

---

# 이미지 퍼지화 기반 Canny 에지 검출기 설계에 관한 연구

박미영\* · 김철원\*\* · 박종훈\*\*\*

## A Study on Canny Edge Detector Design Based on Image Fuzzification

Mi-young Park\* · Chul-won Kim\*\* · Jong-Hoon Park\*\*\*

### 요 약

본 논문에서는 Canny 에지 검출 알고리즘의 핵심이라 할 수 있는 언어적인 애매한 개념인 “좋은 검출”과 “좋은 지역화” 문제를 퍼지 추론 방식을 통해 처리하는 접근방식을 제안하고, 그레이 스케일 이미지에 관해 퍼지 규칙 기반의 Canny 에지 검출기를 설계한다. 설계의 핵심은 화소들의 그레이 레벨들을 몇 가지의 언어적인 변수들로 분할한 다음에 퍼지 추론 규칙에 따라 편미분 계수들을 근사시키는데 있다. 이러한 접근방식은 기울기 및 기울기 변화에 따른 퍼지 제어 기법과 유사한 측면을 가진다. 이러한 작업을 바탕으로 퍼지 규칙 기반 Canny 에지 검출기를 구현하고, 결과들을 기존 방법과 비교한다. 특히, 제안된 접근 방식은 좁은 동적 범위의 그레이 레벨 이미지의 에지 검출 및 선명화에 있어서 장점을 가진다.

### ABSTRACT

This paper suggests an approach to the subtle concept, “good”, through the fuzzy logic and the design of the Canny edge detector of Gray scale images based on the rules of fuzzy anisotropic diffusion. The Canny edge detection algorithms design is to divide the gray levels into pixels and then calculate the diffusion coefficients at each pixel of non-edgy regions. Based on this processing, we present the Canny edge detector implementing fuzzy logic and comparing the results to other existing methods. The proposed approach is the narrow dynamic range of the gray-level image Sharpening the edge detection and has the advantage.

### 키워드

에지 검출기, 퍼지화, Canny, Tizhoosh

### Key word

Edge detector, Fuzzification, Canny, Tizhoosh

---

\* 정회원 : 호남대학교 컴퓨터공학과  
\*\* 종신회원 : 호남대학교 컴퓨터공학과  
\*\*\* 정회원 : 중부대학교 컴퓨터학과

접수일자 : 2011. 05. 03  
심사완료일자 : 2011. 06. 20

## I. 서 론

Canny 알고리즘은 1986년 John F. Canny가 개발한 에지 혹은 테두리 추출 연산자로 목적은 최적의 에지 검출 알고리즘을 만드는 것이었다. 근본적으로 Canny 검출 알고리즘이 지향하고 있는 “좋은” 및 “최소” 개념의 애매한 지식을 어떠한 접근방식으로 표현하느냐 하는 것이다[1].

본 논문의 연구 목적은 이미지 처리에서 이미지가 갖는 여러 가지 애매한 속성들을 처리하는데 있어서 퍼지 이론의 접목을 통한 선행 연구들이 비교 실험 결과 상당히 객관적인 결과들을 도출하고 있다는 점에서 에지 검출에 관한 Canny 알고리즘의 보다 개선된 퍼지 적용을 나타내는데 있다.

이러한 퍼지 적용은 Canny 에지 검출 알고리즘의 핵심이라 할 수 있는 언어적인 애매한 개념인 “좋은 검출”과 “좋은 지역화” 문제 및 최소 대응 문제에 관한 보다 바람직한 접근방식이 될 수 있다. 특히 그레이 레벨 이미지 처리에 관해 보다 바람직한 에지 검출기를 설계할 수 있다. 이러한 검출기의 설계는 기존 Canny 알고리즘의 완전한 구현의 어려운 문제를 손쉽게 해결할 수 있다. 본 연구에서 제안된 퍼지 기반 방식은 비교적 좁은 동적 범위의 그레이 레벨 이미지에 관해 이미지 선명화를 위한 보다 좋은 에지 검출을 할 수 있도록 하는데, 이는 퍼지 제어에서 오차 기울기 변화의 퍼지화 개념을 도입한 것과 유사한 측면을 가진다.[2]

## II. 보통 집합에 의한 에지 검출

### 2.1. 에지 검출 기준

에지 검출을 위해 객관적인 몇 가지 판정 기준들이 사용된다. 대표적인 5가지 기준들은 좋은 검출, 잡은 민감도, 좋은 지역화, 방향 민감도, 속도 및 효율성, 에지 구조 등을 들 수 있다.

