

스케치특징 추출을 위한 DBAH 연산자와 임계치의 퍼지추론

조 성 목[†]

요 약

본 논문에서는 계산이 간단하면서 효과적으로 스케치 특징을 추출할 수 있는 새로운 연산자 DBAH(difference between arithmetic mean and harmonic mean)를 제안하고, 임계치를 자동으로 결정하는 퍼지 임계치 추론기를 제안한다. 제안한 연산자는 국부 밝기를 고려하며, 매우 어두운 영역에서의 작은 밝기변화에서는 낮은 출력을 나타내는 장점을 가진다. 또한 제안된 퍼지 임계치 추론기는 조작자의 개입 없이도 스케치 특징점을 매우 잘 검출한다.

DBAH operator and fuzzy reasoning of thresholds for extracting sketch features

Sung-Mok Cho[†]

ABSTRACT

A new simply computable operator named DBAH (difference between arithmetic mean and harmonic mean) and fuzzy reasoning technique of local thresholds for extracting sketch features are proposed in this paper. The DBAH operator provides some advantages, for example dependence on local intensities and small responses with small rates of intensity change in very dark regions. Also, the proposed fuzzy reasoning technique has a good performance extracting sketch features without human intervention.

1. 서 론

영상에 있어서 에지와 밸리는 동영상의 코딩과 전송, 영상의 해석 및 분할 등에 널리 사용되며 영상을 분석하고 이해하는 데 있어서 매우 중요한 특징들이다.^[1-2] 특히, 사람의 시각은 밝은 부분보다는 어두운 부분의 에지 및 밸리에 민감하기 때문에 사람의 인식 체계에 근거하여 물체를 인식하고 해석하기 위해서

는 국부적 밝기가 고려된 에지 및 밸리를 추출해야 한다.^[3]

특징점을 추출하는 연산자는 1차 미분 연산자, 2차 미분 연산자 및 국부 밝기를 고려하는 연산자로 분류될 수 있다. 1차 및 2차 미분 연산자는 연산자의 출력이 화소의 밝기 변화에만 의존하기 때문에 피사체에 비치는 조명의 밝기가 균일하지 않은 영상에서 어두운 부분의 스케치 특징을 추출하는 데는 적합하지 않다. 국부밝기를 고려하는 연산자로는 Shiojaki^[4]가 제안한 엔트로피 연산자, Ryoo 등^[5]이 제안한 DIP (difference of inverse probabilities) 연산자 및 Johnson^[6]이 제안한 명암기반(contrast based) 연산자 등이 있

※ 본 논문은 1996년도 동명전문대학 학술연구 조성비로 연구되었음

† 정 회 원: 동명전문대학 전자과

논문접수: 1996년 5월 25일, 심사완료: 1996년 7월 24일

다. 그러나 이들 연산자는 계산량의 부담이 과중하여 수행시간이 매우 길거나, 어두운 영역에서 불필요한 특징점이 추출되는 것을 방지하기 위하여 또다른 변수를 사용한다.

본 논문에서는 단일 변수로써도 밝기변화 뿐만 아니라 국부밝기를 고려하여 스케치 특징을 추출할 수 있고 계산이 간단한 새로운 DBAH 연산자를 제안한다. 아울러, 이진 영상을 얻기 위한 단일변수인 화소 단위의 국부 임계치를 자동으로 결정하는 퍼지 임계치 추론기를 설계한다. 여기서 DBAH 연산자는 각 화소의 명암대조를 측정하는 퍼지 입력 변수로 사용되고, 국부 영역내의 각 화소가 갖는 DBAH 평균과 중심화소가 갖는 DBAH 값과의 차이는 각 화소를 에워싼 국부 영역에서의 스케치 특징점 정도를 측정하기 위한 퍼지 입력 변수로 사용되어 국부 임계치를 추론한다.

실험결과 제안한 DBAH 연산자는 연산이 매우 간단하지만 기존의 연산자보다 스케치 특징을 잘 추출함을 보여주었으며, 제안된 퍼지 임계치 추론기는 다양한 표준영상과 합성영상에 대해 실험하여 우수한 성능을 나타내었다.

2. 기존의 특징 추출 연산자

기존의 특징 추출 연산자 중 1차 미분연산자는 그림 1의 3×3 국부 영역에서

$$NG(i, j) = f_{\max}(i, j) - f(i, j), \tag{1}$$

이다. 여기서, $NG(i, j)$ 는 스케치 특징점 값이며, $f_{\max}(i, j)$ 및 $f(i, j)$ 는 각각 3×3 창 내에서 최대 화소값과 중심화소값을 나타낸다. 이 연산자는 다른 연산자들에 비해 연산속도가 매우 빠른 장점이 있으나, 추출되는 스케치 특징점이 두꺼워 세선화를 필요로 할 뿐만 아니라 국부적인 밝기를 고려하지 않는다.

