

스케치 특징의 추출을 위한 밸리 연산자

(A Valley Operator for Extracting Sketch Features)

柳 榮 鎮*, 金 南 哲**

(Young Jin Ryoo and Nam Chul Kim)

要 約

국부적 밝기가 고려된 밸리 및 에지들을 포함하는 스케치 특징을 추출하기 위해서 새로운 밸리 연산자를 제안하였다. 이 연산자는 3×3의 국부영역에서의 국부확률을 사용하는 매우 간단한 연산자이다. 실험결과, 기존의 밸리 또는 에지 연산자들에 비해서 훨씬 우수한 성능을 나타내었다.

Abstract

A new valley operator is presented for extracting sketch features which contain valleys and edges subject to local intensities. It is a very simple operator using the local probabilities in a 3x3 local window. Experimental results show its excellent performance over the existing valley or edge operators.

I. 서 론

화소의 밝기가 급격히 변화하여 물체와 물체간의 경계를 나타내는 에지(edge)와 주위의 화소들에 비해서 상대적으로 밝기가 어두운 밸리(valley)는 영상에 있어서 매우 중요한 특징들이다. 이러한 특징들은 매우 낮은 전송률의 동영상(motion video) 전송 및 청각장애자 통신(deaf communication)에 활발히 응용되고 있다.^[1,2] 특히, 밸리는 시각적인 물체의 형태 인식에 있어서 에지보다 더욱 기본적이고 중요한 특징이다.^[1] 또한, 사람의 시각은 밝은 부분보다는 어두운 부분의 에지 및 밸리에 민감하다. 따라서 이러한 사람의 인식 체계에 근거하여 물체를 인식하고 해석하기 위해서는 국부적 밝기가 고려된 밸리 및 에지들(스케치 특징)을 추출해야 한다.^[3]

지금까지 에지 및 밸리의 추출을 위하여 많은 연

산자가 개발되었다. 이에는 미분 연산자와 Laplace 연산자,^[4] Pearson의 밸리 연산자들,^[5] 그리고 엔트로피(entropy) 연산자^[6] 등이 있다. 그런데, 미분 연산자는 일반적으로 다른 연산자에 비해 수행이 용이하다는 장점은 있지만, 에지 주위의 화소들도 에지로 판단할 뿐만 아니라 밸리를 잘 추출하지 못하고 국부적 밝기를 고려해주지 못한다. Laplace 연산자는 램프(ramp) 에지의 경계와 밸리는 비교적 잘 추출하나 복잡한 영상에서는 고립점이 많이 존재하고 잡음에도 약하며 국부적 밝기를 고려해주지 못한다. 또한, Pearson의 밸리 연산자들의 밸리는 비교적 잘 추출하지만 역시 국부적 밝기를 고려해주지 못한다. 그리고, 엔트로피 연산자는 국부적 밝기는 고려하지만 특징점을 매우 두껍게 추출한다. 따라서 이와같은 기존의 에지 및 밸리 연산자로는 스케치 특징들을 추출하기 어렵다.

본 논문에서는 시각에 의한 영상의 인식 및 해석에 필요한 스케치 특징들을 효율적으로 추출하는 수행이 매우 간단한 밸리 연산자를 새로이 제안하였다.

*準會員, **正會員, 慶北大學校 電子工學科
(Dept. of Elec. Eng., Kyungpook Nat'l Univ.)
接受日字 : 1988年 2月 16日

이 연산자는 국부확률을 이용하여 밝기의 변화 뿐만 아니라 국부적 밝기까지 고려한다. 또한, 이렇게 제안된 연산자와 기존의 여러 연산자들의 성능을 몇가지 영상에 대해 비교 평가하였다.⁽⁶⁾

II. 기존의 특징 추출 연산자

1. 미분 연산자

미분 연산자에는 Roberts, Prewitt 및 Sobel 연산자들이 있는데, 대표적인 것으로 Sobel 연산자를 들 수 있다. Sobel 연산자의 미분값 G는 그림 1의 3×3 국부 영역에서 다음과 같이 정의된다.

a	b	c
d	e	f
g	h	i

그림 1. 3×3 창
Fig. 1. 3×3 window.

$$G = |G_x| + |G_y| \tag{1}$$

$$G_x = (g+2h+i) - (a+2b+c)$$

$$G_y = (c+2f+i) - (a+2d+g)$$

일반적으로 미분 연산자는 다른 연산자보다 수행이 간단하다. 그러나, 기울기결 결과값으로 하기 때문에 이상적인 스텝 에지는 가늘게 잘 추출하지만, 램프 에지는 두껍게 추출한다. 그런데, 영상에는 스텝 에지보다 램프 에지가 흔히 존재하므로, 실제 영상에 이 연산자를 적용할 경우 에지들이 두껍게 추출된다. 또한 국부적 밝기를 고려하지 않으며, 밸리에서는 작은 값을 나타내 밸리를 잘 추출하지 못한다.