### 2.2. 전통적인 에지 검출 기법

대부분 전통적인 에지 검출 기법들은 보통 집합을 기반으로 하며, 두 가지 단계로 진행된다. 첫 번째, 기울기 불연속성을 찾는 방식으로 에지들이 나타날 가능성이

있는 이미지 내에 화소 발견을 하게 된다. 두 번째, 선이나 곡선 등의 형태로 에지들에 관한 묘사를 얻기 위해 어떠한 방식으로 에지 점들을 연결한다.

에지 점들의 검출과 관련하여 기울기 기반 접근방식과 2차 미분 방식을 들 수 있다. 먼저, 기울기 기반 접근방식과 관련하여 기울기 불연속성을 고려할 수 있다. 하나의 에지 점은 수학적으로 불연속성이 나타나는 이미지 내에 하나의 점으로 간주할 수 있다. 픽셀 값들의 기울기가 꺾이는 선의 형태로 나타나며, 이러한 유형의 불연속성은 그림 1과 같은 5가지 형태 중의 하나로 분류된다. (a)는 볼록 지붕(convex roof), (b)는 오목 지붕(concave roof), (c)는 오목 램프(concave ramp), (d)는 계단(step edge), (e)는 막대(bar edge)이다.

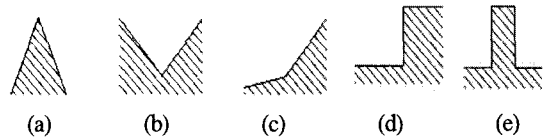


그림 1. 에지모양  
(a) 볼록 지붕 (b) 오목 지붕 (c) 오목 램프  
(d) 계단 (e) 막대

Fig. 1. Type of Edges  
(a) convex roof (b) concave roof (c) concave ramp  
(d) step edge (e) bar edge

### 2.3. Canny 에지 검출 알고리즘

Canny 에지 검출 알고리즘은 최적 에지 검출기로 알려져 있다. 에지 검출에 있어서 무엇보다도 중요한 것은 낮은 오차 비율이다. Canny 에지 검출 알고리즘은 7단계로 나눌 수 있다.

1. 표준편차  $\sigma$ 의 증가되는 값들에 관해 단계 2~6을 반복한다.
2. 축적  $\sigma$ 의 가우스분포로 이미지  $g$ 를 회전시킨다.
3. 각 픽셀에 관해 지역적 에지 표준 방향  $n = \nabla(G^*g) / |\nabla(G^*g)|$ 을 계산한다.
4. 최대가 아닌 것들의 삭제는  $G_n^*g$ 의 1차 및 2차 미분이 0인 에지 위치들을 찾는다.
5. 에지의 크기  $|G_n^*g| = |\nabla(G^*g)|$ 을 계산한다.
6. 잉여적인 반응을 제거시키기 위해 히스테리시스를 갖는 에지 임계를 설정한다.

7. 특징 합성 접근방식을 사용하여 다중 스케일에서 에지들에 대한 최종 정보를 집약한다.

2.4. 퍼지 추론 시스템에 의한 에지 검출

보통 집합에 의한 방법들은 잡음에 민감하고 지루한 수행시간을 갖거나 혹은 대비 영역의 변화에 따라 만족스러운 에지 검출 결과를 가져온다. 퍼지집합에 의한 에지 검출 방식은 이러한 문제점을 해소시켜서 보다 좋은 결과를 제공하고 있다. 퍼지 추론 시스템은 디지털 이미지 처리의 에지 검출에 관해 강력한 도구가 될 수 있다. 퍼지 이미지 처리는 그림 2에 나타난 바와 같이 세가지 주요 단계들을 거치게 된다.

