

금석문 영상 향상을 위한 형태학적 필터

김기석*, 최호형**

* 경주대학교 컴퓨터전자공학부 정보통신공학전공 조교수

TEL : 054-770-5177, E-mail : kings@kyongju.ac.kr

** 경주대학교 대학원 컴퓨터전자공학과 정보통신공학전공 석사과정

TEL : 054-770-5177, E-mail : chhman@kyongju.ac.kr

Morphological Filter for Enhancement of Monumental Inscription Image

Abstract

The study on Shilla monumental inscription has been accomplished by many historians. However, the research on enhancement of monumental inscription image using digital image processing technique is not sufficient. The preprocessing using computer is needed for accurate interpretation of history. In this paper, digital image enhancement algorithm based on mathematical morphology for noise reduction and character clearness is proposed. In the experiment, the subjective image quality is improved using the proposed algorithm.

I. 서론

금석문은 정치, 사회, 문화 등을 비롯한 제분야에서 동시대적인 생활환경을 생생하게 보 관하고 있는 중요한 자료로서 그 역사학적 가치는 엄청나다.^[1] 이러한 금석문 연구는 돌의 흠집이나 쪼개짐 등으로 인해 탁본 후 글자를 알아볼 수 없는 경우가 많다. 특히 나무에 새겨진 목간은 부패로 인해 육안으로 알아볼 수가 없어서 적외선 카메라 등을 이용하여 가시광선 영역 바깥을 촬영해야 영상을 획득할 수 있으며, 획득된 적외선 영상도 알아보기가 힘든 경우가 허다하다. 이러한 파손된 글자들은 금석문 연구 사학자들에 의해 계속 연구·토론되어 비문 중 빈 부분들을 채워나가며 뜻을 해석해 가는 작업이 진행되어 오고 있다. 하지만 파손이나 손상의 정도에 따라서는 분석 시간이 너무 많이 걸리고, 사학자들의 연구 결과 의견도 일치를 보기가 힘들다.^[2] 문화재의 물리·화학적 보존은 국내외적으로 어느 정도 연구되고 있으나 컴퓨터를 이용한 디지털 신호 처리적인 면에서는 연구가 거의 이루어지지 않고 있는 상황이다.

신라 목간의 경우를 보면 함안 성산산성 출토 목간에서 보다시피 부패도가 심하여 육안으로는 식별할 수가 없으므로 적외선 카메라로 촬영하여 글자의 형상을 겨우 알아볼 수 있는 수준이다.^[3] 현재는 적외선 목간 영상 해석에 대한 전처리(preprocessing) 단계를 통한 영상 향상이 없는 채로 연구가 이루어지고 있다. 세계적으로 유물 보존이나 고문서 보관 등에 대한 공학적인 연구는 어느 정도 이루어지고 있다. 하지만, 금석문 등의 문장의 해석 및 유

추에 있어서 선행되어야 할 컴퓨터를 이용한 탁본, 사진, 목간 적외선 영상 등의 영상 화질 개선과 향상에 대한 연구는 미미한 상태이다.

본 논문에서는 디지털 영상 처리 기법 중 수리 형태학(mathematical morphology)^[4-6]에 기반하여 글자 해석에 거슬리는 불필요한 영상 잡음(noise)들은 비선형적으로 제거하고, 글자 부분은 더 선명하게 보이게 하는 알고리즘을 개발하여 사학적 금석문 연구의 전처리단계를 확립하고자 한다.

II. 수리 형태학

수리 형태학은 디지털 영상 해석에 효과적인 방법을 제공한다.^[7-10] 수리 형태학의 두 가지 기본 연산은 dilation과 erosion이다. E^N 은 모든 점, $p = \{x_1, x_2, \dots, x_N\}$,의 집합이며, A 와 B 는 E^N 의 부분집합일 때, 형태소(structuring element) B 에 의한 A 의 이진 dilation은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} A \oplus B &= \{ c \in E^N \mid c = a + b \\ &\quad \text{for some } a \in A \text{ and } b \in B \} \\ &= \bigcup_{b \in B} (A)_b = \bigcup_{a \in A} (B)_a \\ &= B \oplus A \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 $(A)_b$ 는 b 에 의한 A 의 변위(translation)이다. 그리고 B 에 의한 A 의 이진 erosion은

$$\begin{aligned} A \ominus B &= \{ x \in E^N \mid x + b \in A \\ &\quad \text{for every } b \in B \} \\ &= \bigcap_{b \in B} (A)_{-b} \\ &= \{ x \in E^N \mid (B)_x \subseteq A \} \end{aligned} \quad (2)$$

이다.

