

論文2001-38SP-1-3

# Water Flow Model을 이용한 문서 영상의 이진화 (Document Image Binarization Using a Water Flow Model)

金仁權\*, 鄭東旭\*\*, 宋正姬\*\*\*, 朴來弘\*

(In-Kwon Kim, Dong-Wook Jung, Jung-Hee Song, and Rae-Hong Park)

## 요 약

본 논문에서는 영상의 밝기 값을 마치 3차원 지형과 같은 개념으로 간주하여 여기에 물이 흐르는 개념을 적용하여 국부 적응 (locally adaptive) thresholding 방법을 제안하였다. 문자를 추출해내기 위해 제안한 방법에서는 지형 표면에 물을 붓는 과정을 수행하였다. 물은 지형의 낮은 곳으로 흐르게 되어 계곡 (valley) 에 쌓인다. 이때 문자와 배경으로 구성된 문서영상에서 쌓인 물의 양을 기준으로 두 개의 영역을 구분하였다. 제안한 water flow model의 개념을 적용한 thresholding 방법은 국부 적응 thresholding의 특성을 나타낸다. 합성 영상과 실제 영상을 이용하여 전산 모의 실험을 수행함으로써 제안한 방법이 문서 영상을 효과적으로 이진화할 수 있음을 보였다.

## Abstract

This paper proposes a local adaptive thresholding method based on a water flow model, in which an image surface is considered as a 3-dimensional (3-D) terrain. To extract characters from backgrounds, we pour water onto the terrain surface. Water flows down to the lower regions of the terrain and fills valleys. Then, the amount of filled water is thresholded, in which the proposed thresholding method is applied to gray level document images consisting of characters and backgrounds. The proposed method based on a water flow model shows the property of locally adaptive thresholding. Computer simulation with synthetic and real document images shows that the proposed method yields effective adaptive thresholding results for binarization of document images.

## I. 서 론

세그멘테이션 (segmentation)이란 영상을 몇 개의 부분 또는 개체 (objects)로 나누는 것이다. 이진화 (binarization)를 위한 세그멘테이션 알고리즘은 영상의

밝기 값에서 나타나는 불연속성 또는 유사성에 기반을 두고 있다.<sup>[1-6]</sup> 불연속성을 사용한 알고리즘에서는 영상의 급격한 밝기 값의 변화를 기준으로 두고 있는 반면, 유사성을 사용한 알고리즘에서는 영역 확장 (growing), 영역 분리 (splitting), 영역 결합 (merging) 등과 같은 방법을 이용하여 thresholding하게 된다.<sup>[2-5]</sup> 에지 검출은 불연속성을 검출하는 기술중의 하나이고 thresholding은 영상 세그멘테이션을 위한 중요한 기술중의 하나이다.

Watershed 개념을 사용한 세그멘테이션 알고리즘은 이미 이전에 소개되었었다.<sup>[7-12]</sup> Watershed 알고리즘은 항상 낮은 곳으로 흐르게 되는 물의 특성을 이용하는

\* 正會員, \*\* 學生會員, 西江大學校 電子工學科

(Dept. of Electronic Eng., Sogang Univ.)

\*\*\* 正會員, 西江大學校 映像大學院 Media 工學科

(Dept. of Media Technology Graduate School of Media Communications, Sogang Univ.)

接受日字:2000年7月6日, 수정완료일:2000年10月13日

방법이고 물이 흐르게 된 가장 낮은 부분을 기준으로 영역을 나누는 방법이다. 본 논문에서는 문서 영상을 이진화하기 위해 쌓여있는 물의 양을 기준으로 thresholding 과정을 수행함으로써 문서 영상을 문자(characters)와 배경(backgrounds)의 두 부분으로 나누는 방법을 제안하였다.

밝기 영상을 이진화하는 것은 두 개의 라벨(label)로 세그멘테이션하는 방법중의 하나이다.<sup>[13-16]</sup> 예를 들어 문자 인식을 위해 문서영상으로부터 문자를 추출하려면 먼저 입력 영상을 이진화하는 과정이 필요하다.<sup>[15]</sup> 문서 영상에서 두 개로 구별된 영역은 문자와 배경으로 정의된다. 문자는 우리가 추출하고 인식을 하여 표현해야 하는 개체가 된다. 대부분의 경우 디지털 영상은 디지털 스캐너나 디지털 카메라를 이용하여 취득된다. 디지털 영상의 화질은 조명이나 입력장치의 특성, 대상의 구별되는 특성 등과 같은 영상 획득 조건에 따라 영향을 받는다.<sup>[15]</sup>

어떠한 응용의 예에서 얻어진 밝기 영상은 영상 분석이나 인식과 같은 처리를 위해 이진화 된다.<sup>[17-19]</sup> 전처리 단계인 이진화 과정은 다른 처리로의 응용될 때 그 성공 여부를 결정한다. 대부분의 경우 전처리 과정과 주 처리(main processing) 과정은 각각 독립적으로 수행되는데 전처리 단계의 효율성을 평가하는 것은 어려운 문제이다. 본 논문에서는 여러 이진화 방법의 효율성을 평가하기 위하여 각각의 방법에서 얻어진 이진화된 영상의 시각적 평가와 이진화된 영상에서 문자를 추출하여 올바르게 추출된 문자의 비율을 비교하였다.

제안한 thresholding 방법은 국부 적응(locally adaptive) 특성을 나타낸다. 물이 흐르는 과정을 모방하기 위해 밝기 영상을 밝기 값에 따라 산이나 계곡, 평야 등으로 구성된 3차원 지형으로 간주하였다. 만약 물이 지형에 떨어지게 되면 지형의 낮은 곳으로 흐르게 되어 낮은 계곡에 채워지게 된다. 이때 지형에서 채워진 물의 양이 많은 계곡이 개체로 추출되게 된다. 제안한 water flow model은 이러한 개념을 도입하여 문서 영상에서 문자를 추출하는 데 응용하게 된다.

본 논문의 II장에서는 water flow model에 기반을 둔 제안한 thresholding 방법을 소개하였고 이 특성을 합성 영상을 이용하여 전산 모의 실험으로 적용하였다. III장에서는 실제 문서를 스캐너를 이용하여 취득한 영상을 제안한 방법을 적용하여 이진화 결과를 얻은 것과 다른 이진화 방법들을 적용하여 얻어진 결과의 성

능을 비교하였다. 마지막으로 IV장에서는 결론을 맺었다.

## II. Water flow model에 기반을 둔 제안한 국부 thresholding

제안한 방법은 항상 낮은 곳으로 흐르게 되는 물의 특성에서 아이디어를 얻었다. 우리는 밝기 영상에서 낮은 밝기 값(어두운 영역)을 문자로, 높은 밝기 값(밝은 영역)을 배경으로 간주하였다.

제안한 방법은 enhancement 과정과 thresholding 과정의 두 개의 과정으로 구성되어 있다. Enhancement 과정은 입력 영상의 국부적인 특성을 얻어내기 위해 비가 지형에 떨어졌을 때 나타나는 현상과 같은 방법으로 실험을 수행한다. 비가 지형에 떨어지게 되면 물은 낮은 곳으로 흐르게 되어 결국 많은 연못(pond)이 생기게 된다. 평형 상태에 이르게 되면 물이 채워진 영역은 국부(local) 계곡이 되는 반면 물이 채워지지 않은 영역은 배경에 해당하게 된다. Enhancement 과정이 끝난 뒤 얻어진 결과는 물이 채워진 양을 기준으로 thresholding 된다. 채워진 물의 양은 원래 지형의 국부적 특성, 즉 영상의 국부적 특성을 나타내게 되므로 제안한 방법은 국부 적응 thresholding 결과를 얻을 수 있게 된다. 채워진 물의 양을 thresholding하는 것은 자동으로 임계값을 결정하는 Otsu의 방법을 사용하였다.<sup>[2]</sup>

Otsu의 방법에서 최적의 임계값은 두 계층(segment) 사이의 분산 값

$$\sigma_b^2 = a_1 a_2 (m_1 - m_2)^2 \quad (1)$$

을 최대로 함으로써 얻어질 수 있다. 여기서  $m_1$ 과  $m_2$ 는 각각 계층 1과 계층 2의 평균값을 나타낸다.  $a_j$ 는 전체 영역에 대한 계층  $j$ 의 면적에 대한 비로 정의되며 이를 나타내면

$$a_j = \sum_{i \in C_j} p_i, \quad j=1, 2 \quad (2)$$

와 같다. 여기서  $p_i$ 의 값은 밝기 레벨  $i$ 의 정규화 히스토그램, 즉  $\sum_{i=0}^L p_i = 1$ 을 만족하며  $L$ 는 전체 밝기 레벨의 개수를 나타낸다.  $C_1$  ( $C_2$ )는 임계값보다 작거나 같은(큰) 화소값을 가진 집합을 나타낸다. 계층의

평균값은

$$m_j = \sum_{i \in C_j} i \frac{b_i}{a_j}, \quad j=1, 2 \quad (3)$$

와 같다. 최적의 임계값은 두 계층 사이의 분산 값  $\sigma_b^2$ 의 극치 (peak) 값을 찾음으로써 결정되어진다.