2. Laplace 연산자

Laplace 연산자는 방향성이 없는 일종의 2차 미분 연산자로 다음과 같이 정의된다.

	1	
1	-4	1
	1	

$$\nabla^2 f(i,j) = [f(i+1,j) + f(i-1,j) + f(i,j+1) + f(i,j-1)] - 4f(i,j) \tag{2}$$

여기서 f(i,j)는 화소의 밝기를 나타낸다.

Laplace 연산자는 선형적인 램프에는 0 값을 나타내고 램프의 양경계에서는 하나는 양의 값을, 다른 하나는 음의 값을 나타낸다. 또한 이 연산자는 밸리도 비교적 잘 추출한다. 그러나, 이 연산자는 밝기의 변화가 아주 미소한 화소도 에지로 판단함으로써 다소 복잡한 영상에서는 고립점이 매우 많고 잡음에 약하며, 국부적 밝기를 고려하지 않는다. 따라서 Laplace 연산자는 에지 추출보다는 이상적인 선분, 선분의 양끝등의 추출에 유용하다.

3. Pearson의 밸리 연산자

Pearson은 매우 낮은 전송률의 청각장애자 통신에 이용할 목적으로 다음과 같은 밸리 연산자들을 제안하였다.

1) Logical 밸리 연산자

Pearson은 밸리 뿐만 아니라 에지도 함께 추출해 내기 위해서는 연산자의 임펄스 반응이 그림 2와 같은 형태가 되어야 한다고 주장하였다.

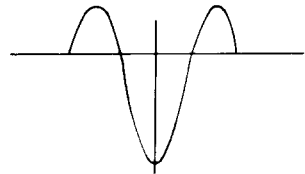


그림 2. 상승적분에 의한 밸리 연산자의 공간적인 임펄스 응답

Fig. 2. Spatial impulse response of a convolutional valley operator.

그런데 이러한 연산은 원영상과의 상승적분(convolution)으로 수행되기 때문에 수행시간이 길다. 따라서 복잡도를 줄이기 위하여 logical 밸리 연산자를 제안하였다.

Logical 밸리 연산자는 수평, 수직, 45° 대각선 및 135° 대각선 방향으로 밸리의 여부를 조사한다. 이 중에서 수직방향의 밸리를 추출하기 위한 알고리즘은 그림 3과 같으며, 다른 방향도 이와 유사한 형태로 수행한다.

이 연산자의 경우 밸리는 잘 추출하지만 밝기 변화가 다소 작은 부분의 화소는 에지로 추출하지 못하고 잡음에 약하다. 또한, 국부적 밝기의 영향을 받지 않는다.

2) Logical Laplace 연산자

Logical Laplace 연산자는 그림 1의 3×3 영역에서 다음과 같이 정의된다.

a	b	c	d	e
f	g	h	i	j
k	l	m	n	o
p	q	r	s	t
u	v	w	x	y

a~y are pels.
 T_1, T_2 are thresholds.

to test for vertical valley through m :
 if $((1-m) > T_1$ or $(n-m) > T_1$)
 then
 if $(f+k+p+j+o+t-2(h+m+r)) > T_2$
 and $(g+l+q+i+n+s-2(h+m+r)) > (f+k+p+h+m+r-2(g+l+q))$
 and $(g+l+q+i+n+s-2(h+m+r)) > (h+m+r+j+o+t-2(i+n+s))$
 then there is a valley through m

그림 3. 5 × 5 logical 밸리 연산자
 Fig. 3. 5 × 5 logical valley operator.

$$\text{value} = L_1(a-e) + L_2(b-e) + L_1(c-e) + L_2(d-e) + L_2(f-e) + L_1(g-e) + L_2(h-e) + L_1(i-e) \quad (3)$$

여기서 L_1 과 L_2 는 그림 4와 같은 비선형적 함수 관계를 갖는다.

본 논문에서는 $L_1(x) = x^3$ 의 관계를 사용하였다.

