

퍼지 기법을 이용한 열화된 영상에서의 에지 검출

정재우⁰, 정태윤*, 정진양**, 허계만***, 한영오****, 박상희
 연세대학교 전기공학과, *삼성전자, **포항제철, ***연세대학교 심혈관연구소, ****남서울대학교 전자공학과

Edge Detection in Blurred and Noisy Image Using Fuzzy Method

Jae-woo Jung⁰, Tae-yun Chung*, Jin-Yang Jung**, Jae-man Huh***, Young-Oh Han****, Sang-Hui Park
 Dept. of Electrical Eng., Yonsei Univ., *Samsung Electronics, **POSCO,
 Cardiac Vascular Center, Yonsei Univ., *Dept. of Electronics Eng., Southern Seoul Univ.

Abstract

The process of detecting edge in an image is an important component of many Pattern Recognition and Computer Vision applications. In many practical cases, there exist blurred images due to defocussing, movement of an object and so on. In addition, local perturbation noise can be added to the images.

We propose the edge detection technique in blurred and noisy image. For this, we use Fuzzy pyramid linking method to remove noise and enhance the edge in images. We develop contrast intensifier using the concept of Fuzzy sets as a postprocessing.

I 서론

영상의 에지 검출^{[1][2][3]}은 컴퓨터나 산업용 로봇에 시각적 작업 대상의 위치와 방향에 대한 분류 및 인식 능력을 부여하는 경우에 절대적으로 필요한 전처리과정이다. 또한 검출된 에지는 디지털 영상의 저장 또는 전송시의 정보량 감축을 위한 경계 부호화에도 널리 이용된다. 이러한 에지는 영상 취득시 잡음에 의해서 왜곡되는 경우가 있으며 또한 피사체의 비축점화나 물체의 이동 등에 의해 흐려지는 경우가 있다.

일반적으로 디지털 영상의 모든 화소에서 경계를 검출하는 방법은 sobel, prewit, gradient, Laplacian 등의 국부 연산자를 이용하는 방법들이 있다. 이 방법들은 인접 화소들간의 미분연산에 의한 에지 검출 방법으로서 에지가 불분명한 영상이나 잡음이 심한 영상의 경우에는 에지 검출이 용이하지 않다. 따라서 본 논문은 퍼지 논리를 이용한 피라미드^[4] 연결 방식의 영역 성장 기법과 후처리로서의 퍼지 집합 개념^[5]을 이용한 에지 성분 강화를 통해 열화된 영상의 효과적인 에지 검출을 제안한다.

영역 성장 기법은 동질성을 갖고있는 작은 영역에서 시작해서 동질성의 조건을 만족하는 한 계속 그 영역을 확장하는 것을 의미한다. 또한 피라미드 연결 방식이란 가장 높은 공간 주파수를 나타내는 원 영상을 맨 아래에 두고 가우시안 형태의 지역 통과 필터로 주파수 대역폭을 이분하는 공간 컨볼루션을 함으로써 영상의 영역을 이분하는 방식으로서 연속적인 영상 피라미드 계층을 형성하는 다중 해상도 접근을 의미한다.

후처리로서의 퍼지 집합 개념을 이용한 에지 성분의 강화는 앞에서 얻어진 에지 성분을 더욱 강화시켜 주는 것이다. 즉, 영상을 일정한 간격의 블록(block)으로 재구성한 후 그 블록내의 최대 화소값과 각각의 화소값을 고려하여 블록 안의 화소값들을 퍼지 특성 평면으로 변환시킨 후, 변환된 값들에 대해 에지 강화 함수를 적용하는 것이다.

본 논문에서는 열화된 영상에 대한 효과적인 에지 검출 방법으로서 퍼지 논리를 이용한 피라미드 연결 방식의 영역 성장 기법으로 영상 신호에 존재할 수 있는 노이즈를 없애며 또한 분명치 않은 에지 성분을 다중 해상도 접근을 통하여 더욱 강화시킨 후 퍼지 집합 개념을 이용한 후처리 기법을 제안하고자 한다.

II 퍼지 피라미드 링킹

2.1 가우시안 영상 피라미드

영상 피라미드는 원(original) 영상이 피라미드의 근간을 이루는 데이터 구조로서 연속적인 계층은 바로 아래 계층의 공간 영역을 이분함으로써 얻어진다. 이러한 영상 피라미드의 중요한 장점중의 하나는 저해상도 정보를 고해상도 해석에 이용할 수 있다는 점이다.