물이 채워진 높이가 지형의 최대의 높이  $f_{top}$ 을 넘을 경우 제안한 방법은 지형의 높이가 반전되는 것을 제외하고 Otsu에 의한 방법과 동일한 것이 된다. 지형의 높이  $f(x, y)$ 가 반전된다는 것은  $f_{top} - f(x, y)$ 가 되는 것이고 이 결과로 문자와 배경 영역이 서로 바뀌게 된다. 물이 채워진 양은 원래 지형의 반전된 개념이기 때문에 지형의 최고점을 넘기 위한 물의 양  $w_0$ 는

$$w_0 = \left\lceil \frac{\sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} (f_{top} - f(x, y))}{MN} \right\rceil \quad (4)$$

와 같다. 여기서 M과 N은 각각 지형의 수평, 수직 거리를 나타내고  $\lceil q \rceil$ 는 q보다 크거나 같은 최소 정수 값을 나타낸다. 물의 양이  $w_0$ 을 넘을 경우 제안한 방법은 Otsu의 방법과 같게 되므로 제안한 방법의 이점을 잃게 된다. 따라서, 뿌려지는 물의 양은  $0 < w < w_0$  조건을 만족하도록 정해야 한다. 최종 결과는 실험적으로 결정되는 물이 뿌려지는 양인  $w$ 의 값에 의존하게 된다.

1. Water flow model

문서 영상에서 문자를 추출하기 위해 3차원 지형으로 간주한 영상 표면에 먼저 물을 붓게 된다. 이때 물은 문자 영역으로 볼 수 있는 계곡으로 흐르게 되고 그곳의 수위가 높아지게 된다. 물은 상대적으로 평탄한 영역을 나타내는 곳에서 쌓이지 않고 계속 주위의 고도가 낮은 곳으로 흐르게 된다. 제안한 thresholding 방법에서는 물이 쌓여있는 지형과 원래 지형의 차이, 즉 채워져 있는 물의 양을 기준으로 전역 (global) thresholding 방법중의 하나인 Otsu 방법을 이용하여 thresholding을 수행한다.<sup>[2]</sup> 다른 전역 thresholding 방법도 제안한 방법에 적용할 수 있다.<sup>[4,5]</sup>

그림 1에서는 제안한 thresholding 방법을 나타내는 흐름도이며 여기서 파라미터  $w$ 의 값은 실험적으로 결정된다. 물이 정해진 양만큼 뿌려지면 물로 채워진 화소들로 되어있는 연못들은 각각 라벨이 얻어지고 이것

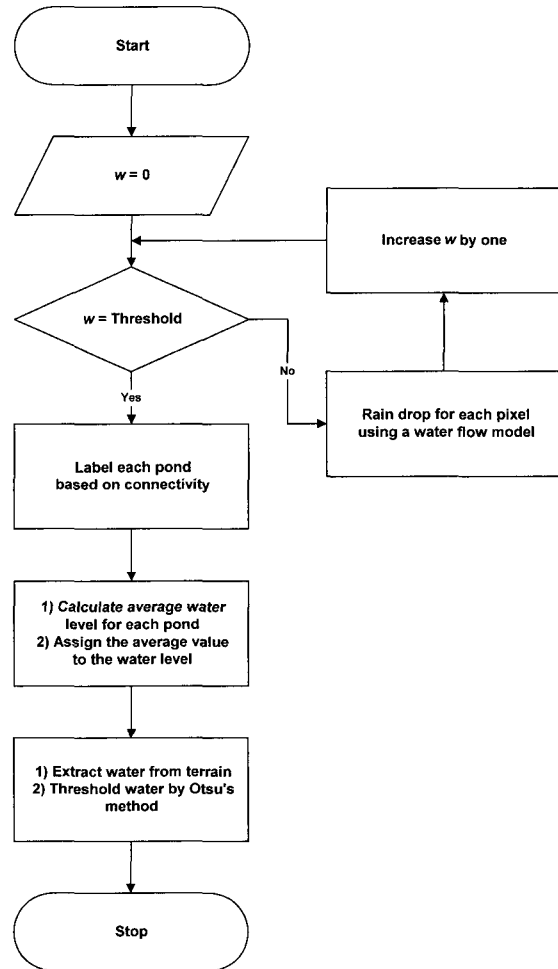


그림 1. 제안한 이진화 방법의 순서도  
Fig. 1. Flowchart of the proposed binarization method.

들이 평균 수위가 계산된다. 이 과정이 끝나면 채워진 물의 양을 기준으로 thresholding을 하게 된다. 물의 양  $w$ 는  $0 < w < w_0$  범위에서 주어진 양만큼 뿌려지게 되면 낮은 곳으로 흐르게 되는 물의 성질에 따라 영상에서 밝기값이 작은 쪽으로 흐르게 되어 각각 물이 채워진 연못이 생성된다. 이러한 연못들은 물이 채워진 양과 주위의 연못들을 기준으로 하나의 segment로 합쳐지거나 상대적으로 크기가 작은 연못은 소멸되게 된다. 이러한 과정이 수행된 후 남아있는 연못에 라벨을 붙이는 과정을 수행한다. 라벨이 붙여진 연못의 수면 높이는 물이 평형상태에 이르는 것처럼 평균값이 계산이 되는데 각각의 연못 평균 수면 높이는 연못의 중앙점에서 떨어질수록 웨이팅을 작게하여 계산하여 구하며

언어진 값을 각각의 언뜻에 할당하게 된다. 따라서 물이 뿌려진 이후 평형상태에 이르게 되면 뿌려진 물은 영상에서 밝기값이 낮은 곳으로 흐르게 되어 영상의 국부적인 특성을 반영하게 된다. 이렇게 언어진 새로운 영상에서 원래의 영상과 차영상을 구하면 영상에 채워지게 된 물의 양을 얻을 수 있게 된다. 최종적으로 언어진 물이 채워진 양을 나타낸 영상을 기준으로 각각의 언뜻에 대해 Otsu의 방법을 적용하여 thresholding을 수행하게 되는데 이로써 국부적인 thresholding 결과를 얻을 수 있게된다.

```

for all pixels (x,y)
begin
  set the current point (m,n) to (x,y)
  until f(m,n) is the minimum
  begin
    set (u,v) to (0,0)
    for all neighboring pixels (m+i,n+j), -s ≤ i, j ≤ s
      if f(m+i,n+j) < f(m+u,n+v) then set (u,v) to (i,j)
    set the current point (m,n) to (m+u,n+v)
  end
  increase f(m,n) by one unit
end

```

그림 2. 제안한 water flow model의 알고리즘  
Fig. 2. Algorithm of the proposed water flow model.

그림 2는 water flow model로 제안된 알고리즘을 나타내고 있다. 만약 영상의 어느 한 지점  $(x, y)$ 에 물이 떨어지게 되면 그 지점에서의 지형의 높이  $f(x, y)$ 와 그 주변에서의 높이인  $f(x+i, y+j)$ ,  $-s \leq i, j \leq s$ 를 비교하게 되는데 이때 마스크 (mask)의 크기는  $(2s+1) \times (2s+1)$ 이 된다. 마스크 내에서 고도가 가장 낮게되는 지점  $(m, n)$ 이 물이 흐르게 되는 다음의 위치를 나타내게 된다. 이러한 과정은 물이 흐르게 되면 국부적으로 가장 낮은 위치, 즉  $(m, n)$ 이 마스크의 중앙점이 될 때까지 반복된다. 영상의 크기가  $N \times M$ 이고 gray level의 개수를  $I$ , mask operation의 평균 개수를  $D$ 라고 한다면 제안한 방법의 계산량은  $NM[(2s+1)^2D + w]$ 이 된다.

그림 3에서는 이러한 과정이 일어나는 것을 도식화한 것이다. 만약 물이 1의 위치에 떨어진다면 마스크 A는 그 지점에서 주위의 가장 낮은 밝기 값을 가진 지점을 찾는다. 다시 물은 2의 지점으로 흐르게 되고 마스크 B는 그 마스크 안에서 가장 낮은 밝기 값을 가진 위치를 찾는다. 이러한 과정은 마스크 안에서 가장 낮

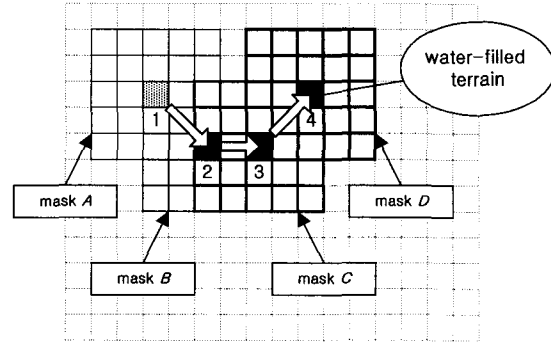


그림 3. 가장 낮은 밝기 값을 찾는 과정 ( $s=2$ )  
Fig. 3. Searching process of the lowest gray level ( $s=2$ ).