Logical Laplace 연산자는 밸리 연산자보다 성능은 다소 떨어지지만 알고리즘은 더 간단하다. 이 연산자는 Laplace 연산자와 마찬가지로 램프의 경계에서 큰 값을 나타내고 밸리도 비교적 잘 추출한다. 또한, 이 연산자는 L_1 과 L_2 를 그림 4와 같이 3×3 창내의 주위의 화소에서 중심 화소를 뺀 차이가 클수록 가중치를 크게 줌으로써 밝기의 변화가 아주 작은 화소를 예지로 판단하지 않아, Laplace 연산자보다는 고립점이 적고 잡음에도 강하다. 그러나, 이 연산자 역시 국부적 밝기를 고려하지 않는다.

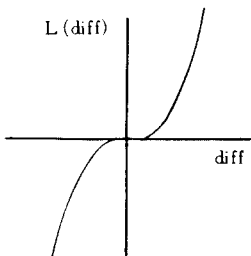


그림 4. 비선형 함수 L_1 및 L_2 의 예
 Fig. 4. Example of nonlinear function L_1 and L_2 .

4. 엔트로피 연산자

엔트로피 연산자는 3×3 국부 영역에서 명암도의 엔트로피를 계산한다. 이때 엔트로피 H는 다음과 같이 정의된다.

$$H = - \sum_{k=-1}^1 \sum_{l=-1}^1 P(i+k, j+l) \log P(i+k, j+l) / \log 9 \quad (4)$$

$$P(i, j) = f(i, j) / \sum_{k=-1}^1 \sum_{l=-1}^1 f(i+k, j+l)$$

엔트로피는 밝기 변화가 큰 영역에서 작게 나타나고 밝기의 변화가 작은 영역에서 그 값이 크게 나타난다. 또한 이 연산자는 밝기의 변화 뿐만 아니라 국부적 밝기를 함께 고려하여 같은 밝기의 변화에서도 어두운 부분의 에지를 잘 추출하지만, 모든 화소에 대해 균일한 가중치를 줌으로써 에지가 매우 두껍게 나타나는 단점이 있다. 따라서 이 연산자는 영상의 복잡한 부분에서 미소한 여러 경계를 하나로 매우 두껍게 추출하므로 영상의 인식 및 해석에 어려움이 있다. 또한, 엔트로피 H를 계산하는 과정에 log 연산이 있기 때문에 수행시간이 매우 길고 실현이 용이하지 못하다.

III. 제안된 밸리 연산자

앞에서 살펴 본 바와 같이 기존의 연산자로는 시각에 의한 영상의 인식 및 해석에 필요한 스케치 특징을 추출하기 어렵다. 따라서, 본 장에서는 사람의 시각으로 영상을 이해하고 해석하는데 필요한 새로운 DIP(difference of inverse probabilities) 연산자를 제안하였다.

제안된 연산자를 설명하기 위하여, 먼저 다음과 같이 정의되는 DP(difference of probabilities)를 생각하기로 한다.

$$DP = \frac{f_m(i, j)}{\bar{f}(i, j)} - \frac{f(i, j)}{\bar{f}(i, j)} \quad (5)$$

여기서 $\bar{f}(i, j)$ 는 3×3 창내의 합이고 $f_m(i, j)$ 는 3×3 창내의 최대치를 나타낸다. DP에서는 3×3 창내의 최대치에서 중심화소를 뺀 값으로 에지 및 밸리를 찾게 되며, 분모의 $f(i, j)$ 로 국부적 밝기를 고려하여 같은 밝기의 변화에서도 밝은 부분에서보다 어두운 부분에서 더 큰 값을 갖는다.

그런데, DP를 사용하여 특징을 추출하면 밸리 뿐만 아니라 밸리 주위의 화소도 추출되어 특징점이 두껍게 나타난다. 따라서 DP를 변형하여 DIP를 다음과 같이 정의하였다.

$$DIP = \frac{\bar{f}(i,j)}{f(i,j)} - \frac{\bar{f}(i,j)}{f_m(i,j)} \quad (6)$$

$$= DP \frac{\bar{f}(i,j)}{f_m(i,j)} \cdot \frac{\bar{f}(i,j)}{f(i,j)}$$

일반적으로, 밸리와 밸리 주위의 화소에서 각각의 $\bar{f}(i,j)$ 와 $f_m(i,j)$ 는 거의 같은 값을 갖지만 $f(i,j)$ 는 밸리에서 더 작다. 따라서, DIP는 밸리 주위의 화소에서보다 밸리에서 더 큰 값을 가지므로 DIP를 사용하면 특징점이 가늘게 추출된다.