2차 미분 연산자는 고립점이 많이 생기고 잡음에 약하며, 국부적인 밝기를 고려하지 않는 단점이 있다. 비선형 Laplace 연산자^[7], 논리적 Laplace 연산자^[8]는 그림 1의 3×3 국부영역에서 식 (2) 및 식 (3)으로 정의된다.

$f(i-1, j-1)$	$f(i-1, j)$	$f(i-1, j+1)$
$f(i, j-1)$	$f(i, j)$	$f(i, j+1)$
$f(i+1, j-1)$	$f(i+1, j)$	$f(i+1, j+1)$

(그림 1) 3×3 창
(Fig. 1) 3×3 window

$$NL(i, j) = f_{\max}(i, j) + f_{\min}(i, j) - 2f(i, j), \tag{2}$$

$$LL(i, j) = L_1[f(i-1, j-1) - f(i, j)] + L_2[f(i-1, j) - f(i, j)] + L_1[f(i-1, j+1) - f(i, j)] + L_2[f(i, j-1) - f(i, j)] + L_2[f(i, j+1) - f(i, j)] + L_1[f(i+1, j-1) - f(i, j)] + L_2[f(i+1, j) - f(i, j)] + L_1[f(i+1, j+1) - f(i, j)] \tag{3}$$

여기서, $NL(i, j)$ 및 $LL(i, j)$ 는 각각 비선형 Laplace 연산자 및 논리적 Laplace 연산자의 출력 값이며, $f_{\min}(i, j)$ 는 그림 1의 3×3 창내에서 최소 화소값이고 $L_1(x)$ 와 $L_2(x)$ 는 x^3 과 같은 비선형 함수이다.

엔트로피 연산자는 그림 1의 3×3 국부 영역에서

$$H(i, j) = -\sum_{m=-1}^1 \sum_{n=-1}^1 P(i+m, j+n) \log P(i+m, j+n) / \log 9, \tag{4}$$

에 의해 명암도의 엔트로피를 계산한다. 여기서,

$$P(i, j) = f(i, j) / \sum_{m=-1}^1 \sum_{n=-1}^1 f(i+m, j+n). \tag{5}$$

엔트로피 연산자는 밝기의 변화가 큰 영역에서 낮은 출력값을 나타내고 밝기의 변화가 작은 영역에서는 큰 출력값을 나타낸다.

DIP 연산자는 그림 1의 3×3 국부 영역에서

$$DIP(i, j) = \left[\sum_{m=-1}^1 \sum_{n=-1}^1 f(i+m, j+n) \right] / f(i, j) - \left[\sum_{m=-1}^1 \sum_{n=-1}^1 f(i+m, j+n) \right] / f_{\max}(i, j) \tag{6}$$

이다. DIP 연산자는 국부 영역내의 최대 화소값과 중심 화소값의 확률을 이용함으로써 밝기의 변화 뿐만 아니라 국부적 밝기를 고려하게 된다.

Johnson은 기존의 1차 미분 연산자를 변형하여 국부적 밝기를 반영하는 명암대조기반 연산자

$$CB(i, j) = \frac{Gradient(i, j)}{local\ mean + \alpha} \quad (7)$$

를 제안하였다. 여기서, $Gradient(i, j)$ 는 앞에서 언급한 1차 미분 연산자의 기울기를 나타내며, 는 매우 어두운 영역에서 잡음에 반응하는 민감성과 입력 영상에 대한 연산자의 동적 범위 (dynamic range)를 동시에 고려하여 적절히 조절해야 할 감도제한 변수이다.

3. 제안된 DBAH 연산자

1. DBAH 연산자

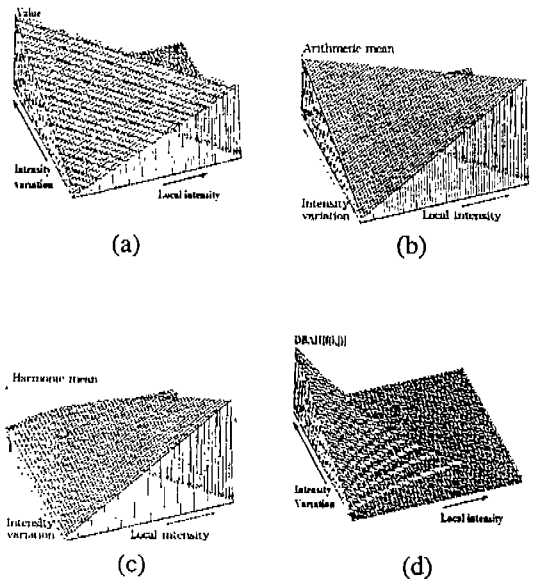
지금까지 살펴 본 1차 미분 연산자와 2차 미분 연산자는 국부적인 밝기를 고려하지 않으며, 엔트로피 연산자는 스케치 특징점을 두껍게 추출될 뿐만 아니라 수행시간이 매우 길며 실현이 용이하지 못한 단점을 가지고 있다. 또한, 명암대조기반 연산자와 DIP 연산자는 매우 어두운 영역에서의 미세한 밝기 변화를 스케치 특징점으로 판단하는 것을 방지하기 위해 또다른 변수를 사용하게 된다.