가우시안 영상 피라미드는 피라미드의 맨 아래에 원 영상을 두고 4 x 4 가우시안 mask로 아래 계층의 영상을 컨볼루션(convolution)함으로써 해상도가 감소된 영상의 연속적인 계층을 얻을 수 있다. $I(i, j)$ 는 영상 피라미드의 i 번째 계층의 (i, j) 위치에 있는 화소 또는 노드를 나타내며 식 (1)로 얻어진다.

$$I(i, j) = \sum_{m=0}^{K-1} \sum_{n=0}^{K-1} \alpha(m, n) I_{i-1}(2i+m, 2j+n) \text{ for } 0 \leq i, j \leq (N/2) - 1 \quad (1)$$

가우시안 피라미드 생성 커널 계수들은 식 (2)로 정의된다.

$$W = K^T K \quad (2)$$

여기서 $K = \{a, b, b, a\}$ 이다.

본 논문에서는 a 와 b 가 각각 0.125와 0.375를 가진 커널을 사용하였다.

2.2 링킹과 계층간의 관계

링킹(linking)은 임의의 피라미드 계층에 속하는 노드나 화소를 인접한 계층의 노드와 연결시키는 과정이다. 각 계층은 피라미드의 아래 계층으로부터 4 x 4 커널 W 를 컨볼루션시킴으로써 구하기 때문에 두 개의 인접한 계층의 노드사이에는 공간적인 관계가 존재한다. 낮은 해상도의 한 노드는 그 기원을 추적할 수 있는 바로 위 해상도 계층에서 4 x 4 배열을 가지고 있다. 링킹을 위해 낮은 해상도 계층의 노드를 부노드(father node)라 하고 바로 인접한 높은 해상도 계층에서의 4 x 4 배열을 자노드(son node)라 한다. 가우시안 피라미드에서 i 계층의 각각의 부노드는 그림 1에서 보여지듯이 4 x 4 배열의 자노드들 $i-1$ 계층에 가지고 있다. 부노드는 16개의 자노드의 가중치 평균이다.

역으로 피라미드의 정점아래에 있는 i 계층의 각각의 자노드는 그림 2에서 보여지듯이 2 x 2 배열의 부노드를 가지고 있다

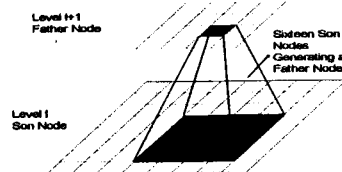


그림 1 부노드를 형성하는 자노드

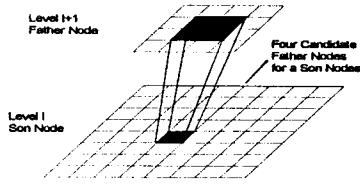


그림 2 자노드에 대한 후보 부노드

2.3 퍼지 피라미드 링킹

각각의 링크는 링크강도를 정의하는 멤버십 등급(member-ship grade)이 있다. 링크강도는 자노드의 특성벡터와 후보 부노드의 특성벡터간의 유클리디안 거리(Euclidean distance)에 기초한다. 퍼지 집합 개념에서 강도란 집합의 멤버십 등급을 표현하며 멤버십 등급(강도 또는 무게)은 멤버십 함수에 기초한다. 멤버십 함수의 선택은 주관적이고 직면한 특별한 문제에 따라 달라질 수 있다. 그림 3과 같은 sigmoid function을 멤버십 함수로 이용하여 자노드와 부노드 사이의 링킹 강도를 계산함으로써 저레벨 영상 정보를 고레벨의 영상에 충분히 반영하여 애매한 애지 부분의 특징 추출을 더욱 명확히 할 수 있다. 멤버십 함수 LS(link strength)는 다음 식 (3)과 같이 정의된다.