은 밝기 값을 가진 지점이 그 마스크의 중앙에 위치할 때까지 반복된다. 그림 3에서 마스크 D의 가장 낮은 밝기 값을 가진 지점이 4의 지점이며 이것은 이 마스크의 중앙점에 해당하므로 1의 위치에 떨어진 물은 결국 4의 위치에 고이게 된다. 이때 떨어진 물은  $(m, n)$ 에서 새로운 고도 값  $f'(m, n)$ 을 가지게 되는데 여기서 이 고도 값은  $f'(m, n) = f(m, n) + 1$ 이 된다. 이 과정은 순차적으로 영상의 전 화소에 대해서 강우 (rainfall)의 양, 즉  $w$ 만큼 적용된다. 만약 마스크의 중앙점이 주의의 작은 언덕으로 둘러싸여 있다면 물은 언덕 아래로 뚫고 나가게 된다. 따라서  $s$ 의 값이 커짐에 따라 작은 잡음에 의한 효과는 줄어들게 된다. 하지만  $s$ 의 값이 너무 클 경우 미세한 개체 신호는 검출되지 못하며 시간도 많이 소요된다. 실험에서 우리는  $s$ 의 값을 3으로 하였다.

## 2. water flow model을 이용한 이진화

제안한 thresholding 알고리즘의 성능을 알아보기 위해

$$S_1(x, y) = A \left| \left( -\frac{r^2}{U} + B \right) \cos\left(\frac{r^2}{V}\right) \right| \quad (5)$$

$$S_2(x, y) = A \left( -\frac{r^2}{U} + B + C \cos\left(\frac{r^2}{V}\right) \right) \quad (6)$$

로 표현되는 합성 영상을 사용하였다. 여기서  $S_1(x, y)$ 와  $S_2(x, y)$ 는 각각 합성 영상 1과 2를 나타낸다.  $r$ 은  $r^2 = x^2 + y^2$ 인 관계가 있으며  $r$ 의 값에 따라 상수  $U$ 와  $V$ 는 계곡의 패턴과 주기를 결정하며 왼쪽 윗 부분이  $(0, 0)$ 에 해당한다. 상수  $A$ ,  $B$ , 그리고  $C$ 는 0과 255사이의 gray 밝기 값으로 조절된다. 그림 4(a)는 합성영

상  $S_1(x, y)$ 를 얻기 위해  $A=255, B=1.0, U=1.5 \times 10^5, V=5 \times 10^3$ 을 사용하였으며 그림 4(b)에서는 합성영상  $S_2(x, y)$ 를 얻기위해  $C=0.5, A=127, B=1.5, U=9 \times 10^4, V=2 \times 10^3$ 을 사용하였다.

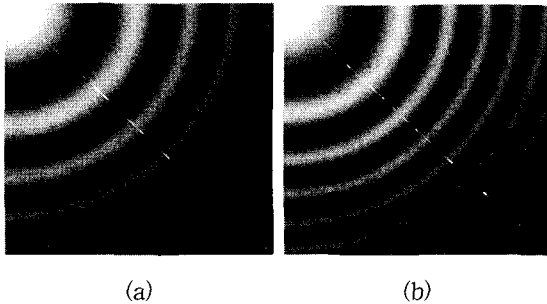


그림 4. 이진화 작업을 위한 합성 영상 (a) 합성 영상 1 ( $S_1$ ) (b) 합성 영상 2 ( $S_2$ )  
 Fig. 4. Synthetic images for binarization. (a) synthetic image 1 ( $S_1$ ), (b) synthetic image 2 ( $S_2$ ).

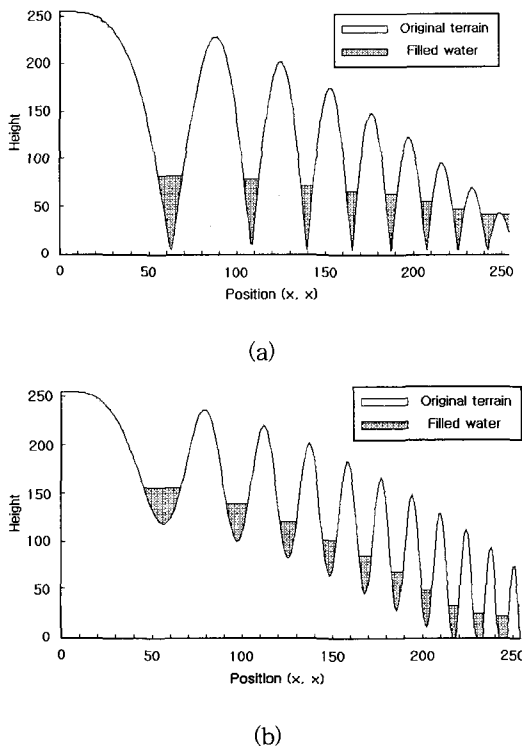


그림 5. 합성 영상  $S_1$ 과  $S_2$  ( $w=10$ )의 원래 지형과 물이 채워진 지형의 단면 (a)  $S_1$  (b)  $S_2$   
 Fig. 5. Profiles of the original terrain and water-filled terrain of synthetic images  $S_1$  and  $S_2$  ( $w=10$ ). (a)  $S_1$ , (b)  $S_2$ .

그림 4에서 대각선 방향의  $r$ 을 흰색 표시를 하였으며 이에 해당하는 단면을 그림 5에 나타내었다. 그림 5(a)와 5(b)의 실선은 각각 합성영상  $S_1$ 과  $S_2$ 에서 대각선 방향의 단면을 나타내고 있으며 점선은 물이 채워진 지형을 나타내고 계곡으로 물이 채워진 양은 점선 영역으로 나타내고 있는데 이는  $w=10$ 을 사용하여 얻어진 결과이다. 물이 채워진 지형의 모양은 후처리 과정을 통하여 수위를 평탄하게 만들었다.

실선과 점선의 높이 차이는 채워진 물의 양에 해당하고 계곡 영역에서 그 값의 차이가 크게 나타나는 것을 관찰할 수 있다. 합성 영상  $S_1(x, y)$ 의 경우 모든 계곡을 검출해 내기 위해서 임계값은 가능한 작게 놓아야 한다. 하지만 임계값이 너무 작을 경우 작은  $r$ 의 값에서 가장 깊은 계곡의 영역은 너무 얇은 선이나 끊어진 형태로 나타나게 된다. 반면 임계값이 너무 클 경우 큰  $r$  값의 계곡들은 하나의 계층으로 합쳐지게 된다. 합성 영상  $S_2(x, y)$ 의 경우 검출되는 계곡의 위치는 임계값에 따라 달라지게 된다. 만약 임계값이 너무 클 경우 큰  $r$ 값에서의 계곡들은 하나의 계층으로 합쳐지게 된다. 반면 임계값이 너무 작으면 작은  $r$ 값을 가지는 계곡들의 검출은 불가능하게 된다. 따라서 전체의 영상에 대해서 하나의 임계값을 가지는 전역 thresholding 방법은 이러한 두 합성 영상에 대해서 효과적으로 국부 계곡을 검출할 수 없다. 실험결과에서 뿌려진 물의 대부분이 깊은 계곡에 채워지고 있음을 알 수 있다. 우리는 원래 지형을 이용하여 thresholding 하는 대신 채워진 물의 양을 기준으로 thresholding을 수행하여 모든 계곡을 검출할 수 있다. 여기서 채워진 물의 양은 원래 지형의 국부적 특성, 즉 영상의 국부적인 특성을 나타내고 있다는 점에 대해 주목해야 한다.

그림 6(a), 6(b), 6(c)에서는  $S_1(x, y)$ 에 대해  $w$ 값을 1, 5, 식 (4)에 의한  $w_0=140$ 에 대한 thresholding 결과이고, 그림 6(d), 6(e), 6(f)에서는  $S_2(x, y)$ 에 대해 같은  $w$ 값 범위에 대한 thresholding 결과를 나타낸다. 그림 6(a), 6(b), 6(c)에서는  $S_1(x, y)$ 에 대해 최적의 임계값으로 각각 8, 18, 140을 사용하였고 그림 6(d), 6(e), 6(f)에서는  $S_2(x, y)$ 에 대해 최적의 임계값으로 각각 4, 11, 122를 사용하였다. 그림 6(a)와 6(d)에서  $w=1$ 의 적용은 계곡 폭이 너무 얇은 결과를 나타낸다. 그림 6(b)와 6(e)에서  $w=5$ 의 사용은 계곡을 모두 제대로 찾았음을 알 수 있다. 그림 6(c), 6(f)에서는  $w_0$ 를 사용