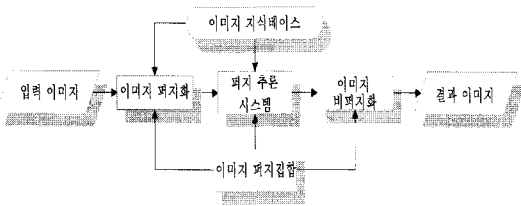


그림 2. 일반적인 퍼지 이미지 처리 과정  
Fig. 2. General Structure of Fuzzy Image Processing

2.5. 기존 에지 검출 알고리즘 비교

지역적인 퍼지 기반 전처리에 관한 대표적인 체계적인 개념 소개는 Acharya와 Ray(2005)에 의한 “이미지 처리: 원리와 응용”에 자세히 언급되고 있다[7]. 특히 최근 연구로서 Saeidi와 Khaleghi(2002)의 이미지 잡음 여파의 퍼지 기반 알고리즘은 보편적인 삼각 소속 함수를 사용한 적응 가중치 설정을 통해 좋은 지역화 문제해결 방식을 제안하고 있다[3].

기타 좋은 지역화를 위한 전처리 알고리즘에 관한 연구로서 Jing, Jinsheng 및 Runtao (2000)의 퍼지 가중치 평균 필터, 연속 프레임을 사용한 비선형필터에 관한 Saeidi, Montamedi, Behrad (2006)의 연구, 잡음 분산 추정이 없는 적응 가중치 평균을 사용하는 전처리 기법에 관한 Saeidi 등 (2005)의 연구, Behrad 등 (2001)에 의한 트래킹 시스템을 사용한 견고한 비전 기반 전처리 방법을 들 수 있다[3][4][5].

III. 퍼지 규칙 기반 에지 검출기 설계

본 연구에서는 이미지 퍼지화에 관련된 전처리 관련 사항들을 바탕으로 그레이 스케일 이미지에 관한 퍼지 규칙 기반의 Canny 에지 검출기를 제안한다. 제안하는 에지 검출기 설계 과정은 그림 3과 같다.

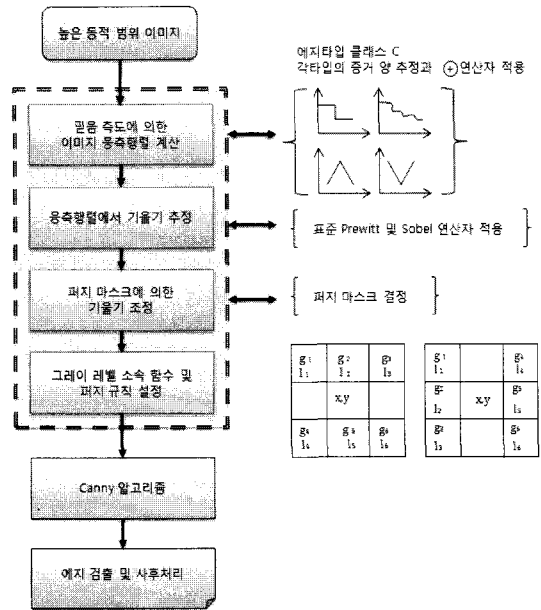


그림 3. 제안된 에지 검출기 설계 과정  
Fig. 3. A Fuzzy Edge detection Process

3.1. 믿음 측도에 의한 이미지 응축 행렬

이미지 개선 가정은 주관 및 객관적 판정 기준에 따라 통합된 이미지 요약 혹은 응집행렬을 출력하는데 있다. 본 연구에서는 객관적인 판정 기준에 의한 응집행렬의 출력으로 믿음 측도 기반의 히스토그램 변경을 나타내기로 한다. 히스토그램 균등화를 실시한 후에 객관적인 판정 기준인 지수 분포를 사용한 믿음 측도를 계산하고, 이러한 결과에 의해 보다 선명한 에지 검출을 위한 히스토그램 변경을 통해 퍼지 기반 Canny 에지 검출기의 성능을 높인다.