그러므로 특징점 추출시 수행이 간단하면서도 국부적인 밝기를 고려하고 단일 변수로도 특징점을 잘 추출할 수 있는 연산자를 얻기 위하여, 국부 영역내의 최대 화소값과 중심 화소값의 산술평균과 조화평균이 갖는 성질에 주목할 필요가 있다. 그림 2(a)는 영상에서 표현될 수 있는 모든 가능한 경우를 나타낸다. 그림 2(a)에서 국부 영역내의 최대 화소값과 중심 화소값으로 계산되는 산술 평균값은 그림 2(b)에서와 같이 밝기 차이가 클수록 높은 값을 가지며, 국부 밝기가 증가할수록 높은 값을 가진다. 또한 그림 2(c)에서와 같이 조화 평균값은 국부 밝기가 증가할수록 높은 값을 가지며, 그 증가 추세는 밝기 차이가 작을수록 국부 밝기의 증가에 따라 선형적으로 증가한다. 또한 밝기 차이가 클수록 국부 밝기의 증가에 따라 비선형 증가 현상이 두드러진다. 그러므로 산술 평균값과 조화 평균값의 차를 구하면 그림 2(d)에서 나타듯이 밝기 차이가 증가하거나 국부 밝기가 어두울수록 출력값은 증가하는 특성이 나타난다. 그리고 밝기 변화가 작은 영역일수록 산술 평균과 조화평균의

차이는 작아지므로 영상습득 과정에서 유입될 수 있는 잡음의 영향을 배제할 수 있는 성질도 갖게 되어, 기존의 국부 밝기를 고려하는 연산자에서 필요로 하는 감도조절 변수를 사용하지 않아도 된다. 따라서 이와같은 현상을 이용하면 국부 밝기를 고려하면서 밝기 변화에 따라 적절하게 반응하여 특징점을 추출할 수 있는 연산자를 만들 수 있다. 따라서, 제안된 DBAH 연산자는 3×3 국부영역 내의 최대 화소값과 중심 화소값의 산술 평균과 조화평균의 차에 따라

$$DBAH(i, j) = \frac{f_{max}(i, j) + f(i, j)}{2} - \frac{2f_{max}(i, j)f(i, j)}{f_{max}(i, j) + f(i, j)} \quad (8)$$

로 정의된다.



(그림 2) (a) 영상에서 나타날 수 있는 가능한 모든 현상 : 및 (b) 산술평균의 출력 : (c) 조화평균의 출력 : (d) DBAH 연산자의 출력 특성
 (Fig. 2) (a) All possible phenomena appearing in an image : (b) Output of arithmetic mean : (c) Output of harmonic mean : and (d) Output characteristics of DBAH operator

4. 국부 임계치의 퍼지추론

1. 특징점 추출을 위한 임계치의 설정

일반적으로 임계치를 설정하는 방법에는 모드법과 P타일법 그리고 가변 임계치법 등⁹⁻¹⁰⁾이 있다. 그런데, 히스토그램은 입력 영상에 따라 다양하게 변화하기 때문에 모드 법에 의한 임계치의 결정이 매우 어려워지며, P 타일 법과 가변 임계치 방법은 입력 영상에 대한 사전 정보를 알아야만 적절한 임계치의 설정이 가능하다. 따라서, Haralick 등¹¹⁾은 화소 (i, j)에서의 가변 임계치를

$$\theta(i, j) = \frac{\sum_{i=-n}^n A(i, j)}{n \times n} \left(1 + \frac{p}{100}\right) \quad (9)$$

로 제안하였다. 여기서, $n \times n$ 은 창 크기를 나타내며 p는 확률을 나타낸다. 또한, Kundu 등¹²⁾은 입력 영상의 밝기를 Devris-Rose 영역, Weber 영역 및 포화 영역으로 나누고, 밝기의 변화와 함께 국부밝기를 고려한 국부임계치로 식 (10)을 제안하였다.

$$E(i, j) = 1 \text{ if } \frac{\Delta B}{\sqrt{B}} \geq K \sqrt{\alpha_2 B_t} \text{ when } \alpha_1 B_t \leq B \leq \alpha_2 B_t$$

$$\text{or if } \frac{\Delta B}{B} \geq K \text{ when } \alpha_2 B_t \leq B \leq \alpha_3 B_t$$

$$\text{or if } \frac{\Delta B}{B^2} \geq \frac{K}{\alpha_3 B_t} \text{ when } B \geq \alpha_3 B_t \quad (10)$$

$$E(i, j) = 0 \text{ otherwise}$$

여기서,

$$B = \sum_{i=-n}^n \sum_{j=-n}^n \frac{I(i, j)}{n \times n}, \Delta B = |I(i, j) - B|$$

$$0 < \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3 < 1, B_t = I(i, j)_{\max} - I(i, j)_{\min} \quad (11)$$

$$K = \frac{1}{100} \beta \left(\frac{\Delta B}{B}\right)_{\max}$$

이며, β 는 대략 2 정도이다. 이 방법은 효과적인 스케치 특징점의 추출이 가능하지만 α_1, α_2 및 α_3 의 값과 β 의 값 등 4개의 변수를 영상에 따라 다르게 결정해 주어야 하는 단점이 있다.

