in noisy images," *Comp. Vision, Graphic and Image Processing*, vol. 45, pp.167-195, 1989.
3. A. Shiojaki, "Edge extraction using entropy operator," *Computer Vision, Graphic and Image Processing* 36, pp.1-9, 1986.
4. Y.J. Ryoo and N.C. Kim, "A valley operator for extracting sketch features: DIP," *IEEE Eletron. Lett.*, vol. 24, pp.461-463, Apr. 1988.
5. J.S. Wezka, "A survey of threshold selection," *Computer Graphics and Image Processing* 7, pp 259-265, 1978.
6. M.K. Kundu and S.K. Pal, "Thresholding for edge detection using human psychovisual phenomena," *Pattern Recognition Letters*, vol. 4, pp.433-441, Dec. 1986.
7. S.M. Cho, S.M. Koo, and J.H. Cho, "Fuzzy reasoning of local threshold values for extracting sketch features," *IEEE International Workshop on Intelligent Signal Processing and Communication Systems*, Oct. 1994.
8. S.M. Cho and J.H. Cho, "Thresholding for Edge Detection Using Fuzzy Reasoning Technique," *IEEE ICCS*, Nov. 1994.
9. R. Krishnapuram and F. C. Rhee, "Compact fuzzy rule base generation methods for computer vision," *IEEE international conference on fuzzy systems*, vol. 2, pp.809-814, Mar./Apr., 1993.
10. J. Maiers and Y.S. Sherif, "Applications of fuzzy set theory," *IEEE Trans. Syst., Man, Cebern.*, vol. SMC-15, pp.175-189, Jan./Feb. 1985.
11. S.M. Cho, J.H. Cho, and K.I. Lee, "Variable threshold selection in conditional smoothing through fuzzy reasoning," *The first joint conference and exhibition on artificial intelligence, neural networks and fuzzy system*, pp.53-61, 1991.
12. M. Schneider and M. Craig, "On the use of fuzzy sets in histogram equalization," *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 45, pp.271-278, 1992.
13. J. Feng, W.C. Lin, and C.T. Chen, "Epicardial boundary detection using fuzzy reasoning," *IEEE Trans. MI-10*, pp.187-199, Jun. 1991.



**曹聖穆(Sung Mok Cho)**정희원

1988년 2월 : 경북대학교 전자공학과(공학사)

1990년 2월 : 경북대학교 대학원 전자공학과(공학석사)

1995년 2월 : 경북대학교 대학원 전자공학과(공학박사)

1992년 3월~현재 : 동명전문대학(전임강사 - 조교수)

※주관심 분야 : 영상처리, 퍼지이론, 신경회로망



**曹辰鎬(Jin Ho Cho)** 정희원

1977년 2월 : 경북대학교 공과대학 공업교육과(전기전공)(공학사)

1979년 8월 : 경북대학교 대학원 전자공학과(공학석사)

1988년 2월 : 경북대학교 대학원 전자공학과(공학박사)

1984년 4월~현재 : 경북대학교 전자공학과 (전임강사 - 부교수)

1992년 2월~현재 : 경북대학교병원 의공학실장

※주관심 분야 : 의료영상 및 신호처리, 센서의료분야 응용 등임.