$$LS(u; \alpha, \beta, \gamma) = S(u; \alpha, \beta, \gamma) \quad (3)$$

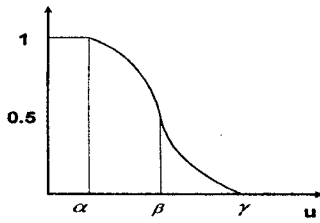


그림 3 멤버십 함수

여기서

$$S(u; \alpha, \beta, \gamma) = \begin{cases} 1 & \text{for } u \leq \alpha \\ 1 - 2\left(\frac{u-\alpha}{\gamma-\alpha}\right)^2 & \text{for } \alpha \leq u \leq \beta \\ 2\left(\frac{u-\alpha}{\gamma-\alpha}\right)^2 & \text{for } \beta \leq u \leq \gamma \\ 0 & \text{for } u \geq \gamma \end{cases} \quad (4)$$

$$u = |X_{son} - X_{father}|$$

α : 링크강도가 1에 할당된 특성벡터 차이

γ : 링크강도가 0에 할당된 특성벡터 차이

$$\beta = \frac{\alpha + \gamma}{2}; LS(u; \alpha, \beta, \gamma) = 0.5 \text{인 교차점}$$

우선 피라미드의 각 노드에 특성벡터가 계산되고 피라미드의 바닥에서부터 위로 링킹이 시작된다.

반복과정은 다음의 방법으로 수행된다.

- 1부터 N 까지 각 레벨 l 에 대해

$$w_l(i, j) = \sum_{l=1}^l w_{l-1}(i, j) LS(u; \alpha, \beta, \gamma)$$

$$s_l(i, j) = \sum_{l=1}^l s_{l-1}(i, j) LS(u; \alpha, \beta, \gamma)$$

$LS(u; \alpha, \beta, \gamma)$ 는 l 레벨의 노드 (i, j) 와 $l-1$ 레벨의 노드 (i, j) 간의 링크강도이고, 모든 자노드에 대해 합을 구한다. $s_l(i, j)$ 는 부노드에 링크된 자노드 화소값의 합이다..

- $0 \leq l < N$ 에서 각 계층 l 에 대해 포인터 $n_l(i, j)$ 는 n 개의 후보 부노드 중 최대링크를 나타내는 계층 $l+1$ 에서의 부노드를 가리킨다. 만약 둘 이상의 부노드가 같은 강도값을 가진다면 링크는 임의로 정한다. 링크는 각 반복에서 가장 큰 강도값에 의해 부노드가 바뀔때만 재할당된다.
- 일단 링크가 피라미드의 정상까지 전파되면 계층 0을 제외한 각 노드는 다음과 같은 방법으로 다시 계산된다.

$$I_l(i, j) = s_l(i, j) / w_l(i, j) \quad \text{for } w_l(i, j) > 0$$

이 과정은 링크의 안정된 집합이 결정될 때까지 계속되며 분할은 가장 강한 부노드를 자노드에 대치함으로써 이루어진다. 자노드를 후보 부노드로 대치할 것인지 아닌지는 최대 비유사성(maximum dissimilarity)의 기준에 의해서 행한다.

III 퍼지 집합 개념을 이용한 애지 성분 강화

3.1 영상의 정의

퍼지 집합 개념으로 L 레벨의 $M \times N$ 화소 영상은 퍼지 값들의 배열로 생각할 수 있다. 이 퍼지 값들은 각각 $l = 0, 1, 2, \dots, L-1$ 레벨의 밝기의 정도를 나타내는 멤버십 함수값이다. 퍼지 집합 개념으로 식 (5)과 같이 나타낸다.

$$X = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \rho_{mn} / x_{mn}, \quad m=1, 2, \dots, M; n=1, 2, \dots, N \quad (5)$$

여기서 ρ_{mn}/x_{mn} ($0 \leq \rho_{mn} \leq 1$)은 (m, n) 번째의 화소 x_{mn} 에 의한 특성 ρ_{mn} 의 포함 정도를 나타낸다. 이 퍼지 특성 ρ_{mn} 은 당면한 문제에 따라 여러 가지의 밝기 레벨로 정의될 수 있다.