2. 퍼지 측정자와 입출력 소속함수

한 영상 안에는 넓은 영역에 걸쳐 명암변화가 일어나고 다양한 유형의 물체가 포함되어 있으므로 스케치 특징점 유무를 판별하는 임계치의 결정에는 단순히 애매모호함이 존재한다. 또한, 각 화소가 가지는 명암값은 퍼지 단함수 (fuzzy singleton)로 볼 수 있으며¹³⁾, 임계치 결정을 위한 처리 과정 또한 부정확성과 불확실성이 존재한다. 따라서, 본 논문에서는 퍼지 집합 이론을 적용하여 화소단위의 국부 임계치를 결정하는 퍼지 임계치 추론기를 제안한다. 본 논문에서 제안된 DBAH 측정자는 명암의 변화 뿐만 아니라 국부 밝기를 고려하여 같은 밝기 변화에서도 어두운 부분의 스케치 특징점에 더욱 민감하게 반응하기 때문에 국부 임계치를 선택하기 위한 명암대조 측정자로 이용되며, 3×3 창내의 DBAH 평균과 중심 화소의 DBAH 값과의 차이는 국부 영역에서의 스케치 특징점 정도와 관련이 있으므로 국부 임계치를 선택하기 위해 식 (12)와 같이 정의하여 입력 측정자로 이용된다.

$$\text{Degree of featureness}(i, j) \quad (12)$$

$$= \frac{1}{9} \sum_{l=-1}^1 \sum_{m=-1}^1 \text{DBAH}(i+l, j+m) - \text{DBAH}(i, j)$$

그런데, 국부 임계치를 결정하기 위하여 계산되는 식 (8)와 식 (12)의 값들은 경계짓기 어려운 매우 모호한 값들이므로 정성적이고 애매한 언어적 서술로 표현되고, 이들 값은 답음의 정도에 따라 소속함수를 갖는 퍼지집합으로 정의된다. 따라서, 본 논문에서는 입력변수와 추론값인 임계치의 정도를

$$\text{입출력 변수값} = \{ \text{“낮다”}, \text{“중간이다”}, \text{“높다”} \} \quad (13)$$

와 같이 언어적인 표현에 의한 퍼지 부분집합으로 분할하였다. DBAH로 계산되는 명암대조와 국부 영역에서의 DBAH 평균과 중심화소의 DBAH의 차이로 측정되는 스케치 특징점 정도 및 임계치를 나타내는 퍼지집합은 그림 3에서와 같다.

일반적으로 임계치를 결정할 때 사용하는 스케치 특징점강도 값은 입력영상에서 각 화소가 갖는 스케치 특징점 강도값 중 상위 15% 내외의 값이다. DBAH로 정의되는 명암대조의 정도는 스케치 특징점 유무와 직접 관련되는 측정자이므로, 명암대조를 나타내는 입력 소속함수는 이 값을 기준으로 결정하는 것이

타당하다. 따라서, DBAH 연산자를 입력영상에 적용하여 구한 히스토그램에서 상위 15%에 해당하는 값을 기준으로 하여 그림 3과 같이 각 c_i 의 값들을 실험적인 방법으로 동조 (tuning) 시켰다. 그리고, 국부 영역에서의 스케치 특징점 정도는 국부 영역의 DBAH 평균과 중심화소의 DBAH 평균의 차이를 입력 영상 전반에 걸쳐 구한 후 이들의 평균값과 표준편차를 이용하여 결정하였다. 또한, 영상에 따라 임계치가 다르게 설정되어야 하므로 입력 영상에서 구한 DBAH의 평균 값을 표준편차로 정규화하여 출력 소속함수를 결정하였다. 따라서 입력 영상에서 구한 DBAH 값의 히스토그램, DBAH의 평균, DBAH의 표준편차 및 영상 전반에 걸쳐 3×3 국부 영역에서 구한 DBAH 평균값과 중심화소의 DBAH값의 차이에 대한 평균값과 표준편차는 소속함수를 결정하는데 매우 중요한 정보를 제공해 준다.

