

## 금석문 영상의 계층적 분할

최 호형, 박 영식, 김 기석  
경주대학교 컴퓨터전자공학부

# Hierarchical Segmentation of Monumental Inscription Image

Ho-hyong Choi, Young-sik Park, and Gi-seok Kim  
School of Computer & Electronic Engineering, Kyongju University

E-mail : chhman@kyongju.ac.kr, yspark@kyongju.ac.kr, kimg@s@kyongju.ac.kr

### 요 약

The study on shilla monumental inscription has been accomplished by many historians. However, the research on segmentation 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, A morphological filtering using directional information is presented. Directional filtering is effective in reducing noises and preserving edges. The opening and closing operations in the 1st stage are performed for the pixel is aligned to the vertical, horizontal and two diagonal directions. The Opening operation suppresses the positive impulse noise while the closing operation the negative ones. Then Directional filter and post-processing are applied to the image. Experimental result shows outstanding performance for interpretation.

### 1. 서 론

신라 시대의 연구를 가장 엄밀하고도 심도 있게 수행할 수 있는 학문분야 중 하나가 금석문 분야이다. 금석문은 정치, 사회, 문화 등을 비롯한 제분야에서 동시대적인 생활환경을 생생하게 보관하고 있는 중요한 자료로서 그 역사적 가치는 매우 높다[1].

이러한 금석문 연구는 돌의 흠집이나 쪼개짐 등으로 인해 탁본 후 글자를 알아볼 수 없는 경우가 많다. 특히 나무에 새겨진 목간은 부패로 인하여 육안으로 알아볼 수가 없어서 적외선 카메라 등을 이용하여 가시광선 영역 바깥을 촬영해야 영상을 획득할 수 있으며, 획득된 적외선 영상도 알아보기가 힘든 경우가 많다[2].

파손된 글자들의 경우 수리 형태학적 열림과 닫힘 연산을 반복적으로 적용하여 영상의 잡음을 제거하고 글자의 연결성을 개선한다.

그러나, 일반적인 영상이라면 3×3원형 형태소 또는 5×5원형 형태소를 적용해야 할 것이나 금석문 영상의 경우에 한자의 획의 연결성을 살려야 하는 특수한

경우가 존재하게 된다. 특히 글자영역에 곡선이나 혹은 직선과 같은 기하학적인 영역이 존재하게 된다[3]. 따라서, 금석문 영상에 적용하기 부적절하다.

또 다른 방법으로서 방향성 필터를 이용한 영상처리는 양쪽 대각선과 수평, 수직 방향으로 필터링을 하는 것으로 경계정보를 보존하고 동일 영역에서는 뭉통화(smoothing)하여 출력을 얻는다. 이 과정은 양쪽 대각선과 수평, 수직 방향으로 열림과 닫힘을 각각 행함으로써 양과 음의 임펄스 잡음을 제거한 4방향에 대한 필터링 결과를 얻게 된다. 그런 다음 4방향 필터링 결과 값과 이를 평균한 값을 출력하였다.

그리고 기하학적인 방향성 형태학 필터를 사용하여 가우스 잡음이나 임펄스 잡음을 제거하고 글자영역의 연결성을 개선하였다[4]. 그러나, 이러한 영상향상은 글자영역과 배경영역이 인간 시각적으로 구분이 되지 않는 경우가 많다.

따라서, 본 논문에서는 양쪽 대각선과 수평, 수직, 방향으로 열림 혹은 닫힘을 한 출력 값을 평균을 취

해서 출력하고 이 결과 값을 워터셰드 알고리즘(watershed algorithm)을 이용하여 영상을 분할하는 것을 제안한다.

본 논문에서 제안한 방향성을 이용한 열림과 닫힘을 적용하는 기법은 글자영역내의 가우스 잡음이나 임펄스 잡음을 제거하고 글자영역의 연결성을 높여주는 것을 목적으로 제안한다. 또한, 워터셰드 알고리즘은 효과적인 글자영역을 분할하기 위해서 제안한다. 실험에 사용한 영상으로는 그림 1과 같은 함안 성산 산성 출토된 목간영상을 사용한다.

## 2. 수리 형태학

수리 형태학은 디지털 영상 해석에 효과적인 방법을 제공한다[5,6,7]. 수리 형태학의 두 가지 기본 연산은 불림(dilation)과 침식(erosion)이다.  $E^N$ 은 모든 점,  $p = \{x_1, x_2, \dots, x_N\}$ 의 집합이며, A와 B는  $E^N$ 의 부분집합일 때, 형태소 B에 의한 A의 이진 불림은 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 b에 의한 A의 변위(translation)이다. 그리고 B에 의한 A의 이진 침식은

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

이다. 불림과 침식에 의해 닫힘과 열림이 정의된다.