Dilation과 erosion에 의해 closing과 opening이 정의된다.

$$A \cdot B = (A \oplus B) \ominus B \quad (3)$$

$$A \circ B = (A \ominus B) \oplus B \quad (4)$$

그리고 n 차 다중척도(multiscale) closing과 opening은

$$A \cdot nB = (A \oplus nB) \ominus nB \quad (5)$$

$$A \circ nB = (A \ominus nB) \oplus nB \quad (6)$$

$$nB = B \oplus \dots \oplus B, (n-1 \text{ times dilations}) \quad (7)$$

이다. 이진 형태학적 연산은 최소(minimum) 또는 최대(maximum) 연산을 사용함으로써 명암도 영상으로 자연스럽게 확장된다. $f: F \rightarrow E$ 이고 $g: K \rightarrow E$ 이면 명암도 dilation과 erosion은

$$f \oplus k(x) = \max_{x-z \in F, z \in K} \{ f(x-z) + k(z) \} \quad (8)$$

$$f \ominus k(x) = \min_{x+z \in F, z \in K} \{ f(x+z) - k(z) \} \quad (9)$$

이다. 유사하게 다음과 같이 정의된다.

$$f \cdot k = (f \oplus k) \ominus k \quad (10)$$

$$f \circ k = (f \ominus k) \oplus k \quad (11)$$

$$f \cdot nk = (f \oplus k) \ominus k \quad (12)$$

$$f \circ nk = (f \ominus k) \oplus k \quad (13)$$

$$nk = k \oplus k \oplus \dots \oplus k, (n-1 \text{ times dilations}) \quad (14)$$

집합 이론에 기반한 수리 형태학은 영상에서 물체에 대한 형태, 크기, 대비 및 연결성(connectivity) 등의 다양한 특징을 추출할 수 있다. 또한 영상에서 동질성(homogeneity)과 연속성을 만족하는 부분에 대한 특징의 추출이 효과적이므로 영상 분할 및 개선이 용이하다.

형태소의 명암도가 0이고 면적만 있는 경우에, $f(x)$ 는 입력 영상이며, M_n 은 크기 n 인 형태소일 때 명암도 dilation δ_n 과 erosion ε_n 은 다음과 같이 정의되고, opening γ_n 과 closing ϕ_n 은 두 기본 연산의 조합으로 이루어진다.

$$\delta_n(f)(x) = \max \{ f(x-y), y \in M_n \} \quad (15)$$

$$\varepsilon_n(f)(x) = \min \{ f(x+y), y \in M_n \} \quad (16)$$

$$\gamma_n(f)(x) = \delta_n(\varepsilon_n(f)(x)) \quad (17)$$

$$\phi_n(f)(x) = \varepsilon_n(\delta_n(f)(x)) \quad (18)$$

형태학적 기울기(gradient)는 영상에 포함된 명암도의 윤곽선을 부각시키는 필터이며 일반적으로 아래의 세 가지 형태학적 연산들에 의해 구현된다.

$$g = \delta_1(f) - \varepsilon_1(f) \quad (19)$$

$$g^- = f - \varepsilon_1(f) \quad (20)$$

$$g^+ = \delta_1(f) - f \quad (21)$$

일반적인 형태학적 기울기 g 는 윤곽선 위치의 좌우 대칭을 이루나 윤곽선이 두꺼워지며, 반면 식 (20)과 (21)의 erosion과 dilation에 의한 기울기 g^- 와 g^+ 는 윤곽선이 얇지만 대칭을 이루지 못하고 어느 한 영역으로 편향(bias)된다.

