

# 형태학적 처리를 이용한 윤곽선의 선명도 향상 알고리즘

남 진 우  
인덕대학 전자응용계열 전자전공

## An Edge Enhancement Algorithm using Morphological Processing

Jin-Woo Nahm  
Induk Institute of Technology, E-mail: jwnahm@mail.induk.ac.kr

### 요 약

고역의 주파수 성분이 감소되어 선명도가 저하된 이미지나 선형 보간법에 의해 확대된 이미지의 계단모양 왜곡을 감소시킴으로써 경계선의 선명도가 저하된 이미지들을 위해 형태학적 처리(morphological processing)에 의한 이미지 윤곽선의 선명도를 향상시키는 방법을 제안하였다. 본 논문에서는 블러링(blurring)된 이미지를 화소의 명암에 따라 다수개의 평판 이미지(slice image)로 나누고 각 평판 이미지에 대해 반복적인 최대/최소값 필터(min/max filter)의 적용으로 얻어진 윤곽선의 중심을 기준으로 하여 팽창(dilation)과 침식(erosion)을 수행함으로써 이미지의 윤곽선에서의 명암 변화에 대한 경사도를 크게 만들고 이로써 이미지 윤곽선의 선명도를 향상시키는 방법을 사용하였으며 모의 시험결과를 통하여 고역 주파수 강조에 의한 방법에 비하여 인위적인 잡음(artifact)없이 효과적으로 선명도를 향상시킬 수 있음을 보였다.

### 1. 서 론

부족한 표본화 주파수를 갖는 샘플링 시스템을 통하여 표본화된 이미지나 대역폭이 부족한 전송 채널을 통하여 전송된 이미지의 경우에는 고역이 감소되어 흔히 선명도가 저하하는 문제가 발생한다. 이미지가 경사도가 낮은 저역 통과 필터에 의하여 단순히 블러링(blurring)되었을 때는 고역 통과 필터 또는 고역 강화 필터를 사용하여 이미지의 윤곽선을 강조하고 이로써 선명도를 향상시킬 수 있으나 이미 감소된 고역 주파수 성분을 충분히 키울 수 없을 때는 선명도를 향상시키는 데 한계가 있다. 특히 선형 보간법에 의해 확대

된 이미지와 같이 이미지의 윤곽선에 계단모양의 왜곡이 발생한 경우에 방향성 필터 등으로 계단모양의 왜곡을 완화시키게 되면 방향성 필터가 저역 통과 필터의 특성을 가지므로 윤곽선에서의 선명도가 저하하게 되고 이를 다시 고역 통과 필터로 선명도를 향상시키는 경우 원래 포함하고 있던 계단모양의 왜곡이 다시 증폭되어 나타나는 문제가 발생한다. 일반적으로 윤곽선의 선명도는 경계선에서의 화소의 명암변화의 변화율에 따라 결정되므로 이 명암변화에 대한 경사도를 크게 만들고 이로써 윤곽선의 선명도를 향상시킬 수 있다. 본 연구에서는 형태학적인 처리(morphological processing)를 이용하여 이미지 윤곽선에서의 선명도를 향상시키는 방법을 제안하였다.

블러링된 이미지를 화소의 명암에 따라 다수개의 평판 이미지로 나누고 각 평판 이미지에 대해 반복적인 최대/최소값 필터(min/max filter)의 적용으로 얻어진 윤곽선의 중심을 기준으로 하여 팽창(dilation)과 침식(erosion)을 수행함으로써 경계선에서의 화소값을 변화시켜 전체적인 이미지에서 윤곽선에서의 명암 변화에 대한 경사도를 크게 함으로써 블러링된 이미지의 윤곽선의 선명도를 향상시킬 수 있게 된다.

## II. 형태학적 처리 (Morphological Processing)

형태학적 처리는 Minkowski의 공간 집합 이론과 Matheron의 토폴로지 이론으로부터 출발하여 1960~1970년대에 디지털 영상처리에 이용되기 시작하였으며 Serra등에 의해 이미지에 대한 여러 가지 형태학적 처리의 방법과 적용이 소개되었다. 형태학적 처리는 이미지 상에서 목적물을 균일하게 팽창(dilation)시키거나 침식(erosion)시킴으로써 목적물을 확장시키거나 축소시킨다.