3.2. 응축 행렬에 의한 이미지 기울기 계산

Prewitt 및 Sobel 마스크와 유사한 퍼지 마스크들이 픽셀 선택에 사용되었고, 편미분 계수들을 추론 규칙

에 따라 계산하여 에지 검출을 진행한다. 퍼지 이미지 처리는 이미지 퍼지화를 바탕으로 그림 4와 같은 과정을 거치게 되는데 처리의 핵심은 소속 함수 결정에 있다. 퍼지 집합 형태와 관련하여 단순 삼각형 및 사다리꼴 함수보다는 S형 혹은 종모양의  $\pi$ 형이 보다 적절한 형태가 될수 있다. 이에 관해 실험된 연구 결과는 없지만, 본 연구를 위한 모의실험에서 종 모양의 소속 함수 결정은 단순 삼각형태의 것보다 좋은 성능을 보이는 것으로 나타났다.

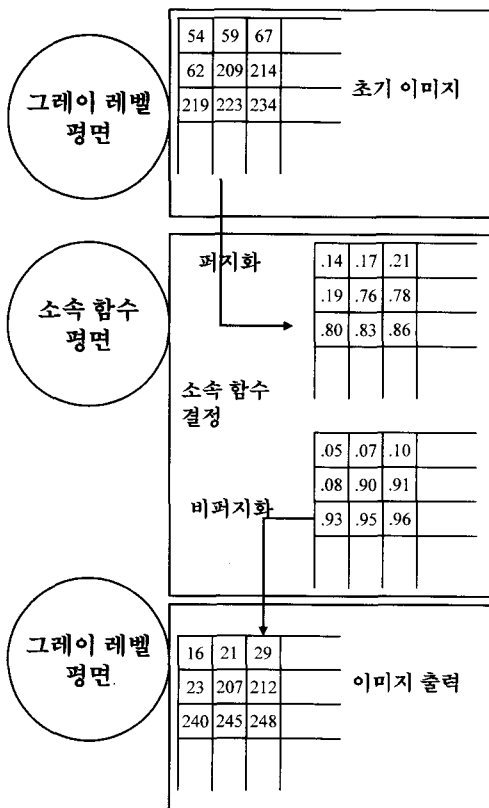


그림 4. 소속 함수 변경

Fig. 4. Determination of Membership function

3.3. 퍼지 마스크 및 규칙 설정

하나의 퍼지 시스템에 관해 함수 성질은 조건-행위 규칙 혹은 if-then 규칙으로 나타 낼수 있는데 퍼지 시스템의 입력 조건 부분에 해당되고 출력은 결론 부분에 해당된다. 본 연구에서는 다중입력과 단일 출력의 언어적인 규칙을 사용한다(표 1).

표 1. Gx에 관한 퍼지 규칙 및 지표

(a) 기울기 계산을 위한 규칙

(b) 미분에 관한 소속 함수의 지표

Table 1. Fuzzy Rules of Gx and Index

(a) Rule of gradient calculation.

(b) Index of membership function on differentiation

$\mu_3$	$\mu_2$	$\mu_1$	$\mu_x$
Dark	Dark	Dark	$D_0$
Dark	Dark	Gray	$D_{-1}$
Dark	Dark	White	$D_{-2}$
Dark	Gray	Dark	$D_{-1}$
Dark	Gray	Gray	$D_{-2}$
Dark	Gray	White	$D_{-3}$
Dark	White	Dark	$D_{-2}$
Dark	White	Gray	$D_{-3}$
...	...	...	
White	White	White	$D_0$

$\mu_3(k)$	$\mu_2(l)$	$\mu_1(m)$	$D_1$
0	0	0	0
0	0	1	-1
0	0	2	-2
0	1	0	-1
0	1	1	-2
0	1	2	-3
...	...	...	
2	2	2	0