III. 제안한 알고리즘

본 논문에서 다루게 되는 금석문 영상은 오랜 세월이 지나 풍화가 심하여 기존의 영상 향상 알고리즘을 단순히 적용해서는 개선된 결과를 얻을 수가 없다. 심지어 목간 영상 등은

육안으로는 전혀 글씨가 보이지 않아 적외선 카메라로 촬영을 하여야 겨우 그림 1과 같은 정도의 영상을 획득할 수 있다.

그림에서 보다시피 영상 내 명암도 등의 분포가 일관성이 없고 목간과 배경을 분리하더라도 목간 내부에서 글자 부분과 여백 부분이 명암도가 혼탁하여 적절한 전처리 과정을 통한 후에 영상을 개선하는 알고리즘 적용이 필수적이다.

그림 2는 제안한 금석문 영상 향상 알고리즘의 전체적인 블록도이다. 입력 영상으로써 적외선 카메라로 촬영한 금석문(목간) 영상이 들어오면 글자 영역을 개략적으로 분리한다. 이는 배경부분과 중심 영역의 비상관성을 효과적으로 해결한다.

그리고 다음 단계는 전처리 과정으로, 수리 형태학적 opening과 closing 연산을 반복 적용하여 영상의 잡음을 제거하고 글자의 연결성을 개선한다. Opening을 먼저 수행하는 것은 글자 부분의 어두운 명암도를 살려 연결성의 우선 순위를 배경보다는 어두운 글자 영역에 두기 위함이다. 만약에 탁본 영상 등과 같이 글자 부분이 밝은 영상에 적용할 때는 두 연산의 적용 순서를 바꾸어야 한다.

수리 형태학을 적용할 때 고려해야 할 중요한 점이 형태소의 선택이다. 단순한 개선을 위해서는 3×3이나 5×5 정방형(square) 형태소가 무방하나 금석문 영상은 한자로 되어 있으므로 글자 획이 부분적으로 곡선이 많이 포함되어 있으므로 제안한 알고리즘에서는 5×5 원형(circle) 형태소를 제안하였다. 본 알고리즘에 사용되는 형태소는 그림 3에 나타내었다.

글자 획의 연결성을 향상시키기 위해서는 위에서 언급한 2차원적인 형태소보다 1차원 형태소에 의한 방향성 필터의 적용도 용이할 것이다.

본 알고리즘에서 금석문 영상 향상을 위해 제안한 형태학적 open_closing 필터는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \omega_n(f)(x) &= \phi_n(\gamma_n(f)(x)) \\ &= \varepsilon_n(\delta_n(\delta_n(\varepsilon_n(f)(x)))) \end{aligned} \quad (22)$$

제안한 알고리즘에서는 최종 처리과정으로 히스토그램 조정을 영상에 맞게 적용하여 인간 시각으로 식별이 용이한 영상을 얻게 된다.



그림 1. 금석문(목간) 적외선 영상.

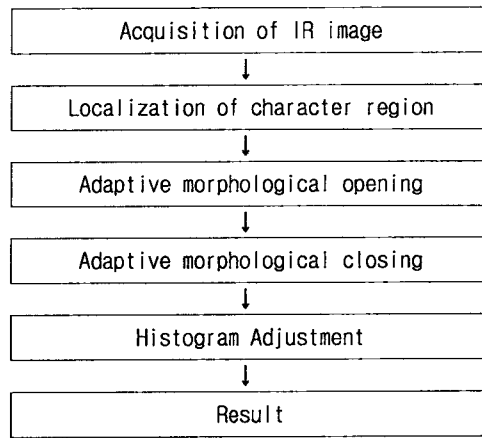


그림 2. 제안한 글자영상 영상 개선 알고리즘.

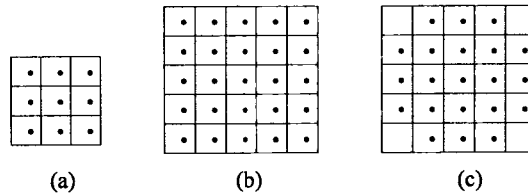


그림 3. 제안한 알고리즘에 사용한 형태소. (a)3×3 square. (b)5×5 square. (c)5×5 circle.