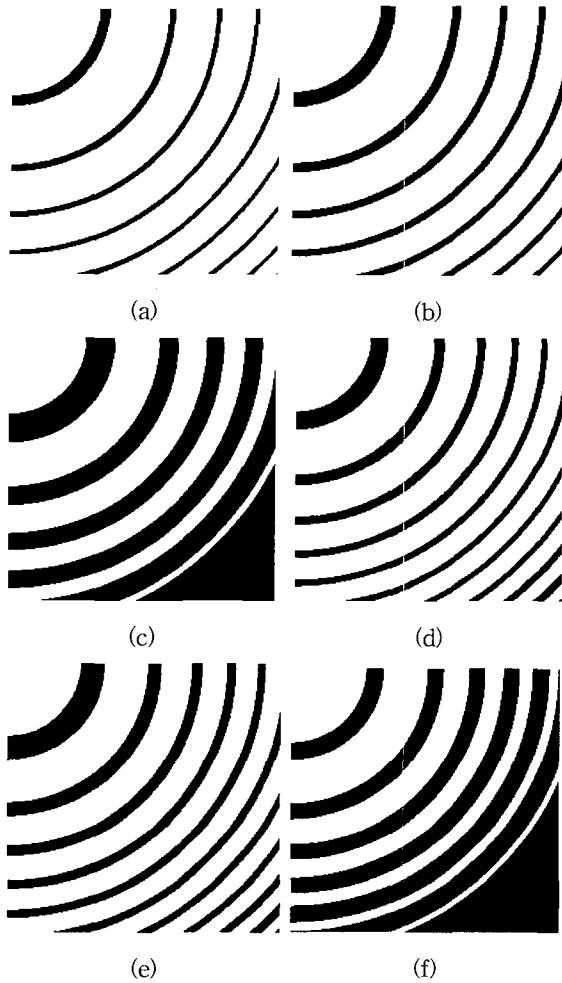


그림 6. 합성 영상  $S_1$ 과  $S_2$ 에 대한 제안한 방법의 이진화 결과

- (a)  $w=1$  ( $k^*=8, S_1$ ) (b)  $w=5$  ( $k^*=18, S_1$ )  
 (c)  $w=w_o=140$  ( $k^*=140, S_1$ )  
 (d)  $w=1$  ( $k^*=4, S_2$ ) (e)  $w=5$  ( $k^*=11, S_2$ )  
 (f)  $w=w_o=125$  ( $k^*=122, S_2$ )

Fig. 6. Binarization results of the proposed method for synthetic images  $S_1$  and  $S_2$ .

- (a)  $w=1$  ( $k^*=8, S_1$ ),  
 (b)  $w=5$  ( $k^*=18, S_1$ ),  
 (c)  $w=w_o=140$  ( $k^*=140, S_1$ ),  
 (d)  $w=1$  ( $k^*=4, S_2$ ),  
 (e)  $w=5$  ( $k^*=11, S_2$ ),  
 (f)  $w=w_o=125$  ( $k^*=122, S_2$ ).

하여 overflow가 발생하였는데 큰  $r$ 값에서 얻어진 계곡의 폭은 너무 두껍게 나타나게 된다. 만약 각각의 영상에 대해서 적절한  $w$  값이 결정된다면 비록 영상의

밝기값이 국부적으로 변한다 하더라도 효과적으로 이진화된 영상을 얻을 수 있다.

### III. 실험결과

실험을 위하여 입력 문서 영상을 상용 스캐너를 이용하여 200-300 dpi (dots per inch)의 해상도로 영상을 획득하였다. 256×256 크기의 실험 영상은 영상의 밝기 정보를 8bit으로 양자화하였다. 제안한 방법은 C언어로 프로그래밍 하였으며 Pentium II 400MHz를 사용하여 실험하였다.

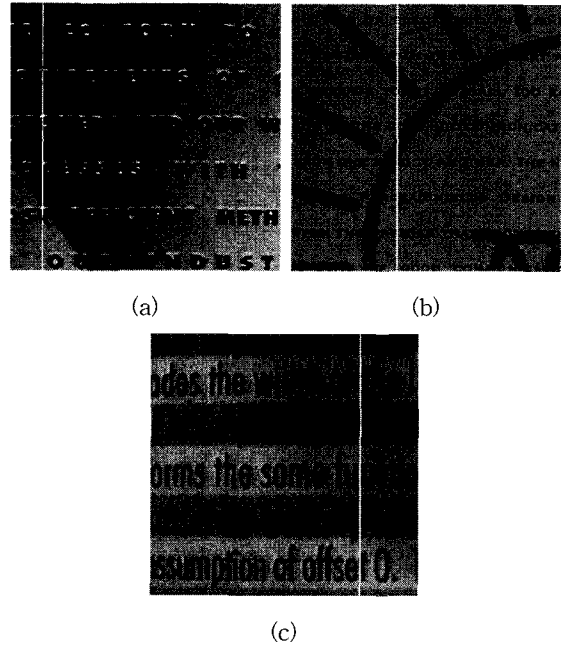


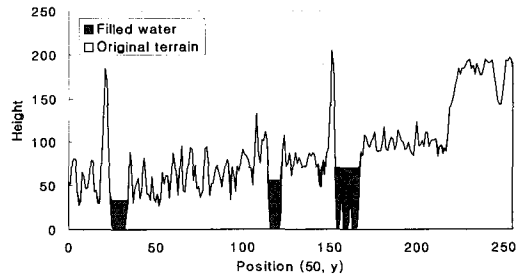
그림 7. 이진화를 위한 실제 실험 영상 (a) 실험 영상 1 ( $T_1$ ) (b) 실험 영상 2 ( $T_2$ ) (c) 실험 영상 3 ( $T_3$ )

Fig. 7. Real test images for binarization. (a) test image 1, ( $T_1$ ) (b) test image 2 ( $T_2$ ), (c) test image 3 ( $T_3$ ).

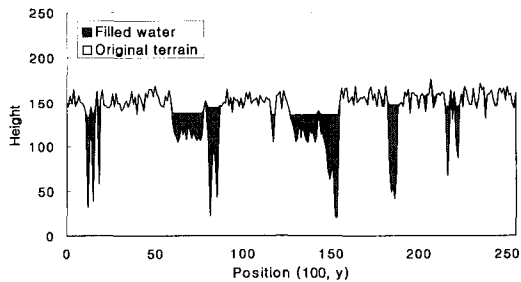
제안한 알고리즘의 효율성을 보이기 위해 몇 개의 문서 영상을 가지고 실험을 하였는데 이 중에서 일부를 그림 7에 나타내었다. 그림 7(a)의 영상은 배경부분의 밝기 값의 범위가 크다는 특성이 있다. 특히 이 영상은 왼쪽 상단의 배경으로 인해 문자와 배경을 분리하기 어려워 효과적으로 이진화하기 곤란하다. 그림 7(a)의 히스토그램(histogram)을 그림 9(a)에 나타내었는데 복잡한 배경으로 인해 밝기값의 분포가 넓게 퍼져있음

을 알 수 있다. 그림 7(b)의 실험 영상 2는 균일한 배경을 가지고 있지만 문자 추출 과정에서 원하지 않는 그림 영역 (graphic region)이 존재하여 이러한 부분에서 문자를 추출하는 데 어려움이 따르게 된다. 그림 7(b)의 히스토그램은 그림 10(a)에 나타내었는데 문자 영역과 그림 영역의 밝기 값이 비슷하여 작은 극치

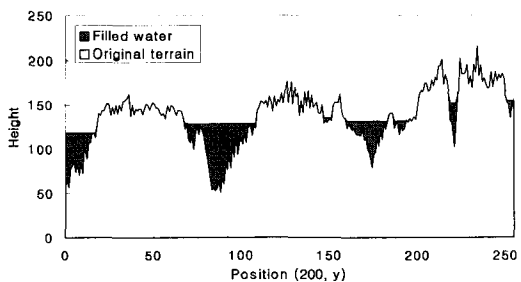
(peak)를 이루는 부분에서 둘이 공존하고 있어서 이로 인해 두 부분을 분리하기 어렵게 된다. 그림 7(c)의 실험 영상 3은 문자 영역에 존재하는 배경 영역의 밝기 값이 교대로 변하고 있으며 밝기 값의 분포가 불규칙하다. 그림 7(c)의 히스토그램은 그림 11(a)에 나타내었으며 이를 보면 밝기 값의 분포가 대체적으로 퍼져있음을 알 수 있다.



(a)



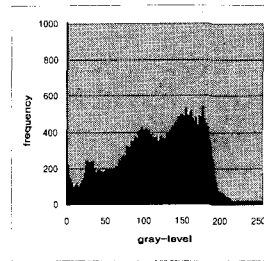
(b)



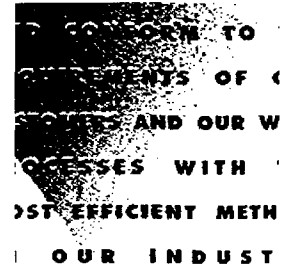
(c)

그림 8. 실험 영상  $T_1, T_2, T_3$ 에 해당하는 원래 지형과 물이 채워진 지형의 단면 ( $s=3$ )  
(a)  $T_1$  ( $w=10$ ) (b)  $T_2$  ( $w=20$ )  
(c)  $T_3$  ( $w=20$ )

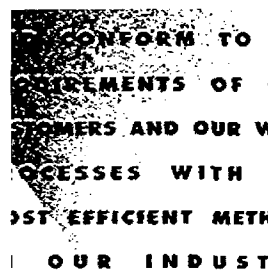
Fig. 8. Profiles of the original terrain and water-filled terrain of test images  $T_1, T_2,$  and  $T_3$  ( $s=3$ ).  
(a)  $T_1$  ( $w=10$ ), (b)  $T_2$  ( $w=20$ ),  
(c)  $T_3$  ( $w=20$ ).