이진 이미지를  $X$ , 구조요소를  $B$ 라 하면  $B$ 에 의한  $X$ 의 침식(erosion)은 이미지  $X$ 를 축소하는 작용을 하며 식 (1)과 같이 주어진다.

$$X \ominus B \equiv \bigcup_{x \in X} (b+x \mid b \in B) \quad (1)$$

또한  $B$ 에 의한  $X$ 의 팽창(dilation)은 이미지  $X$ 를 확장하는 작용을 하며 식 (2)와 같이 주어진다.

$$X \oplus B \equiv \{p \mid b+p \subseteq X\} \quad (2)$$

이진 이미지의 형태학적인 처리의 그레이 스케일 이미지에 대한 확장은 1980년대에 Sternberg에 의해 소개되었으며  $f$ 를 그레이 스케일 이미지,  $b$ 를 구조요소라 가정하면  $b$ 에 의한  $f$ 의 침식( $e$ )과 팽창( $d$ )은 구조요소의 영역  $[m_1, m_2]$ 에 대해  $f$ 의 영역 내에 존재하는  $[n_1 - m_1, n_2 - m_2]$ 의 모든 범위 내에서 각각  $f \ominus b$ 의 최소값과 최대값을 취함으로써 얻어지며 식(3)과 같이 주어진다.

$$\begin{aligned} e[n_1, n_2] &= \text{MIN} \{f[n_1 - m_1, n_2 - m_2] - b[m_1, m_2]\} \\ d[n_1, n_2] &= \text{MAX} \{f[n_1 - m_1, n_2 - m_2] + b[m_1, m_2]\} \end{aligned} \quad (3)$$

만약 그레이 스케일 이미지에서 구조요소가 3×3 정방형의 형태를 갖는다면 구조요소의 영역은 다음과 같이 주어지고,

$$D_B = \{ (-1, -1)(0, -1)(1, -1)(-1, 0) \\ (0, 0)(1, 0)(-1, -1)(0, 1)(1, 1) \} \quad (4)$$

이 때 구조요소의 크기를 영으로 가정하면 침식과 팽창은  $[m_1, m_2] \in D_B$ 인 구조요소의 영역에 대해  $f$ 의 영역 내에 존재하는 모든  $[n_1 - m_1, n_2 - m_2]$ 의 범위 내에서 각각  $f$ 의 최소값과 최대값을 취한다. 따라서  $b$ 에 의한  $f$ 의 침식( $e$ ) 및 팽창( $d$ )은 다음과 같이 주어진다.

$$\begin{aligned} e[n_1, n_2] &= \text{MIN}_{([m_1, m_2] \in D_B)} [f(n_1 - m_1, n_2 - m_2)] \\ d[n_1, n_2] &= \text{MAX}_{([m_1, m_2] \in D_B)} [f(n_1 - m_1, n_2 - m_2)] \end{aligned} \quad (5)$$

## III. 윤곽선의 선명도 향상

그레이 스케일 이미지는 다수개의 이진 이미지의 묶음으로 간주할 수 있으므로 그레이 스케일의 자연 이미지를 화소의 값에 따라 255개의 이진 평판 이미지로 분해하면 각 평판 이미지에 대해 이진 형태학적 처리를 수행할 수 있다. 본 연구에서는 연산량을 감소시키기 위해 원 이미지를 255개의 이진 평판 이미지 대신 16개의 그레이 스케일 평판 이미지로 분할하였으며, 이 경우에 있어 16개의 평판 이미지는 대부분의 영역에서는 이진 이미지의 특성을 갖고 윤곽선 부근에서만 그레이 스케일의 화소값을 갖는다. 따라서 각 평판 이미지에 대해 그레이 스케일의 형태학적 처리 방법을 사용하여 팽창시키거나 침식시킨다.

$X$ 를 원래의 이미지로,  $X_s$ 를 분할된 평판 이미지로 가정하면 각 평판 이미지의 화소값은 특정한 범위 내에 존재한다.

$$\{ X_s \mid l_L \leq f_x[n_1, n_2] < l_H \}, \quad l_L, l_H = 0 \sim 255. \quad (6)$$

만일 인접한 각 평판 이미지에 대해 화소값 범위의 차이가 1이면(  $l_H = l_L + 1$  )  $X_s$ 는 이진 평판 이미지가 된다. 각 평판 이미지에서 목적물(object)의 경계선은 전체 이미지상에서 윤곽선을 의미하므로 이들 경계선 상에서 목적물을 팽창시키거나 침식시킴으로써 이미지의 윤곽선에서의 명암변화에 대한 경사도를 조절할 수 있으며, 이 때 경사도를 키움으로써 윤곽선에서의 선명도를 향상시킬 수 있다. 그림 1에 16개의 평판 이미지 중 2, 6, 10, 14번째의 평판이미지의 예를 보였다.