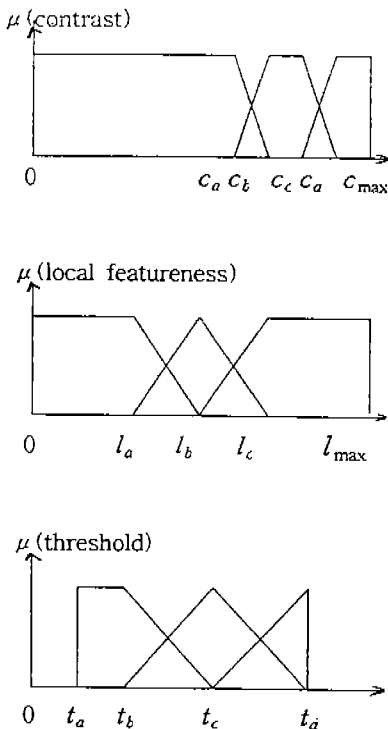
그림 3에서 c_a, c_b, c_c 및 c_d 는 DBAH 연산자를 입력 영상에 적용하여 구한 히스토그램에서 60%, 70%, 80% 및 90%에 해당하는 값으로 정의된다. l_b 는 3×3 영역내의 DBAH 평균과 중심화소의 DBAH 값의 차이를 영상 전반에 걸쳐서 구하고 이를 평균한 값으로 정의하고, l_a 및 l_c 는 이들의 표준편차를 구하여 평균값에서 ± 0.5 배의 표준편차 값으로 정의 하였다. 또한 t_a, t_b, t_c 및 t_d 는 영상에 따라 다르게 설정되어야 하므로 DBAH 연산자를 입력 영상에 적용하여 구한 값들의 평균값을 표준편차로 정규화하여 식 (14)와 같이 정의하였다.

$$t_a = \frac{\text{mean of DBAH's}}{\text{standard deviation of DBAH's}}$$

$$t_b = \frac{\text{mean of DBAH's} + 1.5}{\text{standard deviation of DBAH's}}$$

$$t_c = \frac{\text{mean of DBAH's} + 2}{\text{standard deviation of DBAH's}}$$

$$t_d = \frac{\text{mean of DBAH's} + 2.5}{\text{standard deviation of DBAH's}}$$
(14)



(그림 3) 입력출력 퍼지 소속함수

(Fig. 3) Input and output fuzzy membership functions

임계치를 추론하기 위한 제어목표를 달성하기 위하여, 영상이 갖고 있는 특징들에 의거하여 작성된 제어규칙들은 표 1에서와 같다. 여기서, C는 명암대조 정도를 나타내는 퍼지 입력 변수이며 L은 국부 영역에서의 특징점 정도를 나타내는 퍼지 입력 변수이다.

따라서, 국부 임계치는 입력변수로 정의된 각 측정값에 대하여 표 1에 따른 퍼지규칙을 이용하여 그림 3의 퍼지집합의 형태로 개략적인 추론을 한 후 최대-최소 합성법을 이용하여 임계치를 결정하고, 그 결과로 도출된 퍼지집합은 무게중심법(moment method)에 의해 역퍼지화 된다.

<표 1> 국부 임계치 결정을 위한 퍼지 규칙
(Table 1) Fuzzy rules for determining local thresholds

L \ C	C		
	Low	Medium	High
Low	High	High	Medium
Medium	High	Medium	Low
High	Medium	Low	Low

5. 실험 결과 및 검토

제안한 연산자의 성능을 평가하고 분석하기 위하여 식 (15)로 표현되는 Pratt^[12]의 특징지수(feature of merit)와 잡음에 따른 특징화소의 추출정도, 특징화소의 오추출, 미추출 및 연산자의 면역성 정도를 측정하기 위하여 Hararick 등^[3]에 의해 제안된 식(16), 식(17), 식(18) 및 식(19)을 이용하였다.

$$FOM = \frac{1}{\max(N_b, N_A)} \sum_{i=1}^{N_A} \frac{1}{1 + \delta d_i^2} \quad (15)$$

$$P_{FF} = P(\text{detected feature} | \text{true feature}), \quad (16)$$

$$P_{NF} = P(\text{non-feature} | \text{true feature}), \quad (17)$$

$$P_{FN} = P(\text{detected feature} | \text{non-feature}), \quad (18)$$

$$P_{NN} = P(\text{not detected feature} | \text{non-feature}), \quad (19)$$

성능평가를 위한 영상은 256 × 256의 크기에 x² + 40의 특징선의 높이를 갖는 합성영상에 대해 실험하였고 표 2, 표 3, 표 4 표 5 및 표 6의 결과를 얻었다. 여

〈표 2〉 특징지수

〈Table 2〉 Figure of merit

Hight of features	Operator		DBAH	DIP	Entropy	Johnson
	Noise variance					
x ² + 40	5		0.9226	0.8786	0.8517	0.8625
	10		0.7841	0.7797	0.6231	0.8316
	25		0.5244	0.6206	0.3312	0.6514

〈표 3〉 특징점이 아닐 때 특징점이 아니라고 판단할 확률
〈Table 3〉 Probability that non-features do not extracted as features

Hight of features	Operator		DBAH	DIP	Entropy	Johnson
	Noise variance					
x ² + 40	5	P _{NN}	0.993	0.992	0.978	0.979
		Th	(0.29)	(0.99, 0.8)	(0.9989)	(13, 0.5)
	10	P _{NN}	0.983	0.981	0.966	0.976
		Th	(0.53)	(0.99, 11)	(0.9985)	(15, 0.5)
	25	P _{NN}	0.969	0.972	0.955	0.967
		Th	(1.07)	(0.99, 17)	(0.9967)	(20, 0.57)