그런데, DIP를 사용하더라도 국부적 밝기가 매우 어두운 부분에서는, 기울기의 차가 작아도 DIP가 크게 나타나 특징점이 두껍게 추출된다. 따라서 최종적으로 제안된 DIP 연산자에서는, 이러한 면을 고려하여 최대값과 중심 화소와의 차가 주어진 역치보다 작으면 다음과 같이 특징점이 아닌 것으로 하였다.

$$value = \begin{cases} DIP, & f_m(i,j) - f(i,j) > T_1 \\ 0, & f_m(i,j) - f(i,j) \leq T_1 \end{cases} \quad (7)$$

DIP 연산자는 밸리와 에지에서 큰 값을 갖고 밝기의 변화가 작은 영역에서는 작은 값을 가진다. 또한 DIP는 그림 5 와 같이 밝기의 변화가 같은 경우에도 (b)의 밝은 부분에서보다 (a)의 어두운 부분에서 더 큰 값을 갖는다.

50	20	50
50	20	50
50	20	50

(a)

mean=40
DIP = 10.8

150	120	150
150	120	150
150	120	150

(b)

mean=140
DIP = 2.1

그림 5. DIP의 적용 예
Fig. 5. Example of DIP operation.

따라서 제안한 연산자는 밝기의 변화 뿐만 아니라 국부적 밝기를 고려하여 밸리와 에지를 추출함으로써 스케치 특성을 잘 나타낸다. 또한, 제안한 연산자는 수행이 매우 간단하여 복잡도에 있어서 기존의 미분 연산자와 큰 차이가 없다.

이상적인 램프 에지와 밸리에 대하여 지금까지 언급한 각 연산자들의 응답을 조사해 보면 그림 6 과

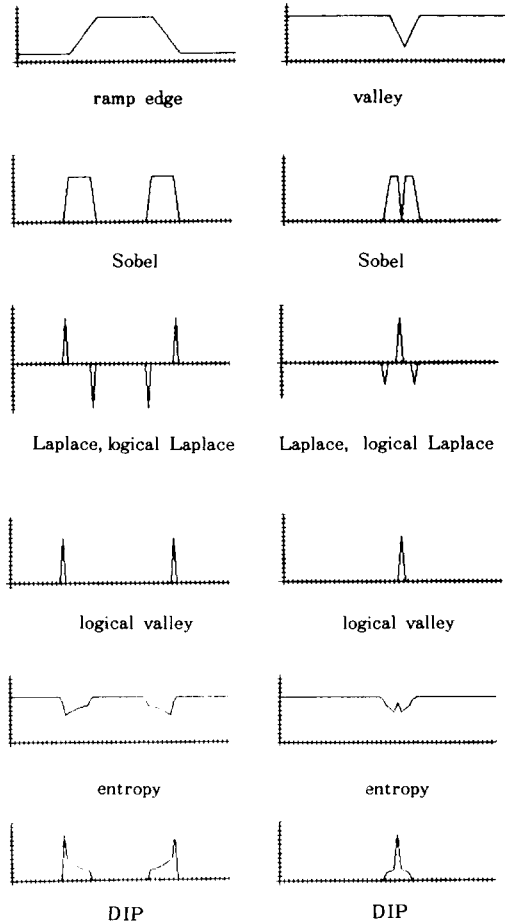


그림 6. 이상적인 램프 에지와 밸리에 대한 각 연산자의 응답
Fig. 6. Results of applying various operators to an ideal ramp edge and a valley.

같다. 여기서 보면, 램프 에지에서는 Sobel 및 엔트로피 연산자는 에지를 두껍게 추출하고 Laplace 연산자, logical Laplace 연산자 및 Pearson의 밸리 연산자는 변곡점을 에지로 추출한다. 제안한 연산자는 국부적 밝기의 영향을 받으므로 국부적 밝기가 낮은 변곡점에서 큰 값을 가지고 밝기가 클수록 작은 값을 가진다. 한편, 밸리에서 Sobel 및 엔트로피 연산자는 잘 반응하지 못하지만, Laplace, logical Laplace, Pearson의 밸리 및 제안한 연산자는 잘 반응함을 알 수 있다.

IV. 실험 결과 및 검토

실험에 사용한 영상으로는 크기가 256×256화소의

256개 명암도를 갖는 그림7의 GIRL과 COUPLE 영상을 사용하였다. 제안한 연산자의 성능을 기존의 연산자와 비교함에 있어서 시각에 의한 판단에 의존하였다.