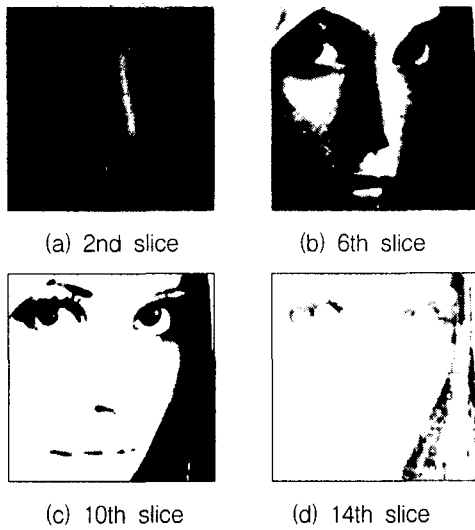


그림 1. 평판 이미지: (a) 2번째, (b) 6번째, (c) 10번째, (d) 14번째 평판 이미지.  
Figure 1. Slice images: (a) 2nd, (b) 6th, (c) 10th, (d) 14th slice image.

각 평판 이미지상에서 침식과 팽창의 양을 결정하기 위하여 이미지의 분산에 적절한 임계치를 적용하여 윤곽선의 범위를 추출하고 최대/최소값 필터를 반복적으로 적용하여 윤곽선의 중심을 구한다. 그림 2에 윤곽선의 범위와 윤곽선을 중심으로 팽창과 수축이 될 영역을 표시하였으며 밝은 부분은 팽창이 되어야 할 부분을, 검게 표시되어 있는 영역은 침식이 되어야 할 영역을 표시한다. 그림 3에 최대/최소값 필터를 사용하여 윤곽선의 중심을 구한 예를 보였다.

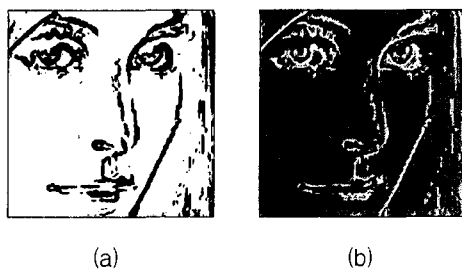


그림 2. (a) 윤곽선 영역 (b) 팽창 및 침식영역 (백색 - 팽창 영역, 흑색 - 침식 영역)  
Figure 2. C(a) transition region (b) regions for dilation and erosion (white for dilation, black for erosion)

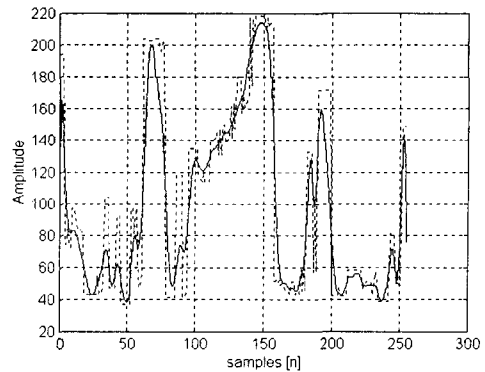
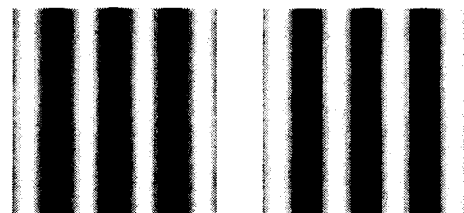


그림 3. 최소/최대값 필터의 반복 적용에 의하여 구해진 경계선의 중심  
Figure 3. Center of transition using iterative MIN/MAX filter

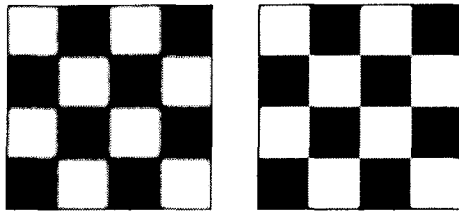
윤곽선의 선명도를 향상시키기 위해서 우선 블러링된 입력 이미지의 지역적 분산을 구하고 적절한 임계치를 사용하여 윤곽선 부분을 추출한다. 입력 이미지에 최대/최소값 필터를 반복적으로 적용하여 윤곽선의 중심을 구하고 최대/최소값 필터를 사용하여 지역적으로 클립시킨 이미지와 블러링된 이미지의 차를 구하여 팽창시킬 영역과 침식시킬 영역을 구한다. 윤곽선의 경계선으로부터 윤곽선의 중심까지의 거리를 측정하여 침식시키거나 팽창시킬 거리를 계산하고 이에 따라 각 평판 이미지를 침식시키거나 팽창시킨다.