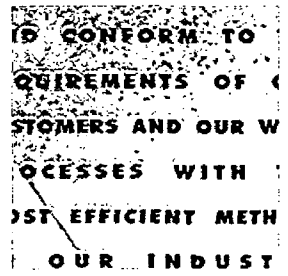
(a)



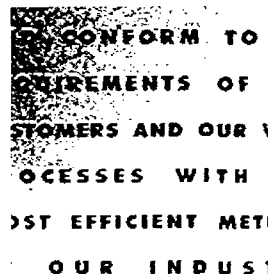
(b)



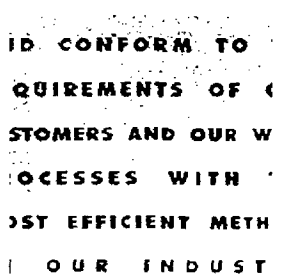
(c)



(d)



(e)

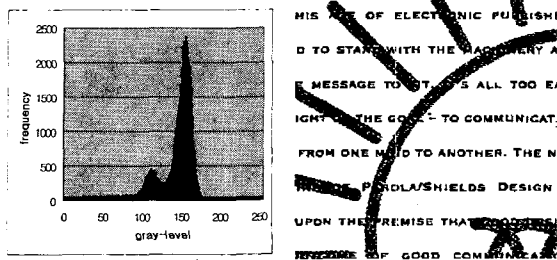


(f)

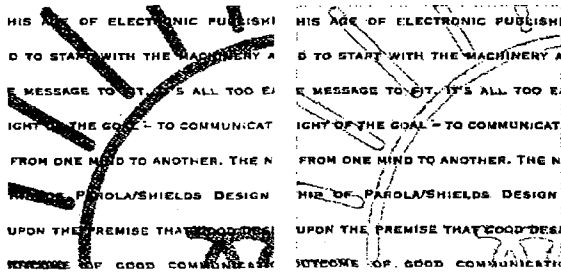
그림 9. 그림 7(a)의 이진화 결과

- (a) 히스토그램 (b) Otsu 방법
- (c) Nakagawa와 Rosenfeld 방법
- (d) 후처리 과정이 포함된 Niblack 방법
- (e) Liu와 Srihari 방법 (f) 제안한 방법

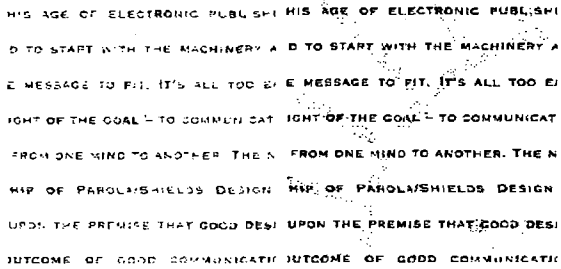
Fig. 9. Binarization results of Fig. 7(a).  
(a) histogram, (b) Otsu's method,  
(c) Nakagawa and Rosenfeld's method,  
(d) Niblack's method with postprocessing,  
(e) Liu and Srihari's method,  
(f) proposed method.



(a) (b)



(c) (d)



(e) (f)

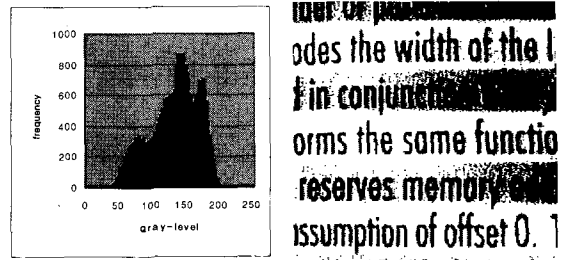
그림 10. 그림 7(b)의 이진화 결과

- (a) 히스토그램 (b) Otsu 방법
- (c) Nakagawa와 Rosenfeld 방법
- (d) 후처리 과정이 포함된 Niblack 방법
- (e) Liu와 Srihari 방법 (f) 제안한 방법

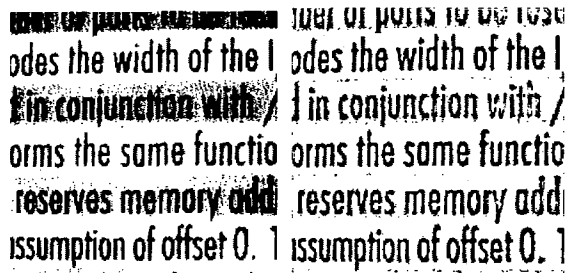
Fig. 10. Binarization results of Fig. 7(b).

- (a) histogram, (b) Otsu's method
- (c) Nakagawa and Rosenfeld's method,
- (d) Niblack's method with postprocessing,
- (e) Liu and Srihari's method, (f) proposed method.

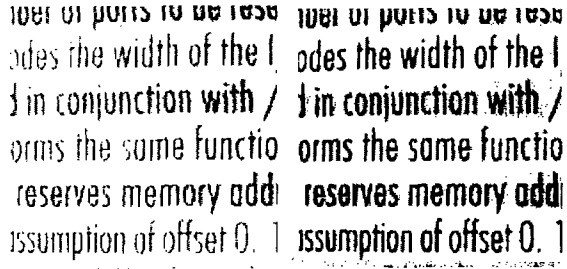
문서 영상의 효과적인 이진화를 위해 우리는 water flow model에 기반한 국부 적응 thresholding 방법을 제안하였다. 제안한 방법의 성능을 비교하기 위해 모두 4개의 다른 이진화 방법, 한 가지 전역 thresholding 방법과 세 가지 국부 thresholding 방법을 사용하였다. Otsu의 방법에서는 영상의 전체 히스토그램을 분석하여 전역 임계값이 결정된다.<sup>[2]</sup> 전역 thresholding 방법



(a) (b)



(c) (d)



(e) (f)

그림 11. 그림 7(c)의 이진화 결과

- (a) 히스토그램 (b) Otsu 방법
- (c) Nakagawa와 Rosenfeld 방법
- (d) 후처리 과정이 포함된 Niblack 방법
- (e) Liu와 Srihari 방법 (f) 제안한 방법

Fig. 11. Binarization results of Fig. 7(b).

- (a) histogram, (b) Otsu's method
- (c) Nakagawa and Rosenfeld's method,
- (d) Niblack's method with postprocessing,
- (e) Liu and Srihari's method, (f) proposed method.

은 이진화를 위해 전체 하나의 영상에 대해서 오직 하나의 임계값을 구하게 된다.

성능 비교를 위하여 서로 다른 세가지 국부 thresholding 방법을 제안한 방법과 비교하였다. 국부 thresholding 방법은 각 화소에 대한 임계값을 주변 화소의 정보를 기준으로 임계값을 결정하게 된다. Nakagawa와 Rosenfeld의 방법에서는 원래 영상을 몇



개의 작은 영역으로 나누어 임계값을 결정하는 방법이다.<sup>[3]</sup> Niblack의 방법에서는 밝기 값의 국부 평균과 분산 값을 기준으로 영상에 대해서 각 화소의 임계값이 변하게 된다.<sup>[20, 21]</sup> Niblack의 방법을 수행한 뒤 이진화 영상의 상태를 개선하기 위해서 이른바 “ghost”라 불리는 부분을 제거하게 되는데 이것을 위해 후처리 과정으로 Yanowitz와 Bruckstein 방법을 적용할 수 있다.<sup>[22]</sup> Liu와 Srihari의 방법에서는 문서 영상에서 문자의 특성과 이진화 영상에서의 run-length 히스토그램을 분석하여 임계값을 결정하게 된다.<sup>[18]</sup>

이진화된 영상의 성능 평가를 위해 두 가지 방법을 사용하였다. 첫 번째로 visual criteria를 이용하여 서로 다른 이진화 방법의 결과들을 평가하였다.<sup>[19]</sup> 두 번째로 양적 (quantitative)인 척도를 위해 이진화된 영상으로부터 문자를 추출하여 문자가 바르게 추출되는 비율을 비교하였다.<sup>[23]</sup>

#### 1. Visual criteria

성능 평가를 위해 서로 다른 다섯 가지 방법을 사용해 얻어진 이진화 영상에 대해 visual criteria 방법을 이용하였다. 이 평가 과정은 blind test로 수행하였다. 이진화된 영상의 평가 결과는 다음의 네 가지 criteria를 기준으로 얻어졌다.<sup>[19]</sup>

- 1) Broken text: 문자에서 원하지 않는 균열의 존재 여부. 작은 공백 (gap)이 높은 점수를 받음.
- 2) Blurring of text: blurring의 빈도가 적은 것이 높은 점수를 받음.
- 3) Loss of complete text: 훼손된 문자의 수가 적을수록 높은 점수를 받음.
- 4) Noise in background area: false object의 수가 적을수록 높은 점수를 받음.

주어진 criteria를 기준으로 5점을 최고 점수로 하여 각각의 항목에 대해 1-5의 점수를 부여한다. 4가지 항목을 기준으로 하면 각각의 이진화된 영상이 얻을 수 있는 최고 점수는 20점이 되며 모두 10개의 영상에서 각각의 이진화된 방법에 대한 최고 점수는 200점이 된다.