IV. 실험

실험에서는 그림 1의 목간 적외선 영상의 글자들을 사용하여 제안한 알고리즘을 적용하였다. 목간 적외선 영상은 합안 생산산성 출토 목간을 적외선 카메라로 촬영한 영상을 스캐너로 입력받았으며, 영상 처리 시의 해상도는 256×256 화소로 균일화하였다. 실험을 위한 프로그램은 C 언어를 이용하여 구현하였으며, 제안한 전체 알고리즘은 수리 형태학적 연산이 대부분이므로 수행시간 면에서는 Pentium급 PC 상에서 거의 실시간 처리가 가능하였다.

수리 형태학 필터를 적용 시, 형태소는 그림 4의 정방형 형태소와 원형 형태소를 사용하였는데, 한자를 처리하므로 역시 원형 형태소를 사용한 최종 결과가 좀 더 우수하였다.

그림 4와 5는 서로 다른 두 글자 영역에 대해 정방형 형태소를 이용하여 제안한 알고리즘을 적용한 결과이며, 그림 6과 7은 원형 형태소를 이용한 결과이다.

그림 4~7에서 (a)는 적외선 영상에서 한 글자씩 분리한 원 영상이고, (b)는 이 원 영상에 대해 opening 필터를 적용한 결과이며 (c)는 원 영상에 대해 closing 연산을 취한 결과이다. 그림에서 보듯이 opening이 영상의 어두운 획 부분을 더 잘 강조함을 볼 수 있다. 그림에서 (d)영상은 원 영상에 제안한 open_closing 필터를 적용한 결과 영상이다. 배경의 잡음을 제거한 효과를 명확히 알 수 있다. 또한, 글자 획의 연결성이 단순한 형태학적 필터를 적용한 것보다는 우수하다. 그림에서 (e)영상은 제안한 필터를 적용한 후 히스토그램의 대조를 강화한 영상으로, 직접적인 영상 인식을 위한 이진화가 필요한 것은 아니므로 영상 향상의 목적은 달성하였다.

실험 결과에 의하면 정방향 형태소보다는 원형 형태소가 금석문 영상 개선에 더욱 효율적임을 알 수 있으며, 형태학적 필터 결과 영상 상에서 opening이나 closing만 적용한 것보다는 제안한 open_closing 필터가 획의 연결성 확보 및 영상 개선 효과가 뚜렷함을 알 수 있다.

V. 결론

금석문은 마모, 훼손, 부패 등으로 인하여 일반 영상과는 다른 특성들이 존재한다. 이러한 금석문 영상 향상은 기존의 영상 향상과는 다른 기법이 요구된다. 형태학적 필터를 통해 입력 영상의 잡음을 제거하고 획의 연결성을 개선한 후 히스토그램 조정을 통하여 개선된 금석문 영상을 얻었다. 실험을 통해, 인간 시각으로 식별이 힘든 묵간 적외선 영상을 글자별로 완전히 향상된 결과를 얻었다. 제안한 알고리즘에서 수리 형태학을 적용하여 영상을 개선하였으므로, 병렬 구현이나 하드웨어 구현도 용이하다. 하지만, 영상의 이산성을 완전히 극복하지 못하여, 향상은 되었지만 완벽하지는 못하고 미소한 왜곡이 발생하였다. 더욱 효과적이고 신뢰성이 높은 방향성 형태학 등에 의한 금석문 영상 개선 알고리즘 연구가 필요하다.

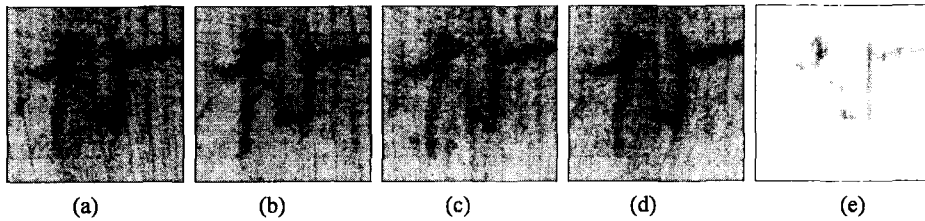


그림 4. 3×3 정방향 형태소를 적용한 결과. (a) 원 영상. (b) Opening 적용 영상. (c) Closing 적용 영상. (d) Opening 후 closing 적용 영상. (e) 최종 결과 영상.