(a)

(b)

3.4. Canny 알고리즘 적용

본 연구에서는 에지 픽셀의 두드러짐 측도로써  $s = (g - \bar{g})^\alpha d^\beta$  을 사용한다. 여기서 모수  $\alpha$ 와  $\beta$ 는 기울기 크기와 지원 범위 간에 상대적 중요도를 조절한다. 보통  $\alpha=\beta=1$ 이 사용되지만, 이미지 적용에 따라 차이가 있다. 일반적으로 장면에서 주요 객체 경계를 찾기 위해서는 보다 큰  $\beta$ 를 사용할 필요가 있다. 기존 Canny 검출기에서 히스테리시스 임계 방식은 픽셀 기반이지만, 본 연구에서는 에지 픽셀들을 연결되는 곡선 세그먼트들로 링크하고 임계 방식은 세그먼트들을 바탕으로 한다. 그 이유는 앞에서 논의한 것처럼 일부 개별적인 에지 픽셀들이 잡음과 구별되지 않을 정도로 두드러지지 않을 수 있기 때문이다. 연결된 긴 체인으로 정렬한다면, 무작위 잡음으로 인한 두드러지지 않은 것들을 쉽게 찾아 낼수 있다.

IV. 구현 및 결과

4.1. 히스토그램 균등화의 퍼지 접근 구현

제안된 방식이 보다 좋은 성능을 가짐을 보이기 위해 그림 5는 어두운 영역과 밝은 영역의 비율인 동적 범위가 매우 좁은 원천 이미지에 관해 전형적인 히스토그램 균등화, 최대 엔트로피 접근방식에 의한 균등화 및 히스

토그램 퍼지화를 바탕으로 한 AHE의 적용 결과이다(그림 6). 히스토그램 퍼지화를 바탕으로 하는 AHE 접근방식이 보다 선명한 이미지를 나타내지만, 히스토그램 퍼지화에 따른 전처리 시간이 상당히 많이 소요되는 단점을 가지고 있다.



그림 5. 빈약한 동적 범위의 소스 이미지  
Fig. 5. Source Image of Low Dynamic Range



그림 6. 엔트로피 및 히스토그램 퍼지화 기반 AHE의 비교  
Fig. 6. Entropy and AHE Based on Histogram Fuzzification

이미지  $f$ 가 공간 영역  $D$ 에서 정의되고,  $f_i$ 와  $f_s$ 가 각각 다음과 같이 정의되는 하한 및 상한이라 할 때, 보통  $Dt(f)$ 로 표시되는  $f$ 의 동적 범위는  $Dt(f) = f_s - f_i$ 와 같이 정의된다.

$$f_i = \inf_{x \in D} f(x), f_s = \sup_{x \in D} f(x)$$

이미지 처리에서 가능한 동적 범위를 최대화 시키는 작업은 이미지 선명화 작업의 핵심적인 것이 될 수 있다.

4.2. 응축 행렬, 퍼지 기울기 추정 및 에지 검출 결과 믿음 측도에 의한 그레이 레벨은 크게 5가지 특징들로 응축되고 이에 관한 증거 비율은 각각 0.8580, 0.6201, 0.4470, 0.4540, 0.4581, 0.6297로 추정되었다. 그림 7은 추정된 응축 행렬을 바탕으로 edge 개선 작업을 실시한 결과이다.