제한한 thresholding 방법을 적용하기 위해 문서 영상에 물을 뿌리는 전처리 과정이 필요하다. 이러한 과정이 수행되면 물은 문서 영상에서 낮은 밝기 값을 가

지는 국부 계곡으로 흐르게 된다. 그림 8(a)는 그림 7(a)에서 수직 방향의 흰색으로 표시된 부분에 해당하는 원래의 지형과 물이 채워진 지형의 단면을 보여준다. 비록 영상에서 밝기 값의 변화가 심하여도 문자 영역에 물이 채워져 있음을 알 수 있다. 이러한 전처리 과정이 수행되면 물이 채워진 영역은 문자 영역에 해당하고 물이 채워지지 않은 영역은 배경 영역이 된다. 이 영상의 경우 문자 영역과 배경 영역의 밝기 값의 차이가 크지 않아 너무 많은 물을 뿌리게 되면 물은 배경 영역으로 넘치게 된다. 우리는 실험적으로 강우 (rainfall) 파라미터  $w$ 를 10으로 하였고 마스크 파라미터  $s$ 를 3으로 사용하였다. 그림 8(b)는 그림 7(b)에서 수직 방향의 흰색으로 표시한 부분에 해당하는 원래 지형과 물이 채워진 지형의 단면을 나타낸다. 그림 7(b)에서 대체적으로 배경에는 물이 채워지지 않았지만 문자와 그림 영역에 물이 채워지게 되었다. 문자 영역은 그림 영역보다 더 낮은 밝기 값을 가지므로 더 많은 물의 양이 문자 영역으로 채워지게 된다. 이 영상의 경우 실험적으로 water flow model 파라미터를  $w=20$ ,  $s=3$ 으로 정하였다. 그림 8(c)는 그림 7(c)에서 수직 방향의 흰색으로 표시한 부분에 해당하는 원래 지형과 물이 채워진 지형의 단면을 나타낸다. 그림 8(c)에서는 물의 대부분이 문자 영역에 채워져 있으며 낮은 밝기 값을 가지는 배경에 부분적으로 채워져 있다. 여기서는 실험적으로 water flow model 파라미터를  $w=20$ ,  $s=3$ 으로 놓았다.

첫 번째로 그림 7(a)에 대한 실험 결과를 그림 9에 나타내었다. 그림 9(a)에서는 그림 7(a)에 해당하는 히스토그램을 나타낸다. 그림 9(b)는 전역 thresholding 방법인 Otsu 알고리즘을 이용하여 얻은 결과를 나타내는데 예상대로 만족스러운 결과를 보이지 못하였다. 그림 9(c)는 Nakagawa와 Rosenfeld의 방법을 적용한 결과인데 왼쪽 상단에 많은 false object가 발생하였다. 그림 9(d)는 Niblack의 방법에 후처리 과정을 적용시킨 것인데 앞의 두 결과에 비해 훨씬 개선된 결과를 나타내고 있다. 그림 9(e)는 Liu와 Srihari의 방법을 사용한 것인데 그림 9(c)의 결과와 비슷하게 왼쪽 상단에 많은 false object가 발생하였다. 그림 9(f)는 water flow model에 기반을 둔 제한한 알고리즘에 의해 얻어진 이진화 결과를 나타내고 있다. 그림 7(a)의 왼쪽 상단에서 뿌려진 물은 더 낮은 곳으로 흐르게 되고 결국 문

자 영역으로 흐르게 되는 것이다. 여기서 thresholding 과정은 물의 채워진 양을 기준으로 수행된다. 그림 9에서 제안한 알고리즘의 결과가 가장 좋은 결과를 보여주고 있다.

두 번째로 그림 7(b)에 대한 실험 결과를 그림 10에 나타내었다. 이 실험 영상은 비록 문자와 배경사이의 밝기 값의 차이가 현저하게 나타나고 있지만 배경부분에 그림 영역이 존재하고 있어 그림 영역에서 문자를 추출해 내기 어렵다. 그림 7(b)에 해당하는 영상의 히스토그램을 그림 10(a)에 나타내었다. 그림 10(b)와 10(c)는 각각 Otsu의 방법과 Nakagawa, Rosenfeld의 방법을 적용하여 얻어진 결과인데 문자와 함께 그림 영역도 검출되었다. 그림 10(d)는 Niblack의 방법에 후처리 과정을 적용하여 얻어진 결과를 나타내고 있는데 그림 10(b)와 10(c)에 비해서 개선된 결과를 얻었다. 하지만 thresholding 이후에 그림 영역의 에지 성분은 제거하지 못하였다. 그림 10(e)는 Liu와 Srigrari의 방법에 의해 얻어진 결과를 나타내는데 대부분의 문자가 손상을 받게 되었다. 그림 10(f)는 water flow model에 기반한 제안한 thresholding 방법에 의해 얻어진 이진화 결과를 나타내고 있다. 여기서는 문자 영역은 보존되면서 바라지 않는 그림 영역이 제거된 결과를 얻었는데 이는 문자 영역과 그림 영역의 낮은 밝기 값을 가지는 영역으로 물이 흐르게 되었는데 상대적으로 채워진 물의 양을 기준으로 임계값을 결정하므로 그림 영역이 제거되면서 문자가 보존될 수 있었기 때문이다. 그림 10에서도 제안한 알고리즘이 가장 좋은 결과를 나타내고 있다.

세 번째로 그림 7(C)에 대한 실험 결과를 그림 11에 나타내었다. 그림 7(C)의 히스토그램을 그림 11(a)에 나타내었다. 그림 11(b)는 Otsu의 방법에 의해 얻어진 결과를 보여주고 있는데 문자 영역과 반복되는 배경의 밝기 값이 비슷하므로 전역 thresholding 방법은 좋지 못한 결과를 나타내고 있다. 그림 11(c)는 Nakagawa와 Rosenfeld의 방법에 의한 결과인데 그림 11(b)에 비해 개선된 결과를 보이고 있지만 여전히 배경과 문자가 공존하는 모습을 보이고 있다. 그림 11(d)는 Niback의 방법에 후처리 과정을 적용한 결과를 보이고 있는데 약간의 깨진 문자를 제외하면 좋은 결과를 보이고 있다. 그림 11(e)는 Liu와 Srihari의 방법에 의한 결과를 보여주고 있는데 여기서는 대부분의 원하지 않는 배경을 제거할 수 있었지만 많은 문자들이 깨진 결과를 보

여주고 있다. 그림 11(f)는 제안한 방법에 의한 이진화 결과를 보여주고 있다. 제안한 방법은 채워진 물의 양을 기준으로 효과적으로 임계값을 정하였기 때문에 원하지 않는 배경을 제거할 수 있었으며 문자 영역을 보존할 수 있었다. 문자 영역은 어두운 배경과 비교해 상대적으로 많은 양의 물이 채워질 수 있었기 때문에 효과적으로 문자를 추출할 수 있었다.

우리는 여러 가지 이진화 방법의 성능을 평가하기 위해 visual criteria를 사용하였다. 여러 이진화 방법의 성능을 양적인 척도 관점에서 비교하여 표 1에 나타내었다. 각각의 점수들은 네 가지 visual criteria를 기준으로 구한 것을 합산하여 나타낸 것이다. 우리는 점수를 계산하기 위하여 서로 다른 방법에 의해 구해진 이진화된 영상을 임의대로 섞어 열 명의 학생들에게 상대적인 점수를 부여하게 하였다. 각각의 척도(criterion)에 대해 열 명의 학생들의 점수의 평균을 구하였다. 표 1에 나타난 것처럼 제안한 thresholding 방법이 가장 높은 점수를 얻었다. 자연 현상에서 물은 항상 낮은 곳으로 흐르는 성질을 가지고 있는데 이를 이

표 1. 각각의 이진화 방법에 대한 정량적인 성능 비교 점수

Table 1. Scores for quantitative performance comparison of each binarization method.

Test image	Method				
	$M_1$	$M_2$	$M_3$	$M_4$	$M_5$
$T_1$	14	14	15	14	17
$T_2$	14	14	15	12	16
$T_3$	14	15	16	14	16
$T_4$	15	16	16	17	18
$T_5$	19	19	17	19	19
$T_6$	15	15	16	14	15
$T_7$	15	15	16	16	17
$T_8$	19	19	18	20	20
$T_9$	17	17	17	17	18
$T_{10}$	14	15	16	14	16
Total score	156	159	162	157	172

$M_1$ : Otsu's method,

$M_2$ : Nakagawa and Rosenfeld's method,

$M_3$ : Niblack's method with postprocessing,

$M_4$ : Liu and Srihari's method,  $M_5$ : proposed method.

용하여 제안한 방법은 문자와 배경을 효과적으로 분리할 수 있었다.

제안한 방법에서 채워진 물의 양은 파라미터  $w$ 와  $s$ 의 값과 지형의 형태에 따라 달라지게 된다.  $s$ 의 값이 증가하면서 작은 잡음에 의한 효과는 줄어든다. 큰  $s$ 값에 대해서는 작은 object는 사라지게 될 것이며 많은 계산량을 요구하게 된다.