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

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

그리고 n차 다중 척도(multiscale) 닫힘과 열림은

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

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

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

이다. 이진 형태학적 연산은 최소(minimum)또는 최대

(maximum)연산을 사용함으로써 계조값(gray-level value) 영상으로 자연스럽게 확장된다.  $f: F \rightarrow E$ 이고  $k: K \rightarrow E$ 이면 계조값 불림과 침식은

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

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

이다.

이진 열림, 닫힘과 유사하게 다음과 같이 정의된다.

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

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

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

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

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

형태소의 계조값이 0이고 면적만 있는 경우에,  $f(x)$ 는 입력 영상이며,  $M_n$ 은 크기 n인 형태소일 때 계조값 불림  $\delta_n$ 과 침식  $\epsilon_n$ 은 다음과 같이 정의되고, 열림  $\gamma_n$ 과 닫힘  $\phi_n$ 은 두 기본 연산의 조합으로 이루어진다.

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

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

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

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

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

$$g = \delta_1(f) - \epsilon_1(f) \quad (19)$$

$$g^- = f - \epsilon_1(f) \quad (20)$$

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

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

### 3. 영상분할

영상분할 기법은 단순화(simplification), 마커추출(marker extraction) 그리고 결정(decision) 단계로 구성된다. 단순화의 목적은 분할하기 쉽도록 신호를 단순화하는 것이며 이 과정에서 분할 시에 보존되는 정보의 양과 성질을 조절할 수 있다. 따라서 단순화하기 위한 형태학적 필터의 형태소 크기에 의하여 계층적인 분할이 이루어진다. 마커추출은 단순화된 영상에서 동질한 부분을 정의하는 것이고 동질한 부분은 어떤 영역에 속하는지가 확실한 부분이다. 어떤 영역에 속하는지 확실하지 않는 경계영역은 결정단계에서 어떤 영역에 속하는지 결정된다. 결정단계에서 단순화된 영상과 마크된 영상을 사용하여 분할된 영상을 얻는다.

#### ◆단순화

경계선을 유지하면서 영역의 내부를 평탄화하므로써 분할이 용이하도록 한다. 따라서 어떠한 방법에 의한 단순화인가에 따라서 분할 결과가 달라지며 계층적인(hierarchical) 분할은 단순화과정에서 결정된다. 집합이론에 기반한 비선형의 수리 형태학(mathematical morphology) 필터는 영상에서 물체에 대한 형태, 크기, 대조 등의 다양한 특징을 추출할 수 있고 동질성과 연결성을 만족하는 부분에 대한 특징 추출이 효과적이기 때문에 단순화에 적합하다.

본 논문에서 제안한 단순화 필터로써 재구성에 의한 열림과 닫힘(open\_close by reconstruction)으로 표현된다.

$$\varphi^{(rec)}(\delta_n(\gamma^{(rec)}(\varepsilon_n(f), f), \gamma^{rec}(\varepsilon_n(f), f))) \quad (22)$$

#### ◆마커추출의 단계

화소의 밝기 값이 같은 동질한 영역은 평탄하게 단순화된 영상에서 영역을 결정할 때 분할될 영역의 초기 출발점이 되며 동질한 영역의 개수가 분할된 영상의 영역 개수가 된다. 따라서 식(22)의 단순화 필터의  $n \times n$  보다 작은 화소 수로써 구성된 동질한 영역과 동질하지 않은 영역은 불확실한 영역으로 정의하고  $n \times n$  보다 큰 화소수로써 구성된 동질한 영역은 확실한 영역으로 마크된다.

#### ◆영역결정단계

단순화된 영상 자체에 적용하며 동질한 영역의 초기라벨링 단계와 불확실한 화소들의 채우기 단계로 구성된다.

#### ①동질한 영역의 초기 라벨링 단계

마커추출 단계에서 동질한 영역으로 어떤 영역에 속할지 확실한 모든 화소의 좌표값을 가장 높은 우선순위의 큐(queue)에 삽입한다. 그리고 큐에서 한 화소씩 추출하면서 주위의 4방향으로 이웃한 라벨링된 화소와 밝기 값이 동일한지를 검사한다. 동일한 화소가 하나라도 있으면 동일한 라벨링을 부여하고 그렇지 않으면 다른 값으로 라벨링한다.

#### ②불확실한 화소들의 채우기 단계

동질한 영역의 초기 라벨링 단계에서 라벨링된 영역에 인접한 모든 불확실한 화소들을 우선순위에 따라 큐에 삽입한다. 이때 우선순위는 큐에 삽입되는 화소의 밝기 값과 인접영역의 평균 밝기 값의 차의 절대값에 반비례한다.