본 논문의 실험에서는 2×2 크기의 블록을 잡아 그 블록내의 최대값을 고려하여 최대값과 각화소값과의 차이가 일정 문턱값(t)보다 클 때 작은 값을 때로 나누어 ρ_{mn} 을 식 (6)과 같이 생성하였다. F_d 의 값은 0.5로, F_s 의 값은 2로 그리고 t 의 값은 블록 내의 $\frac{(x_{\max} - x_{\min})}{2}$ 로 하였다.

$$\rho_{mn} = G(x_{mn}) = \begin{cases} \left[1 + \frac{(x_{\max} - x_{mn})}{F_d} \right]^{-F_s} & (x_{\max} - x_{mn}) \geq t \\ 1 & (x_{\max} - x_{mn}) < t \end{cases} \quad (6)$$

3.2 특성 평면에서의 조도 강화

퍼지 집합에 조도 강화 연산자(f)를 적용함으로써 또 다른 퍼지 집합을 생성한다. 이 때의 멤버십 함수값은 식 (7)과 같다.

$$\mu_A(x) = \mu_{AA}(x) = \begin{cases} 2[\mu_A(x)]^2, & 0 \leq \mu_A(x) \leq 0.5 \\ [1 - 2(1 - \mu_A(x))^2], & 0.5 \leq \mu_A(x) \leq 1 \end{cases} \quad (7)$$

식 (7)은 0.5 이상인 $\mu_A(x)$ 의 값은 더욱 큰 값으로 증가시키고 0.5 이하인 $\mu_A(x)$ 의 값은 더욱 작은 값으로 감소시킴으로써 집합 A 의 모호함(fuzziness)을 줄인다. 멤버십 함수 $\mu(x)$ 를 T_1 로 변환시킴으로써 식 (7)의 연산을 정의할 수 있다.

일반적으로, 특성 평면의 영상 X 를 강화시켜 주기 위해 식 (5)의 영상 X 안의 각각의 ρ_{mn} 은 변환함수 T_r 에 의해 ρ_{mn} 으로 수정되어진다. 여기서 ρ_{mn} 은 식 (8)과 같다.

$$\rho_{mn} = T_r(\rho_{mn}) = \begin{cases} T_r^-(\rho_{mn}), & 0 \leq \rho_{mn} \leq 0.5 \\ T_r^+(\rho_{mn}), & 0.5 \leq \rho_{mn} \leq 1 \\ r = 1, 2 \dots \end{cases} \quad (8)$$

변환함수 T_r 은 순환반복관계(recursive relationship)에 의해 T_1 의 연속적인 적용으로서 식 (9)와 같이 정의되어진다.

$$T_r(\rho_{mn}) = T_1\{T_{r-1}(\rho_{mn})\}, \quad s = 1, 2, \dots \quad (9)$$

식 (9)는 그림 4에 그래프적으로 나타냈다

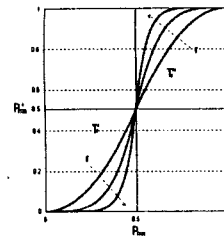


그림 4 특성 평면에서의 조도강화를 위한 변환 함수 ρ_i 가 증가할수록 곡선은 가파라진다. 극단적인 경우 $r \rightarrow \infty$ 이면, T_r 은 이진(binary)영상이 된다.

IV 실험 및 결과 고찰

그림 5 는 제안한 에지 검출 시스템이다.

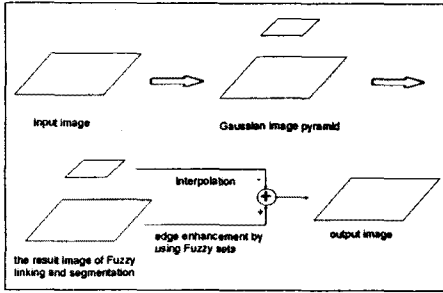
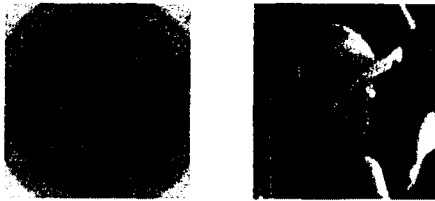


그림 5 제안한 에지 검출 시스템

열화된 영상이란 영상을 획득하는 시스템의 비축점화로 인한 번짐(blurring)과 열잡음(thermal noise) 또는 양자화 잡음(quantization noise) 등의 잡음이 첨가된 영상을 의미한다. 본 논문에서는 256×256의 크기를 갖는 LENA와 CIRCLE 영상을 9×9 크기의 평균필터(averaging filter)로 번지게하고 신호 대 잡음비(SNR)가 6 dB 이 되는 가우시안 잡음을 첨가하여 열화된 영상을 획득하였다. 그림 6은 CIRCLE과 LENA 영상을 열화시켜 얻은 영상이다.