2. 문자 추출

다른 방법에 의한 이진화된 영상의 성능 평가를 위해서 문자가 추출되는 비율을 조사하였다. 이 문자 추출 과정은 연결된 요소들을 chain code로 인식하여 문자 영역으로부터 그림 영역을 분리하는 것이다.<sup>[23]</sup> 각각의 방법에 의해 구해진 이진화 영상에서 전체 문자들의 개수에 대해 올바르게 추출된 문자의 개수를 구해 문자 추출 비율을 비교하는 방법을 사용하였다. 열 개의 실험 영상에 대해 문자 추출 과정을 수행한 뒤 문자 추출 비율을 구했다. 추출된 문자들에 대해서 문자 영역을 표시하는 box를 썼었다.

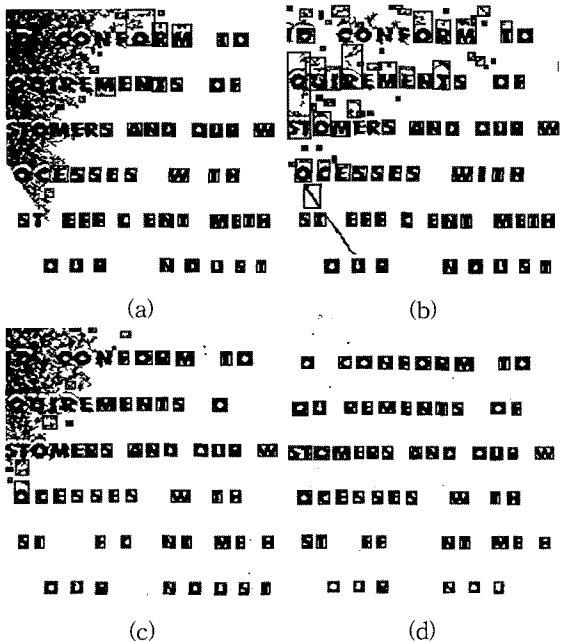


그림 12. 문자 추출 결과 (a) 그림 9(c)에서 얻은 결과 (b) 그림 9(d)에서 얻은 결과 (c) 그림 9(e)에서 얻은 결과 (d) 그림 9(f)에서 얻은 결과  
 Fig. 12. Character extraction results. (a) character extraction from Fig. 9(c), (b) character extraction from Fig. 9(d), (c) character extraction from Fig. 9(e), (d) character extraction from Fig. 9(f).

그림 9에 해당하는 문자 추출 결과를 그림 12에 나타내었다. 그림 9(b)에 해당하는 문자 추출결과는 문자 영역이 심하게 훼손되어 문자 추출이 이루어지지 않아 추출 실험에서 제외시켰다. 그림 12(a), 12(b), 12(c)는 각각 그림 9(c), 9(d), 9(e)에서 구해진 문자 추출 결과인데 이진화된 영상의 문자 영역에 false object가 존재하여 올바른 문자 추출 비율이 높지 않았다. 그림 9(f)의 문자 추출 결과를 그림 12(d)에 나타내었다. 여기서

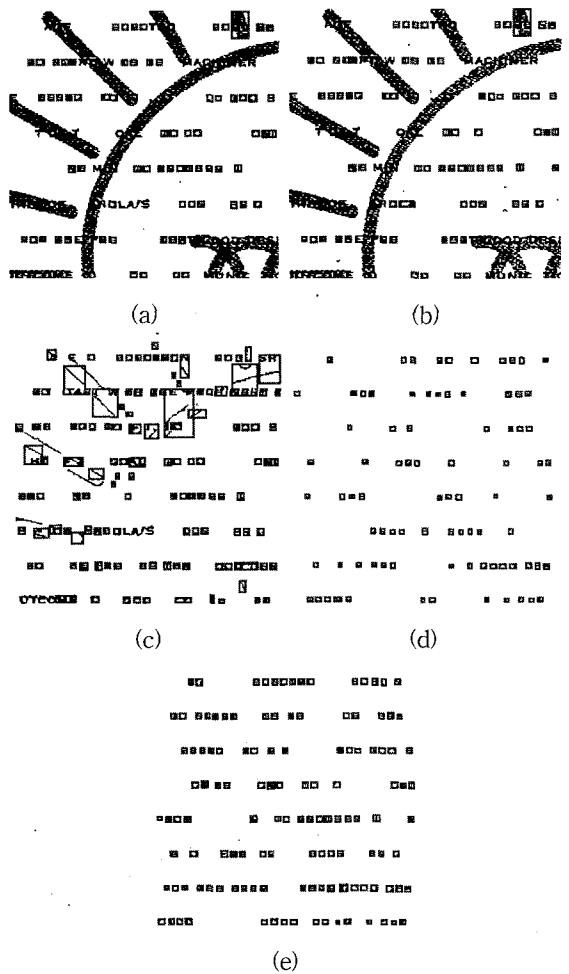
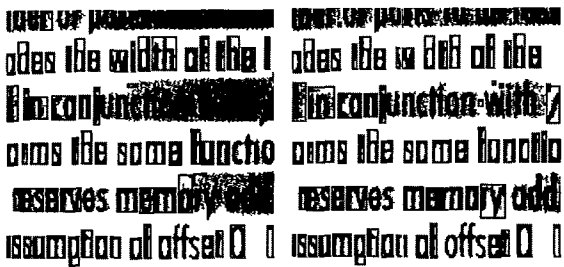


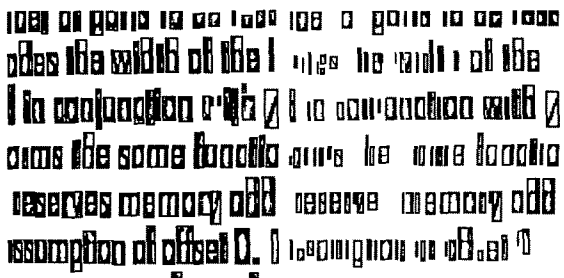
그림 13. 문자 추출 결과 (a) 그림 10(b)에서 얻은 결과 (b) 그림 10(c)에서 얻은 결과 (c) 그림 10(d)에서 얻은 결과 (d) 그림 10(e)에서 얻은 결과 (e) 그림 10(f)에서 얻은 결과  
 Fig. 13. Character extraction results. (a) character extraction from Fig. 10(b), (b) character extraction from Fig. 10(c), (c) character extraction from Fig. 10(d), (d) character extraction from Fig. 10(e), (e) character extraction from Fig. 10(f).

는 제안한 국부 적응 thresholding 방법에 의해 얻어진 이진화 영상이 원하지 않는 배경을 제거할 수 있었기 때문에 다른 것에 비해 문자 추출 비율이 높게 나타났다.

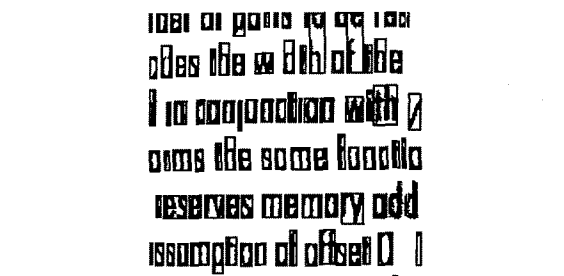
그림 10에 해당하는 문자 추출 결과를 그림 13에 나타내었다. 그림 13(a)와 13(b)는 각각 그림 10(b)와 10(c)에서 얻어진 결과이다. 여기서는 그림 10(b)와 10(c)에 존재하는 그림 영역 때문에 만족스러운 추출



(a) (b)



(c) (d)



(f)

그림 14. 문자 추출 결과 (a) 그림 11(b)에서 얻은 결과 (b) 그림 11(c)에서 얻은 결과 (c) 그림 11(d)에서 얻은 결과 (d) 그림 11(e)에서 얻은 결과 (e) 그림 11(f)에서 얻은 결과

Fig. 14. Character extraction results. (a) character extraction from Fig. 11(b), (b) character extraction from Fig. 11(c), (c) character extraction from Fig. 11(d), (d) character extraction from Fig. 11(e), (e) character extraction from Fig. 11(f).

결과를 나타내지 못하였다. 그림 13(c)는 그림 10(d)에서 얻어진 결과를 나타낸다. 여기서는 그림 영역의 에지 성분에 의해 이러한 에지 성분을 문자로 인식해버리는 결과를 보인다. 따라서 많은 수의 문자가 아닌 영역을 문자로 인식하게 되어 문자 추출률을 낮게 만드는 요소로 작용하고 있다. 그림 13(d)는 그림 10(e)의 문자 추출 결과를 나타내고 있는데 깨진 문자들로 인해 많은 수의 문자가 추출되지 못하는 결과를 보이고 있다. 그림 13(e)는 그림 10(f)의 문자 추출 결과를 나타낸다. 여기서는 문자의 크기가 작아 몇 개의 작은 점들이 검출되었기 때문에 문자를 추출하는 데 어려움이 있게 된다. 몇 개의 점들을 제외한다면 좋은 추출 결과를 보이고 있다.

표 2. 각각의 이진화 방법에 의해 얻어진 결과에서의 문자 추출 비율 (%)

Table 2. Character extraction rate for binarized document images obtained by each binarization method (%).