본 연구의 이미지 퍼지화 및 퍼지 규칙 설정에 관련 스크립트는 다음과 같이 작성될 수 있다.

```
[x, y] = size(im);
a = newfis('ED');
% 그레이 레벨 퍼지 집합 형태 결정
a=addvar(a, 'input', '픽셀 값', [0 1]);
a=addmf(a, 'input', 1, 'Black', 'trapmf', [0.1 0.2 0.3 0.4]);
a=addmf(a, 'input', 1, 'gray', 'trapmf', [0.4 0.5 0.6 0.7]);
a=addmf(a, 'input', 1, 'White', 'trapmf', [0.7 0.8 0.9 1]);
% 이미지로부터 밝기 출력
a=addvar(a, 'output', '이미지 밝기 레벨', [0 1]);
a=addmf(a, 'output', 1, 'black', 'gaussmf', [0.1 0.2]);
a=addmf(a, 'output', 1, 'white', 'gaussmf', [0.8 1]);
a=addvar(a, 'output', '에지 타입', [0 15]);
a=addmf(a, 'output', 2, '좌측 대각선 에지', 'gaussmf', [0 1]);
a=addmf(a, 'output', 2, '수평 에지', 'gaussmf', [2 3]);
a=addmf(a, 'output', 2, '우측 대각선 에지', 'gaussmf', [4 5]);
a=addmf(a, 'output', 2, '수직 에지', 'gaussmf', [6 7]);

% 규칙 리스트
rulelist=[2 1 1 3 2 1 3 3 2 1 1 1 1;
          1 1 1 3 1 1 3 3 1 1 1 1 1;
          3 1 1 3 3 1 3 3 3 1 1 1 1;

          2 3 3 1 2 3 1 1 2 1 1 1 1;
          1 3 3 1 1 3 1 1 1 1 1 1 1;
          3 3 3 1 3 3 1 1 3 1 1 1 1;

          ...
a=addrule(a, rulelist);
showfis(a)
% writefis(a, 'Edge Detection');
% a=readfis('에지 검출');
% 에러 처리
evalfis([1 2 3 1 2 3 1 2 3], a)
```

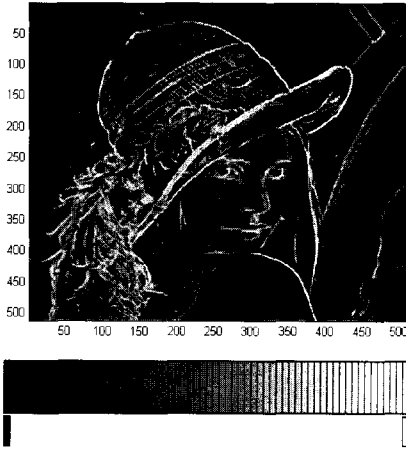
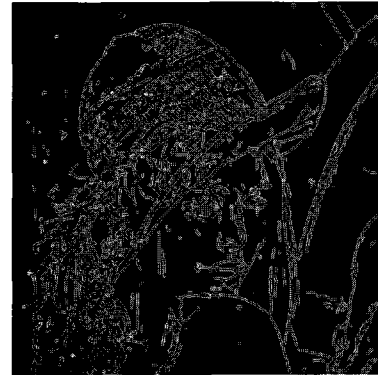


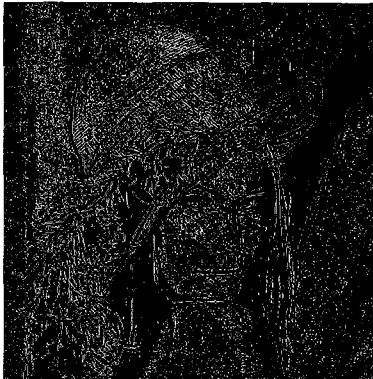
그림 7. Lena 에지 검출 결과 비교  
Fig. 7. Comparison of Lena Edge detectors



(c)

그림 8. Lena 에지 검출 결과 비교  
(a) 일반적인 Canny 검출기 적용 (b) Tizhoosh 방식에 의한 검출 (c) 제안 방식에 의한 검출  
Fig. 8. Comparison of Lena Edge detectors  
(a) General Canny Detector (b) Tizhoosh Detector  
(c) Proposed Detector

그림 8에서 (a)는 그림 5의 이미지에 관해 일반적인 Canny 에지 검출기를 사용한 것이고, (b)는 Tizhoosh에 의해 제안된 이미지 퍼지화 기반 에지 검출기에 의한 에지 검출 결과이며, (c)는 본 연구에서 제안된 절차에 따라 Tizhoosh에 의한 방법을 개선한 것이다.