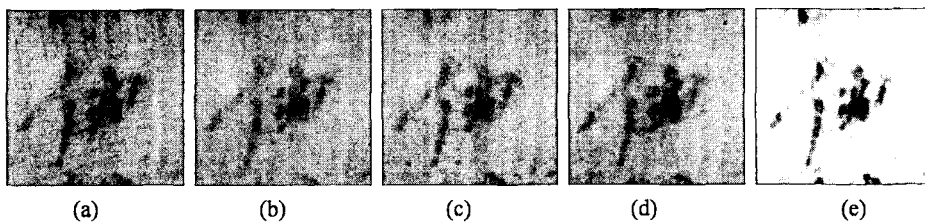


그림 5. 3×3 정방향 형태소를 적용한 결과. (a) 원 영상. (b) Opening 적용 영상. (c) Closing 적용 영상. (d) Opening 후 closing 적용 영상. (e) 최종 결과 영상.

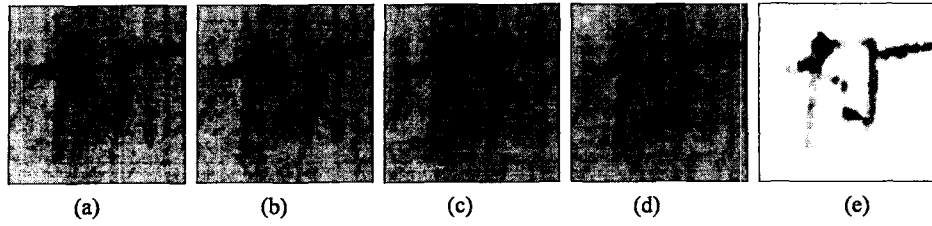


그림 6. 5×5 원형 형태소를 적용한 결과. (a) 원 영상. (b) Opening 적용 영상. (c) Closing 적용 영상. (d) Opening 후 closing 적용 영상. (e) 최종 결과 영상.

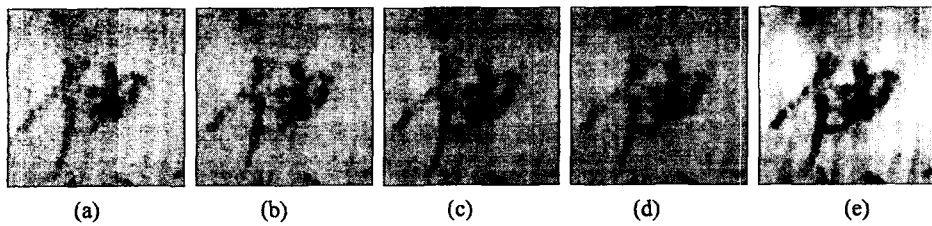


그림 7. 5×5 원형 형태소를 적용한 결과. (a) 원 영상. (b) Opening 적용 영상. (c) Closing 적용 영상. (d) Opening 후 closing 적용 영상. (e) 최종 결과 영상.

참고문헌

- [1] 金昌鎬, 古新羅 金石文의 研究, 慶州文化研究所, 1998.
- [2] 최광남, 문화재의 과학적 보존, 대원사, 1994.
- [3] 창원문화재연구소, 함안 성산산성 출토 목간, 1997.
- [4] R. C., Gonzalez and R. E. Woods, *Digital Image Processing*, Assison Wesley, 1992
- [5] J. Serra, *Image Analysis and Mathematical Morphology*, Academic Press, London, 1982.
- [6] J. Serra, ed., *Image Analysis and Mathematical Morphology*, vol. 2, Academic Press, London, 1988.
- [7] P. Maragos, "Pattern spectrum and multiscale shape representation," *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, vol. PAMI-11, pp. 701-716, July 1989.
- [8] P. Salembier, "Morphological multiscale segmentation for image coding," *Signal Processing* vol. 38, no. 3, pp. 359-386, Aug. 1994.
- [9] G. S. Kim, et al. "Adaptive contour representation based on morphological segmentation," *IEEE APCCS'96*, pp. 141-144, Nov. 1996.
- [10] R. M. Haralick and L. G. Shapiro, *Computer and Robot Vision*, Addison Wesley, Massachusetts, 1992.