〈표 4〉 특징적인 화소를 특징점으로 추출할 확률

〈Table 4〉 Probability that True features are extracted as features

Hight of features	Operator		DBAH	DIP	Entropy	Johnson
	Noise variance					
x ² + 40	5	P _{FF}	0.83	0.78	0.55	0.68
		Th	(0.29)	(0.99, 0.8)	(0.9989)	(13, 0.5)
	10	P _{FF}	0.69	0.71	0.36	0.68
		Th	(0.53)	(0.99, 11)	(0.9985)	(15, 0.5)
	25	P _{FF}	0.39	0.55	0.15	0.47
		Th	(1.07)	(0.99, 17)	(0.9967)	(20, 0.57)

〈표 5〉 특징점이 아닌 화소를 특징점으로 추출한 확률

〈Table 5〉 Probability that non-features are extracted as features

Hight of features	Operator		DBAH	DIP	Entropy	Johnson
	Noise variance					
x ² + 40	5	P _{FN}	0.007	0.008	0.022	0.021
		Th	(0.29)	(0.99, 0.8)	(0.9989)	(13, 0.5)
	10	P _{FN}	0.017	0.019	0.036	0.024
		Th	(0.53)	(0.99, 11)	(0.9985)	(15, 0.5)
	25	P _{FN}	0.031	0.028	0.045	0.034
		Th	(1.07)	(0.99, 17)	(0.9967)	(20, 0.57)

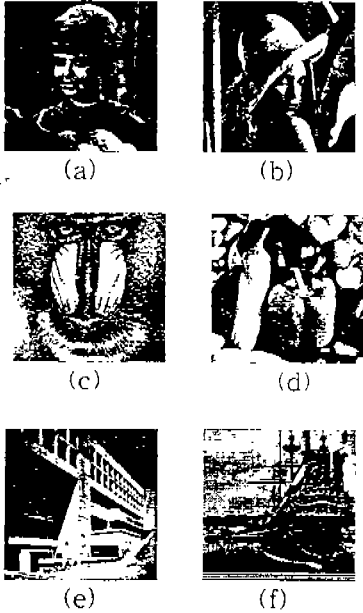
〈표 6〉 특징적인 화소를 특징점으로 추출하지 못한 확률

〈Table 6〉 Probability that true features do not extracted as features

Hight of features	Operator		DBAH	DIP	Entropy	Johnson
	Noise variance					
x ² + 40	5	P _{NF}	0.17	0.22	0.45	0.32
		Th	(0.29)	(0.99, 0.8)	(0.9989)	(13, 0.5)
	10	P _{NF}	0.31	0.29	0.64	0.32
		Th	(0.53)	(0.99, 11)	(0.9985)	(15, 0.5)
	25	P _{NF}	0.61	0.45	0.85	0.53
		Th	(1.07)	(0.99, 17)	(0.9967)	(20, 0.57)

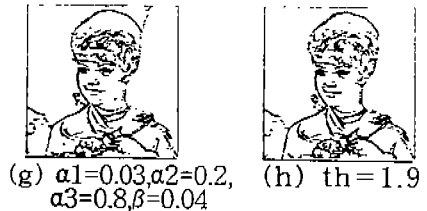
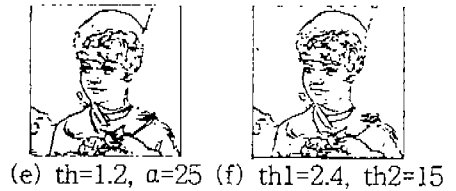
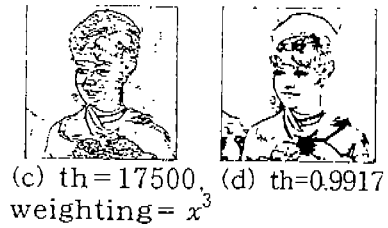
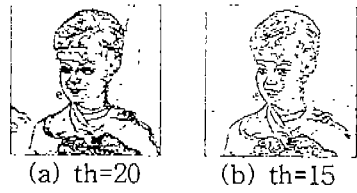
기서, x²은 다양한 특징선 높이를 생성하기 위한 변수이며, 40은 합성영상의 밝기분포가 어두운 영역에 지나치게 많이 분포하는 것을 방지하고 밝기분포를 256 그레이 분포에서 광범위하게 하기 위한 변위이다.

또한, 본 논문에서는 다양한 표준영상에 대하여 제안된 연산자와 퍼지 임계치 추론에 따른 실험을 하였다. 실험에 사용된 영상은 크기가 256×256 화소의 256등급의 명암도를 갖는 그림 4의 Girl, Lena, Baboon, Pepper, Bank, Sail 영상이다.