앞에서 서술한 여러 연산자들의 실제영상에 대한 성능을 평가하기 위하여, 먼저 GIRL 영상에 여러가지 연산자들을 가한 후 196번째 line에서 연산결과 값의 분포를 조사하면 그림 8과 같다. 그림 8(a)는 196번째 line의 원신호를 나타내는데, 여기서 A부분은 램프 에지로 B부분은 벨리로 볼 수 있다. 앞에서 서술한 바와같이 A부분의 램프 에지에서 Sobel 연산자는 경사부분에서 큰 값을 나타내어 에지를 두껍게 추출하고, 엔트로피 연산자는 경사부분에서 작은 값을 나타내고 둔화 현상으로 인해 매우 두껍게 추출한다. 다른 벨리 연산자들은 램프의 낮은 경계에서만 큰 값을 나타내어 가늘게 추출함을 볼 수 있다. B부분의 벨리에서는 Sobel 연산자는 벨리를 중심으로 양쪽에서 추출되고, 엔트로피 연산자는 램프 에지에서와 같이 둔화 현상으로 인해 벨리를 중심으로 두껍게 추출한다. 반면에 logical 벨리, Laplace, 제안된 DIP 연산자는 벨리를 잘 추출함을 볼 수 있다.

그림 9는 GIRL 영상에 대해 제안된 DIP 연산자와 여러 연산자를 적용한 후 각각 적절한 역치로 이진화시킨 결과 영상들이다. Sobel 연산자는 에지를 비교적 두껍게 추출하고, Laplace 연산자에 의한 결과에는 고립점이 매우 많음을 알 수 있다. logical Laplace 연산자에 의한 결과는 Laplace 연산자보다는 고립점이 다소 적지만 얼굴부분이 매우 지저분하고, logical 벨리 연산자에 의한 결과를 보면 벨리는 잘 추출되었지만 에지에서 연결성이 좋지 않다. 엔트로피 연산자는 에지를 매우 두껍게 추출함을 볼 수 있다. 그림 9(f)을 보면 제안된 연산자가 에지부분에서 Sobel의 경우보다 에지가 가늘게 나타남을 볼 수 있다. 또한, 이 연산자는 국부적 밝기의 영향을 받

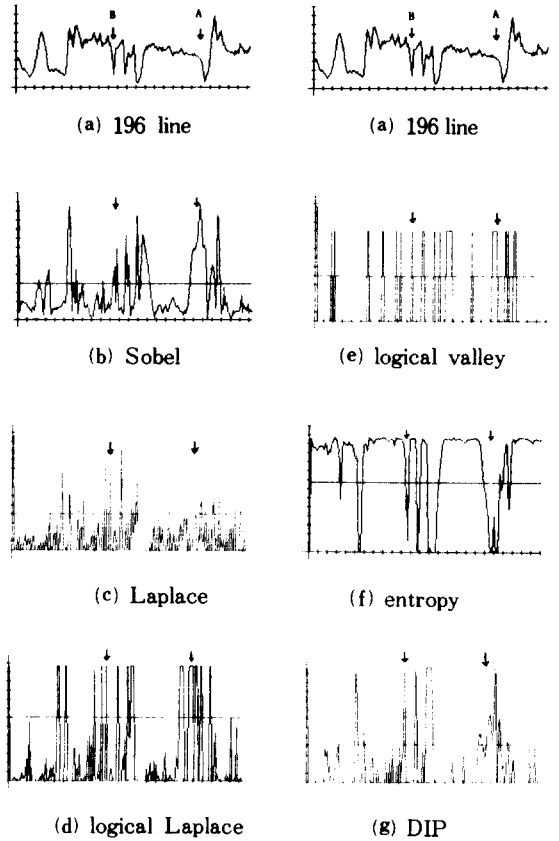


그림 8. GIRL 영상의 196 line에서의 각 연산자의 응답

Fig. 8. Results in the 196-th line of applying various operators to GIRL.

아 머리의 윗부분과 우측 하단의 밝은 부분에서는 특징점을 추출하지 않음을 볼 수 있고, 어두운 부분(특히 눈부분)에서는 밝기의 변화가 다소 작은 에지와 벨리를 잘 추출함을 볼 수 있다.