(a) CIRCLE (b) LENA

그림 6 열화 영상

정확한 에지의 위치를 알고 있는 영상에서는 에지검출은 식 (10) 로 평가할 수 있다.

$$F = \frac{1}{\max(N_e, N_d)} \sum_{i=1}^{N_e} \frac{1}{1 + a d_i^2} \quad (10)$$

여기서 d_i 는 에지라고 판명된 화소와 원 에지 화소까지의 거리를 나타내고 a 는 측정 상수이다. N_e 은 원 에지 화소의 개수이고 N_d 는 검출된 에지 화소의 개수이다.

표 1은 CIRCLE 영상의 에지 검출 성능 평가 결과이다.

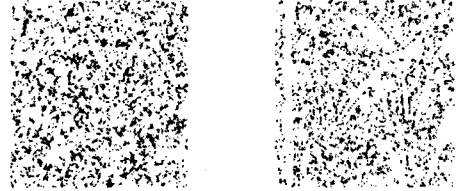
표 1 에지 검출 성능 비교 ($a = 0.01$)

SNR(dB)	Sobel	Prewitt	LOG	Fuzzy
9	0.79	0.79	0.71	0.97
6	0.76	0.76	0.72	0.94
3	0.75	0.75	0.72	0.90

그림 7은 CIRCLE 영상과 LENA 영상을 Sobel 연산자와 라플라스 연산자를 이용하여 에지를 검출한 결과와 본 논문에서 제안한 방법으로 에지를 검출한 결과를 함께 비교한 것이다.



(a) Sobel



(b) LOG



(c) 제안한 방법

그림 7 CIRCLE 과 LENA 영상

V 결론

본 연구에서는 퍼지피라미드 링킹 기법과 퍼지 집합 개념을 이용한 에지 성분강화 기법을 사용하여 열화된 영상에서 에지를 검출하는 방법을 제안하였다. 퍼지 피라미드 링킹 기법에서는 우선 가우시안 영상 피라미드를 한 층 쌓고, 원 영상과 피라미드 영상 간의 유사정도에 따라 다른 가중치를 갖는 퍼지 기법의 링킹과정을 통해 잡음을 줄이고 왜곡이 거의 없는 이중 해상도의 영상 분석을 가능케 했다. 이 링킹은 반복적 수행에 의해 수렴되고 일단 수렴이 이루어지면 피라미드 영상의 화소값을 원 영상에 심어주는 과정을 통해 어느정도 에지 성분을 강조 해 줄을 알 수 있었다. 또한 후처리로서 퍼지 집합 개념을 이용하여 영상의 각 화소값을 특정 평면으로 변환한 후 제안한 조도 강화 함수를 통해 에지 부분을 더욱 강화할 수 있었다. 피라미드 영상은 원 영상을 가우시안 저역통과필터로 필터링하여 얻은 영상이므로 고주파수 성분인 에지 부분이 많이 소멸된 영상이고, 본 논문에서 제안한 기법으로 구한 결과영상은 에지 부분을 많이 강조한 영상이다. 그러므로 피라미드 영상을 보강하였을 때 그 보강영상과 결과영상의 화소값의 차이는 에지부분에서는 크게 나고, 같은 영역에 속하는 부분은 거의 없다. 이런 원리를 이용하여 에지검출은 두 영상의 차이를 구하는 것으로 간단히 얻을 수 있었다. 에지 검출 성능은 유클리디안 거리 개념을 이용하여 확인할 수 있었고 또한 시각적으로도 확인할 수 있었다.

VI 참고 문헌

- [1] Vishvjit S. Nalwa & Thomas O. Binford, "On Detecting Edges", IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. PAMI-8 No. 6, pp. 699~714, 1986.
- [2] Vincent Torre & Tomaso A. Poggio, "On Edge Detection", IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. PAMI-8 No. 2, pp. 147~163, 1986.
- [3] Todd Law, Hidenori Itoh & Hirohisa Seki, "Image Filtering, Edge Detection, and Edge Tracing Using Fuzzy Reasoning", IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 18 No. 5, pp. 481~491, 1996.
- [4] A.Rosenfeld, "Multiresolution Image Processing and Analysis", Springer, Berlin, 1984.
- [5] Sankar K. Pal & Robert A.King, "Image Enhancement Using Smoothing with Fuzzy", IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. SMC-11, No. 7, pp. 494~501, 1981.