(그림 4) 실험에 사용된 영상들 : (a) Girl : (b) Lena : (c) Baboon : (d) Pepper : (e) Bank : 및 (f) Sail
(Fig. 4) Images used in experiment : (a) Girl : (b) Lena : (c) Baboon : (d) Pepper : (e) Bank : and (f) Sail

제안한 DBAH 연산자 및 여러 연산자를 Girl 영상에 적용한 후 적절한 임계치를 사용하여 이진화한 결과 영상은 그림 5에서와 같다. 그림 5(a)는 비선형 gradient 연산자의 결과영상으로 스케치 특징점이 다른 연산자들에 비해 비교적 두껍게 추출되었으며, 국부적인 밝기를 고려하지 않았기 때문에 어두운 부분의 특징점들은 잘 추출하지 못함을 나타낸다. 비선형 Laplace 연산자를 적용한 이진영상은 그림 5(b)에서와 같다. 이 결과영상은 비선형 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 나타낸다.



(그림 5) Girl 영상에 대해 각 연산자와 제안된 방법을 적용하여 이진화한 결과영상들 : (a) 비선형 gradient : (b) 비선형 Laplace : (c) 논리적 Laplace : (d) Entropy : (e) Johnson : (f) DIP : (g) Kundu 및 (h) DBAH

(Fig. 5) Results of the binarization applying : (a) Nonlinear gradient : (b) Nonlinear laplace : (c) Logical laplace : (d) Entropy : (e) Johnson : (f) DIP : (g) Kundu and (h) DBAH to Girl image

논리적 Laplace 연산자는 3×3 창내의 주위화소에 서 중심화소를 뺀 차이가 클수록 가중치를 크게 줌으로써 밝기의 변화가 아주 작은 화소를 스케치 특징점으로 판단하지 않게 하는 특징을 지닌다. 이 연산자의 결과영상인 그림 5(c)를 보면, 다른 Laplace 연산자들

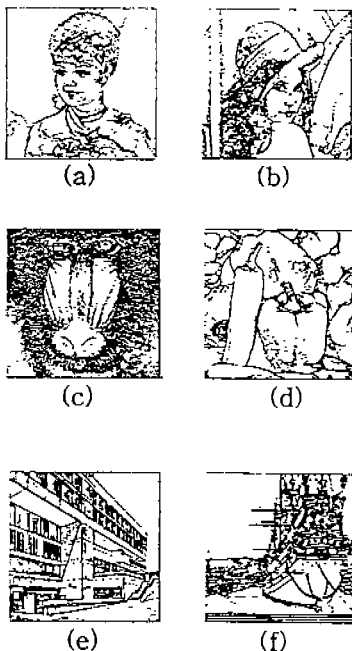
보다는 고립점이 적고 잡음에도 강하지만 얼굴부분이 여전히 지저분함을 나타내고 있으며 극부적인 밝기를 고려하지 않음을 볼 수 있다. 극부적인 밝기를 고려하는 엔트로피 연산자를 적용하여 이진화한 결과영상은 그림 5(d)에서와 같다. 이 그림은 밝기의 변화 뿐만 아니라 극부적인 밝기를 고려해 주기 때문에 어두운 영역의 특징점들은 매우 잘 추출하지만, 특징점들을 지나치게 두껍게 추출하며 수행시간이 길고 실현이 용이하지 못한 단점이 있다. Johnson이 제안한 명암대조기반 연산자의 결과영상인 그림 5(d)를 보면, 감도제한 변수에 의해 매우 어두운 부분에 존재하는 잡음에 대한 영향을 감소시켰으나 1차 미분 연산자를 이용하였으므로 스케치 특징점들을 두껍게 추출하고 있다. DIP 연산자를 사용하여 적절한 임계치로 이진화한 결과영상은 그림 5(f)에서와 같다. 이 연산자는 극부적인 밝기를 고려하여 같은 밝기의 변화에서도 어두운 부분의 특징점들을 잘 추출하며 수행도 간단하지만, 밝은 부분의 비교적 약한 스케치

특징점은 잘 추출하지 못한다. Kundu에 의해 제안된 가변 임계치의 사용에 의한 이진 영상은 그림 5(g)에서와 같다. 이 방법은 밝기에 따른 인간의 시각특성을 근사화시켜 임계치를 결정하므로 영상의 전영역에 걸쳐 스케치 특징점들을 매우 잘 추출하고 있음을 볼 수 있다. 그러나 이 방법은 영상에 따라 설정해야 하는 변수의 수가 많은 단점을 가지며 이들 변수의 값을 결정하기 위해서는 처리할 영상에 대한 사전정보를 필요로 한다. 본 논문에서 제안된 DBAH를 사용하여 이진화한 결과영상은 그림 5(h)에서와 같다. 이 결과영상은 제안된 DBAH 연산자가 어두운 영역의 스케치 특징점에 민감하게 반응할 뿐만 아니라 밝은 부분(왼쪽 어깨)의 스케치 특징점까지 추출하여 엔트로피 연산자나 DIP 연산자보다 동작 범위가 넓음을 보여준다. 또한 엔트로피 연산자를 적용한 결과와 달리 어두운 부분의 잡음에는 반응하지 않기 때문에 극부적 밝기를 고려하는 기존의 연산자들이 가지는 단점을 보완할 수 있음을 보여준다.