(a)



(b)

## V. 결 론

제안된 방법과 일반적인 Canny 에지 검출기 그리고 Tizhoosh에 의해 제안된 이미지 퍼지화 기반 에지 검출 방식의 비교 실험에서 일반적인 Canny 검출기의 적용은 좁은 동적 범위를 갖는 경우에 보다 매끄러운 에지 검출이 어렵고, 잡음이 많이 발생하였으며, 특히, 이미 지 분할에 있어서 검출된 에지 윤곽들이 폐곡선을 이루지 못하는 부분들이 나타나는 것을 확인 하였다. Tizhoosh에 의한 에지 검출기는 잡음에 강하고, 보다 좋은 에지 윤곽들을 추출할 수 있도록 하지만, 동적 범위의 이미지 처리에 있어서 제안 방식에 의한 것처럼 보다 매끄러운 연속성을 갖는 에지 윤곽들을 추출하지 못한다는 단점을 갖는다. 또한 성능 비교 측도로서 MSE 값을 추정했을 때, 제안 방식에 의한 것이 보다 작은 MSE값을 가진다.

제안된 이미지 퍼지화에 의한 에지 검출기 설계는 보편적인 보통 집합의 기율기 미분에 의한 Canny 에지 검출기보다 좋은 에지들을 추출할 수 있음을 확인하였다.

추후 연구는 다양한 퍼지 규칙의 설정을 통해 다양한 마스크를 재구성하는 것을 들 수 있다. 4장에서 논의한 것처럼 퍼지 마스크를 사용하는 경우에 Prewitt 및 Sobel 마스크의 계수들 간에 차이는 상이한 특징들을 나타낸다. 이러한 상이한 특징들은 퍼지 규칙들의 변경과 밀접한 관련을 가진다. 이를 보완함으로써 본 연구 결과가 실용적인 평가를 받을 것을 기대한다.

### 참고문헌

- [1] J F Canny, "A computational approach to edge detection." IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 8(6):679-698, 1986.
- [2] V Koivunen and M Pietikainen. "Combined edge and region-based method for range image segmentation." In Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering, volume 1381, pages 501-512, Society for Optical Engineering, Bellingham, Wa, 1990.
- [3] M. Saedi, K. Saedi, and M. Khaleghi, "Noise Reduction in Image Sequences using an Effective Fuzzy Algorithm", World Academy of Science, Engineering and Technology 43 2008.
- [4] Dong-Su Kim, Wang-Heon Lee and In-So Kweon , "Automatic edge detection using 3×3 ideal binary pixel patterns and fuzzy-based edge thresholding", Pattern Recognition Letters, Volume 25, Issue 1, 5 January 2004, Pages 101-106
- [5] Tae Yong Kim and Joon Hee Han, "Edge representation with fuzzy sets in blurred images", Fuzzy Sets and Systems, Volume 100, Issues 1-3, 16 November 1998, Pages 77-87.

### 저자소개

박미영(Mi Young Park)



2006년 호남대학교  
컴퓨터공학과(공학석사)  
2011년 호남대학교 컴퓨터공학과  
박사 졸업

2007년 10월 - 현재 (주)TNIT 연구개발 팀장  
※관심분야: 디자인 분야, 에지검출, 웹 콘텐츠 개발

김철원(Chul Won Kim)



1997년 광운대학교  
컴퓨터공학과(공학박사)  
1988년- 현재 호남대학교  
컴퓨터공학과 교수

※관심분야: XML 웹 서비스, 멀티미디어 정보검색, 콘텐츠, 이미지 처리 및 검색

박종훈(Jong Hoon Park)



1995년 광운대학교 전자계산기  
공학과(공학박사)  
1995년-1998년 한국전산원  
선임연구원

1999년- 현재 중부대학교 컴퓨터학과 교수  
※관심분야: XML 웹서비스, XML 검색, 시맨틱 웹