Test image	Method				
	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	M <sub>4</sub>	M <sub>5</sub>
T <sub>1</sub>	-	67	70	66	86
T <sub>2</sub>	39	43	51	19	64
T <sub>3</sub>	62	65	93	44	89
T <sub>4</sub>	87	89	86	83	85
T <sub>5</sub>	84	86	86	83	85
T <sub>6</sub>	33	35	63	11	70
T <sub>7</sub>	76	76	77	69	85
T <sub>8</sub>	97	97	92	98	98
T <sub>9</sub>	91	87	82	74	88
T <sub>10</sub>	36	38	77	21	37
Total score	67	68	78	57	79

M<sub>1</sub>: Otsu's method,  
 M<sub>2</sub>: Nakagawa and Rosenfeld's method,  
 M<sub>3</sub>: Niblack's method with postprocessing,  
 M<sub>4</sub>: Liu and Srihari's method, M<sub>5</sub>: proposed method.

그림 14는 그림 10에 해당하는 문자 추출 결과를 나타내고 있다. 그림 14(a)와 14(b)는 각각 그림 11(b)와 11(c)에 해당하는 문자 추출 결과이다. 여기서는 반복되고 있는 어두운 배경 때문에 그 결과가 좋지 않게 나타나고 있다. 그림 14(c)는 그림 11(d)에 해당하는 문자 추출 결과인데 이 경우 가장 좋은 추출 결과를 나

타내고 있다. 그림 14(d)는 그림 11(e)에서 얻어진 문자 추출 결과를 보이고 있는데 훼손된 문자 때문에 많은 부분에서 문자가 잘못 추출되고 있다. 그림 14(e)는 그림 11(f)에서 얻어진 문자 추출 결과를 나타내고 있는데 몇 개의 문자를 제외하고 그림 14(c)와 비슷한 결과를 나타내고 있다.

몇 개의 추가 실험을 표 2에 나타내고 있는데 여기서는 모두 열 개의 문서 영상에 대해서 문자 추출 비율을 정리하였다. 대체적으로 제안한 방법이 다른 이진화 방법에 비해 더 좋은 문자 추출 결과를 나타낸다.

#### IV. 결 론

본 논문은 밝기 영상으로 되어있는 문서 영상을 3차원 지형으로 인식하여 water flow model을 이용하여 영상의 국부적 특성을 분석한 뒤 thresholding하는 방법을 사용하였다. Water flow model은 주위의 영역보다 낮은 영역에 해당하는 계곡을 국부적인 방법으로 검출하게 된다. 뿌려진 물은 깊은 계곡에 채워지게 되고 평탄한 영역에 대해서는 채워지지 않게 된다. 물의 물리적인 특성을 이용하여 제안한 thresholding 방법은 잡음에 의해 심하게 손상된 문서 영상이나 문자 영역에 다양한 배경이 존재하는 국부적 특성이 강한 영상에 대해 다른 이진화 방법보다 훨씬 효과적으로 이진화할 수 있다. 이는 국부적인 특성이 강한 영상에서 자동으로 문자를 인식해야하는 시스템이나 기타 다른 응용 예에 효과적인 전처리 과정으로 사용할 수 있게된다.

추후의 연구는 이진화 결과의 상태를 결정하는 뿌려진 물의 양을 최적으로 선택하는 문제에 대해 연구이다.

#### 참 고 문 헌

- [1] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, *Digital Image Processing*, Addison-Wesley, New York, 1992.
- [2] N. Otsu, "A threshold selection method from gray-level histograms," *IEEE Trans. Systems, Man, Cybernetics*, vol. SMC-9, no. 1, pp. 62-66, 1979.
- [3] Y. Nakagawa and A. Rosenfeld, "Some experiments on variable thresholding," *Pattern Recognition*, vol. 11, pp. 191-204, 1979.
- [4] S. U. Lee, S. Y. Chung, and R.-H. Park, "A comparative performance study of several global thresholding techniques for segmentation," *Computer Vision, Graphics, Image Processing*, vol. 52, no. 2, pp. 171-190, 1990.
- [5] P. K. Sahoo, A. K. C. Wong, and Y. C. Chen, "A survey of thresholding techniques," *Computer Vision, Graphics, Image Processing*, vol. 41, no. 2, pp. 233-260, 1988.
- [6] T. Pavlidis and Y.-T. Liow, "Integrating region growing and edge detection," *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, vol. PAMI-12, no. 3, pp. 225-233, 1990.
- [7] L. Vincent and P. Soille, "Watersheds in digital space: An efficient algorithm based on immersion simulations," *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, vol. PAMI-13, no. 6, pp. 583-598, 1991.
- [8] H. Ancin et al., "An improved watershed algorithm for counting objects in noisy, anisotropic 3-D biological images," in *Proc. 1995 IEEE Int. Conf. Image Processing*, vol. I, pp. 172-175, Washington D.C., USA, 1995.
- [9] T. Géraud et al., "Segmenting internal structures in 3D MR images of the brain by Markovian relaxation on a watershed based adjacency graph," in *Proc. 1995 IEEE Int. Conf. Image Processing*, vol. II, pp. 548-551, Washington D.C., USA, 1995.
- [10] M. Baccar, L. A. Gee, R. C. Gonzalez, and A. Abidi, "Segmentation of range images via data fusion and morphological watersheds," *Pattern Recognition*, vol. 29, no. 10, pp. 1673-1687, 1996.
- [11] P. T. Jackway, "Gradient watersheds in morphological scale-space," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. IP-5, no. 6, pp. 913-921, 1996.
- [12] L. Najaman and M. Schmitt, "Geodesic saliency of watershed contours and hierarchical segmentation," *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, vol. PAMI-18, no. 12, pp. 1163-1173, 1996.

- [13] C. K. Lee and S. P. Wong, "Morphological approach for thresholding noisy images," in *Proc. SPIE Visual Communication and Image Processing*, vol. 2501, pp. 1773-1784, Taipei, Taiwan, 1995.
- [14] N. Papamarkos and B. Gatos, "A new approach for multilevel threshold selection," *Graphical Models Image Processing*, vol. 56, no. 5, pp. 357-370, 1994.
- [15] L. O'Gorman, "Binarization and multithresholding of document images using connectivity," *Graphical Models Image Processing*, vol. 56, no. 6, pp. 494-506, 1994.
- [16] A. Beghdadi, A. L. Négrate, and P. V. De Lesegno, "Entropic thresholding using a block source model," *Graphical Models Image Processing*, vol. 57, no. 3, pp. 197-205, 1995.
- [17] Ø. D. Trier, T. Taxt, and A. K. Jain, "Recognition of digits in hydrographic maps-binary versus topographic analysis," *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, vol. PAMI-19, no. 4, pp. 399-404, 1997.
- [18] Y. Liu and S. N. Srihari, "Document image binarization based on texture features," *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, vol. PAMI-19, no. 5, pp. 540-544, 1997.
- [19] Ø. D. Trier and T. Taxt, "Evaluation of binarization methods for document images," *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, vol. PAMI-17, no. 3, pp. 312-315, 1995.
- [20] W. Niblack, *An Introduction to Digital Image Processing*, Prentice Hall, New Jersey, 1986.
- [21] Ø. D. Trier and A. K. Jain, "Goal-directed evaluation of binarization methods," *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, vol. PAMI-17, no. 12, pp. 1191-1201, 1995.
- [22] S. D. Yanowitz and A. M. Bruckstein, "A new method for image segmentation," *Computer Vision, Graphics, Image Processing*, vol. 46, no. 1, pp. 82-95, 1989.
- [23] D.-G. Sim, Y. K. Ham, I. K. Kim, and R.-H. Park, "Analysis of mixed Korean document using the branch and bound algorithm based on DP matching," *Computer Vision and Image Understanding*, vol. 71, no. 3, pp. 373-384, 1998.

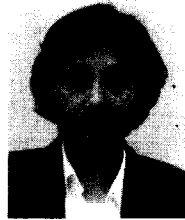
## 저 자 소 개



金仁權(正會員)

1970년 2월 18일생. 1992년 2월: 서강대학교 자연과학대학 물리학과 졸업 (이학사). 1994년 2월: 서강대학교 대학원 전자공학과 졸업 (공학석사). 1998년 8월: 서강대학교 대학원 전자공학과 졸업 (공학박사). 현재:

바로비전 선임연구원. 주관심분야: MPEG-4 application, 프랙탈 기반의 영상압축, 비디오 코딩 등임



宋正姬(正會員)

1958년 7월 4일생. 1981년 서울대학교 전자공학과 졸업 (공학사). 1984년 Univ. of Texas Austin, 졸업 (공학석사). 1989년 Carnegie Mellon Univ. 졸업 (공학박사). 현재: 서강대학교 영상전문대학원 미디어 공학과 조교수. 주관심분야: 영상처리, 영상전송 등임

미디어 공학과 조교수. 주관심분야: 영상처리, 영상전송 등임



鄭東旭(學生會員)

1971년 5월 16일생. 1999년 2월: 서강대학교 전자공학과 졸업 (공학사). 현재: 서강대학교 공과대학 전자공학과 석사과정. 주관심분야: 패턴인식, 컴퓨터 비전 등임

朴來弘(正會員) 第33卷, B編, 第9號 參照

현재 서강대학교 전자공학과 교수