퍼지규칙에 따라 추론된 임계치를 사용하여 이진화한 그림 6의 결과 영상은 DBAH 연산자를 입력 측정자로 사용 하였으므로 밝은 부분 뿐만 아니라 어두운 부분의 스케치 특징점들을 매우 잘 추출하고 있음을 보여준다. 아울러, 그림 6은 제안된 퍼지 임계치 추론기에 의한 스케치 특징점 추출 방법이 조작자의 개입없이도 넓은 영역의 명암변화를 갖는 영상에서 뿐만 아니라 처리할 입력 영상이 지니고 있는 내용의 복잡도에도 상관없이 우수한 성능을 지니고 있음을 보여준다.

6. 결 론

본 논문에서는, 밝기 변화와 함께 극부적 밝기를 반영하여 스케치 특징을 추출하는 새로운 연산자를 제안하였다. 제안된 연산자는 극부영역에서의 최대 화소값과 중심 화소값의 산술평균과 조화평균의 차이로 정의되므로 계산이 매우 간단하고 실현이 용이하다. 뿐만 아니라, 극부밝기를 고려하는 기존의 연산자들과 달리 어두운 영역에서의 잡음에 민감하지 않으며 동작범위 또한 매우 넓은 장점을 지니고 있다. 따라서 제안된 연산자는 시각에 의한 영상의 인식이 이루어지는 의료영상의 해석 및 동영상 전송 등의 분



(그림 6) 제안된 퍼지 임계치 추론방법을 그림 4(a), 4(b), 4(c), 4(d), 4(e), 및 4(f)에 적용한 결과영상들
 (Fig. 6) Results of applying proposed fuzzy threshold reasoning method to Fig. 4(a), 4(b), 4(c), 4(d), 4(e), and 4(f)

야에 응용될 수 있으리라 기대된다.

아울러, 본 논문에서는 조각자의 개입없이도 영상에 알맞는 임계치가 설정되어 스케치 특징을 추출할 수 있도록 퍼지추론을 통해서 화소 단위의 임계치를 결정하는 퍼지 임계치 추론기를 제안하였다. 따라서, 임계치를 결정할 때 밝기 변화와 함께 국부 밝기가 고려되어 인간의 시각특성과 유사한 스케치 특징의 추출이 가능하며 국부 영역에서의 비교적 약한 특징점까지 추출할 수 있다. 제안된 퍼지 임계치 추론기는 조각자의 개입이 필요없이 자동으로 임계치가 결정되므로 인간과의 상호작용이 극히 제한된 분야에 매우 유용하게 응용될 수 있으리라 기대된다.

참고 문헌

[1] D. H. Ballard and C. M. Brown, *Computer vision*, Prentice Hall, Englewood, Cliffs, NY, 1982.

[2] D. E. Pearson and J. A. Robinson, "Visual commucation at very low data rates," *Proc. IEEE*, vol. 73, pp. 795-812, Apr. 1985.

[3] M. D. Levine, *Vision in Man and Machine*, McGrow-Hill, NY, 1985.

[4] A. Shiojaki, "Edgeextraction using entropy operator," *Comput. Vision, Graphic and Image Processing*, vol. 36, pp. 1-9, 1986.

[5] R. J. Ryoo and N. C. Kim, "Valley operator for extracting sketch features:DIP," *IEE Electron. Lett.*, vol. 24, pp. 461-463, Apr. 1988.

[6] R. P. Johnson, "contrast based edge detection," *Pattern Recog.*, vol. 23, No. 3, pp. 311-318, 1990.

[7] L. J. Van Vliet and I. T. Young, "A nonlinear Laplace operator as edge detector in noisy images," *Comput. Vision, Graphics and Image Processing*, vol. 45, pp. 167-195, 1989.

[8] G. S. Robinson, "Edge detection by compass gradient masks," *Comput. Graphics and Image Processing*, vol. 6, pp. 492-501, 1977.

[9] M. K. Kundu and S. K. Pal, "Thresholding for edge detection using human psychovisual phenomena," *Patt. Recogn. Lett.*, vol. 4, pp. 433-441,

1986.

[10] J. S. Wezka, "A survey of threshold selection," *Computer Vision Graphics and Image Processing* 7, pp. 259-265, 1978.

[11] S. K. Pal and R. A. King, "Image enhancement using smoothing with fuzzy sets," *IEEE Trans. Syst., Man and Cybern.* vol. 11, no. 7, pp. 491-501, Jul 1981.

[12] W. K. Pratt, *Digital Picture Processing*, John Wiley and Sone Inc., New York, 1992.



조성목

1988년 경북대학교 전자공학과 공학사
 1990년 경북대학교 대학원 전자과 공학석사
 1995년 경북대학교 대학원 전자과 공학박사
 1992년 3월~현재 동명전문대학 전자과(전임강사~조교수)

관심분야: 퍼지이론, 신경회로망, 영상처리 등