그림10은 COUPLE 영상에 대한 각 연산자들의 결과이다. 전체적으로 GIRL 영상과 동일한 결과를 나타내는데, 그림10(f)을 보면 제안된 DIP 연산자가 다른 연산자보다 얼굴의 윤곽을 잘 드러냄을 볼 수 있다.

일반적으로, 램프 에지에서 변곡점을 추출하거나 벨리를 추출하는 연산자들의 결과를 보면 고립점이 많이 존재한다. 제안한 연산자의 결과에도 고립점이 다소 존재하는데, 본 논문에서는 창내 중심 화소가 특징점으로 추출된 경우 특징점의 수가 3×3 에서는 1개, 5×5 에서는 2개면 고립점으로 판단하여 제거하였다. 이와 같이 고립점을 제거한 결과는 그림11과 같다. 여기서 보면 고립점이 제거되어 전체

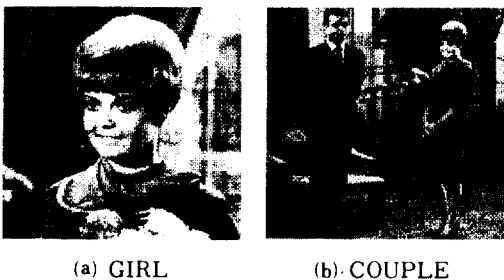


그림 7. 원 영상들
Fig. 7. Original images.



(a) Sobel (thr=100) (b) Laplace (thr=25)



(c) logical Laplace (thr=17500) (d) logical valley ($T_1=10, T_2=60$)



(e) entropy (thr=0.9917) (f) DIP (thr=2.4, $T_3=15$)

그림 9. GIRL 영상에 대한 각 연산자의 응답을 이진화한 결과들

Fig. 9. Results of binary thresholding each output of various operators for GIRL.



(a) Sobel (thr=110) (b) Laplace (thr=17)



(c) logical Laplace (thr=15000) (d) logical valley ($T_1=10, T_2=60$)



(e) entropy (thr=0.9808) (f) DIP (thr=3.1, $T_3=10$)

그림 10. COUPLE 영상에 대한 각 연산자의 응답을 이진화한 결과들

Fig. 10. Results of binary thresholding each output of various operators for COUPLE.

적으로 깨끗함을 알 수 있다. 또한 지금까지의 결과를 종합해 보면, 제안한 연산자는 국부적 밝기를 고려하여 스케치 특성이 있는 실제 영상에 가까운 특징점을 잘 추출함을 알 수 있다.

V. 결 론

사람의 시각적 인식 체계에 근거하여 물체를 인식하고 해석하기 위해서는 국부적 밝기가 고려된 밸리 및 에지를 추출해야 한다. 이러한 스케치 특징의 추출을 위하여, 본 논문에서는 국부확률을 사용하는 새로운 연산자DIP를 제안하였다. 제안된 연산자는 수행이 매우 용이하며, 몇가지 영상에 적용한 결과 이진화 후의 결과 영상이 스케치 특성을 잘 나타냄을 알 수 있었다. 따라서, 이 DIP 연산자는 매우 낮



(a) (b)

그림 11. 그림 9(f) 및 그림 10(f)에서 고립점 제거 결과

Fig. 11. Results of removing isolated points for Fig. 9(f) and Fig. 10(f).

은 전송률의 동화상 전송 및 청각장애자 통신에 매우 유용하게 사용될 수 있으리라 기대된다.

参 考 文 献

- [1] D.E. Pearson and J.A. Robinson, "Visual communication at very low data rates," *Proc. IEEE*, vol. 73, pp. 795-812, Apr. 1985.
- [2] J.F. Abratic, Ph. Letellier and M. Nadler, "A narrow - band video communication system for the transmission of sign language over ordinary telephone lines," *Image Sequence Processing and Dynamic Scene Analysis in NATO ASI series*, Springer-Verlag, pp. 314-336, 1983.
- [3] 김남철, 류영진, "스케치 특징의 추출을 위한 밸리 연산자," *통신학회 영상처리 워크샵 논문집*, pp. 16-19, 1987년 10월.
- [4] A. Rosenfeld and A.C. Kak, *Digital Picture Processing*, Academic Press, vol. 2, New York, 1982.
- [5] A. Shiojaki, "Edge extraction using entropy operator," *Comput. Vision, Graphic and Image Processing* 36, pp. 1-9, 1986.
- [6] Y.J. Ryoo and N.C. Kim, "A valley operator for extracting sketch features: DIP," accepted for publication in *Electronics Letters*, Apr. 1988.