가장 높은 우선순위의 큐에서 한 화소를 추출한다. 이 화소가 아직 라벨링이 되지 않은 화소이면 이 화소의 밝기 값과 인접영역의 평균 밝기 값과의 차이가 가장 작은 영역의 라벨을 추출한 화소의 위치에 부여한다. 그리고 인접한 화소에서 라벨링이 되지 않은 화소는 우선순위를 계산하여 큐에 삽입한다. 이때 인접 화소들이 이미 큐에 삽입되어 있는 경우에는 우선순위가 높은 경우에는 우선순위가 높은 경우에만 다시 큐에 삽입한다. 추출된 화소가 이미 라벨링된 화소라면 인접화소들 중에서 아직 라벨링이 되지 않은 화소들을 우선순위에 의해 큐에 삽입한다.

추출된 화소에 대하여 새롭게 라벨링이 되면 그 라벨에 대하여 영역의 평균 밝기 값을 갱신한다. 이 같은 과정을 큐가 빌 때까지 되풀이하게 되면 모든 화소가 어떤 영역에 속하게 되는지가 결정되며 분할을 마치게 된다[8].

마지막으로 문턱치(threshold)값을 적용한 후에 닫힘을 적용하고 그 영역을 잡음을 제거한 영상과 합친다.

### 4. 제안한 영상 분할 알고리즘

본 논문에서 제안한 알고리즘은 그림 3과 같이 크게 두 가지 단계로 구분할 수 있다. 첫 번째 단계는 급속문 영상에 존재하는 잡음을 제거하는 것이고 두 번째 단계로는 영상을 분리하는 단계로 나눌 수 있다.

잡음을 제거하는 단계에서는 방향성 정보를 이용함으로써 경계영역의 정보를 보존해주고, 동질한 영역에서는 잡음을 최대한 효과적으로 줄여주어 필터링 특

성을 크게 개선할 수 있다. 금석문 영상은 양의 임펄스 잡음(positive impulse noise)만이 존재한다. 따라서 그림 2와 같은 알고리즘을 제안하였다.

잡음제거하기 위한 알고리즘으로서 양쪽 대각선과 수평, 수직 방향으로 열림과 닫힘을 각각 행함으로써 양과 음의 임펄스 잡음을 제거함과 동시에 글자의 연결성을 개선하는 4방향에 대한 필터링 결과를 얻게 된다.

두 번째 단계로서는 잡음이 제거된 영상을 히스토그램 조절을 통해서 계조값을 균일하게 분포시킴으로써 글자 영역을 시각적으로 더 잘 볼 수 있게 한 후 워트셰드 알고리즘을 통해서 영상을 분할하였다. 글자영역과 배경 부분을 분리하기 위해서 문턱치 값을 적용하고, 이로부터 획득된 영상을 닫힘을 수행함으로써 글자 영역을 분할하였다.

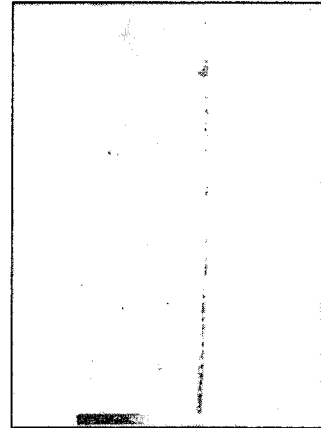


그림 1. 금석문(목간) 적외선 영상.

### 5. 실험 및 고찰

논문의 실험에 사용된 신라 목간의 경우는 함안 성산산성 출토 목간으로써 부패도가 심하여 육안으로는 식별할 수가 없으므로 적외선 카메라로 촬영하여 영상을 획득했다. 이렇게 획득된 영상을 토대로 해서 그림 2와 같이 제안된 알고리즘을 단계적으로 적용함으로써 임펄스잡음이나 혹은 가우시안 잡음을 효과적으로 제거할 수 있었을 뿐만 아니라 글자영역의 연결성을 개선하였다. 이에 대한 결과 영상은 그림 4(b)이다. 이 영상을 토대로 히스토그램 조절을 하고, 문턱치값을 적용한 영상이 그림 4(c)이고 그리고, 닫힘을 행한 영상이 그림 4(d)이다.

제안한 글자영역의 경계선을 잘 보존하면서 글자영역을 배경영역과 잘 분할 할 수 있었다. 알고리즘을 최종적으로 적용한 영상이 그림 4(e)이다.