## V. 시뮬레이션 결과

그림 4의 (a), (b), (c), (d)와 같은 4가지의 시험 이미지에 대하여 제안된 알고리즘을 적용하였으며 (e), (f), (g), (h)에 선명도가 향상된 결과를 보였다. 또한 그림 5에 선명도가 향상된 이미지에 대해 윤곽선 영역에서 명암변화의 경사도가 증가하였음을 블러링된 이미지의 경우와 비교하여 표시하였다.



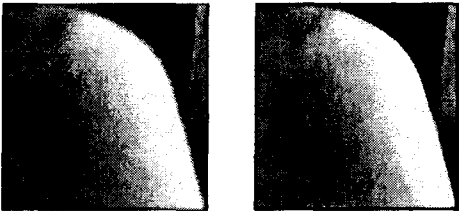
column: (a) blurred (e) enhanced



checker board: (b) blurred (f) enhanced



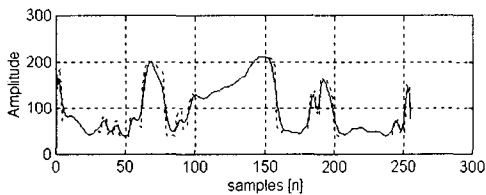
face: (c) blurred (g) enhanced



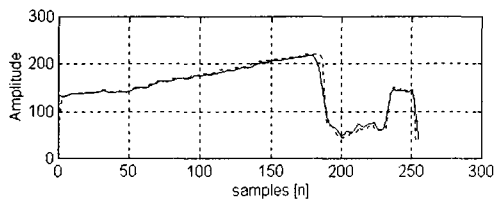
shoulder: (d) blurred (h) enhanced

그림 4. 형태학적 처리에 의한 선명도 향상의 예: 블러링된 이미지 - (a), (b), (c), (d), 선명도가 향상된 이미지 - (e), (f), (g), (h).

Figure 4. Example of morphological enhancement: blurred image - (a), (b), (c), (d), enhanced - (e), (f), (g), (h).



(a) face



(b) shoulder

그림 5. 윤곽선에서의 화소값 비교의 예 (실선 - 블러링된 신호, 점선 - 선명도가 향상된 신호):

(a) face, (b) shoulder

Figure 5. Amplitude profile (solid - blurred, dotted - enhanced): (a) face, (b) shoulder

## VI. 결 론

이미지를 화소값의 범위에 따라 다수개의 평판 이미지로 분할하고 각 평판이미지에 대해 형태학적 처리에 의해 윤곽선의 선명도를 향상시키는 방법을 제안하였으며, 시뮬레이션 결과 윤곽선 영역에서의 선명도가 향상되었음을 보이고 있으며 특히 명암의 변화가 뚜렷한 이미지의 경우에 더욱 효과적으로 윤곽선의 선명도를 향상되었다. 제안된 알고리즘에서 윤곽선의 중심을 정확히 찾는 것이 매우 중요하며 앞으로 세선화 방법 등에 의해 보다 정확한 윤곽선의 중심을 찾는 연구가 수행되어야 할 것이다.

## 참고문헌

- [1] Stanley R. Sternberg, "Grayscale Morphology," *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, 35, pp.333-355, 1986.
- [2] J. Serra, "Image analysis and mathematical morphology," *Academic Press*, 1988.
- [3] William K. Pratt, "Digital Image Processing," *John Wiley & Sons, Inc.*, 2nd edition, 1991.
- [4] James S. J. Lee, Robert M. Haralick, Linda G. Shapiro, "Morphological Edge Detection," *IEEE Journal of Robotics and Automation*, vol.RA-3, no.2; pp.142-156, 1987.
- [5] Petros Maragos, "Tutorial on advances in morphological Image processing and analysis," *Optical Engineering*, vol.26, no.7, pp.623-632, July 1987.
- [6] W. Chen and S.T. Acton, "Morphological Pyramids for Multiscale Edge Detection," *Proc. of the IEEE Southwest Symposium on Image Analysis and Interpretation, Tucson*, April 6-7, 1998.