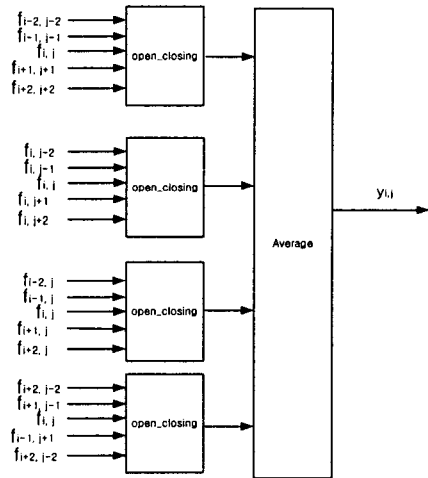


그림 2. 잡음 제거를 위한 알고리즘.

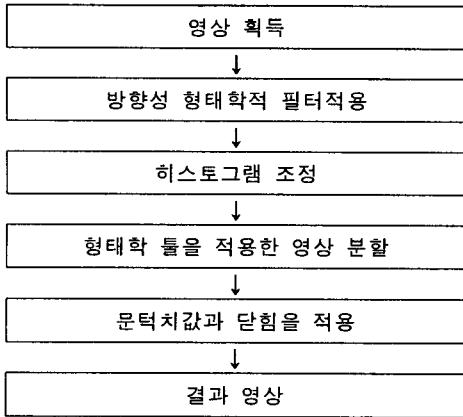


그림 3. 제안한 알고리즘.

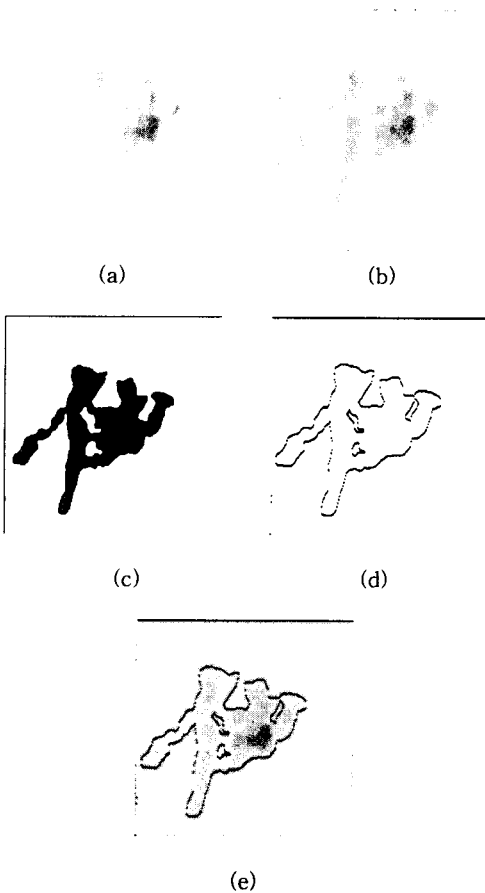


그림 4. 제안한 알고리즘을 적용한 결과영상.

- (a) 원영상. (b) 잡음을 제거한 영상.
- (c) 문턱치를 설정한 영상. (d) 글자영역분할 영상.
- (e) (b)와 (d)를 합한영상

## 6. 결론

본 논문에서는 신라 금석문 해석 및 연구의 전처리로서 필수적인 디지털 영상 개선을 위한 방향성 형태학적 필터를 신축적으로 적용하였다. 형태학적 필터에 방향성을 적용함으로써 효과적으로 잡음을 제거할 수 있었을 뿐만 아니라 글자의 연결성을 개선하였다. 또한 분할 알고리즘을 적용함으로써 글자 영역의 경계선을 보존하면서 배경으로부터 글자 영역을 잘 분할할 수 있었다

## [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] 최호형 외 3명, "수리형태학을 이용한 금석문 영상 향상," 제6회 삼성휴먼테크 논문 대상 수상작, 1999.
- [4] 배재화, 최진수, 심재창, 하영호, "방향성 다중 모폴로지컬 필터를 이용한 영상 복원," 電子工學會 第30卷 B編 第9號 1993年 9月, pp. 76-82.
- [5] R. C., Gonzalez and R. E. Wood, "Digital Image Processing," Addison Wesley, 1992.
- [6] R. C., Gonzalez and R. E. Wood, "Digital Image Processing," second edition Addison Wesley, 2002.
- [7] Jean Serra, Pierre Soile, "Mathematical Morphology and Its Application to Image Processing," Kluwer Academic, vol.2, 1994.
- [8] 박영식, 김기석, 송근원, 정의윤, "디지털 이동통신 망에서의 초저속 영상부호화를 위한 영역단위의 계층적 분할과 경계선 단순화 기법," 電子工學會 第35卷 S編 第8號 1998年 8月, pp. 1090-1098.