

다단계 thresholding에 의한 세포 영상 영역 분할

김호영, 김선아, 최예찬, 김백섭

한림대학교 컴퓨터공학과 컴퓨터비전 및 패턴인식 연구실

Cell Image Segmentation Using Multi-level Thresholding Technique

Ho-Young Kim, Sun-A Kim, Yea-Chan Choi and Baek-Sop Kim

Dept. of Computer Engineering, Hallym University

요 약

영상에 대한 영역분할은 영상에 대한 인식 시스템에서 가장 중요하고도 어려운 분야로 알려져 있다. 주로 사용되는 방법은 화소중심기법과 영역중심기법이 사용되는데, 화소중심기법은 적은 시간이 걸리는데 비해 영역분할 효과가 떨어지고, 영역중심기법은 상대적으로 양질의 영역분할 효과를 얻을 수 있지만 많은 시간이 걸린다. 본 논문에서는 영역분할에 대한 방법으로 thresholding 기법을 이용한 2단계로 이루어진 영역분할 방법을 제안한다. 제안된 방법은 화소의 전역정보와 지역정보를 모두 사용하여 기존의 전역 thresholding 방법에 비해 향상된 영역분할을 수행하고, 지역정보를 이용하는 영역중심기법에 비해 시간을 단축하는 효과를 가지고 있다. 첫 번째 단계에서는 기존에 알려진 전역 thresholding 방법을 사용하여 영역분할을 하고, 두 번째 단계에서는 영상에 대해 미리 알려진 사전지식을 이용하여 영역분할이 제대로 되지 않은 영역을 구분하여 해당 영역에 대해서만 thresholding 작업을 수행한다. 사용된 영상은 자궁경부 세포진 영상으로 대상이 되는 영역은 자궁경부 세포의 핵으로 제한하였다

1. 서 론

영상에서 관심 있는 사물에 대한 인식 시스템은 영상의 영역분할, 특징추출, 인식 알고리즘으로 구성된다. 그 중 영역분할은 인식 시스템의 가장 중요한 부분을 차지하는데, 영역분할 방법에 따라 같은 사물에 대해서 전혀 다른 특징이 추출될 수 있고, 그에 따라 전혀 다른 인식결과를 초래할 수 있다.

사용되는 영역분할 기법은 대상이 되는 영상에 따라 달라지며, 크게 화소중심기법(pixel based method)과 영역중심기법(region based method)으로 나뉘어진다. 화소중심기법은 각 화소마다 독립적으로 특정 기준에 따라 의미를 부여하게 되며 thresholding 기법[1,2,3]이 소개되어 있고, 영역중심기법은 주변화소와의 관계를 계산하여 의미를 부여하게 되며 region growing[5], relaxation[4] 등의 기법들이 소개되어 있다. 화소중심기법은 전역적 특성을 이용할 수 있고, 영역중심기법은 계산량이 많아 상대적으로 많은 시간이 소요되지만 지역적 특성을 이용할 수 있다.

본 논문에서는 영역중심기법에 비해 적은 시간을 가지고 지역적 특성을 이용할 수 있는 기법을 제안하였다. 2단계로 이루어진 영역분할 기법(two stage segmentation technique)을 사용하였는데, 전역 thresholding 기법을 사용한 후 나타나는 영역에 대해서 관심 있는 사물의 미리 알려진 지식(prior knowledge)을 사용하여 적당하지 않은 영역에 대해서는 그 영역에 대해서만 다시 thresholding 기법을 사용하는 방법을 제안하였다.

대상이 되는 영상은 자궁경부 세포진 영상으로 세포는 크게 핵(nucleus)과 세포질(cytoplasm)로 나누어지고, 정상과 비정상을 구분하는 특징 중 상등수가 핵에 집중되어 있으므로 핵의 영역분할에 중점을 두고 있다. 본 논문의 구성은 2장에

서 사용되는 영상의 특성을 살펴보고, 3장에서는 제안된 영역분할 기법을 설명한다. 4장에서는 실험결과를 통해 기존의 영역분할기법과의 성능을 비교하고, 마지막으로 5장에서 결론을 기술하였다.

2. 자궁경부 세포진 영상의 특성

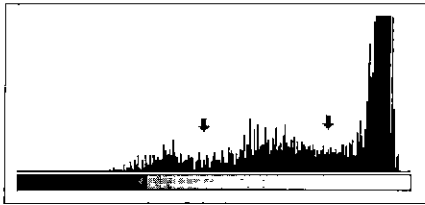
대상이 되고 있는 자궁경부 세포진 영상은 RGB true 컬러로 해상도 640x480의 100배 영상을 사용하고 있다.

[그림 1]에서 보는 것과 같이 영상은 핵과 세포질로 구성된 자궁경부 세포의 세포질이 없는 백혈구 등의 관련 없는 세포, 그리고 배경으로 구성된다. 컬러는 세포핵과 백혈구는 같은 검은 빛을 띄고 있고, 세포질과 배경의 경우 염색방법에 따라서 다른 빛을 띄게 된다. 따라서 컬러정보는 영상에 따라 변화가 심함으로 사용하지 않고 명암(luminance)정보만 사용하게 된다.



[그림 1] 자궁경부 세포진 영상

[그림 2]는 영상의 명암 히스토그램(histogram)을 나타낸다. 깨끗한 영상의 경우 3개의 봉우리(peak)와 화살표로 표시된 2개의 골(valley)이 나타난다. 왼쪽의 첫 번째 화살표로 표시된 골은 핵과 세포질의 경계가 되는 명암 값을 나타내고, 두 번째 화살표로 표시된 골은 세포질과 미세의 경계가 되는 명암 값을 나타내게 된다. 백혈구는 일반적으로 핵과 같은 구간의 명암 값을 나타낸다. 일반적으로 핵의 추출은 첫 번째 화살표가 가리키고 있는 골을 찾는 문제로 압축된다.



[그림 2] 자궁경부 세포진 영상의 명암 히스토그램

3. 2단계로 이루어진 영역분할 기법

영상에 따라서는 전체 영상에 균일한 빛이 들어가지 않는 경우가 발생할 수 있다. 한쪽은 어둡고, 반대편은 밝을 수가 있는데 이런 경우에 전역 thresholding의 경우에는 어느 한쪽을 중심으로 thresholding 값을 선택할 경우, 다른 쪽은 제대로 분할이 되지 않는다. 또 자궁경부 세포진 영상의 경우 두 개의 핵이 너무 근접할 경우, 그 사이의 영역은 이두운 빛을 띄게 되어 두 개의 핵이 떨어져 있음에도 영역분할 후에 붙는 현상이 발생한다. 위와 같은 현상을 막기 위해 지역정보가 필요하게 되는데, 이를 위해 다음 단계로 특정 영역에 대해서 지역적 thresholding을 사용한다. 지역적 thresholding이 적용되는 영역은 영상의 종류에 따라 달라지며 관심 있는 사물에 대한 지식을 사용하게 된다. 자궁경부 세포진의 핵 분할에 대해서는 “핵은 일반적으로 둥글다”는 지식을 사용하여 위와 같은 영역에 대해 지역적 thresholding을 수행하게 된다.

3.1. 전처리

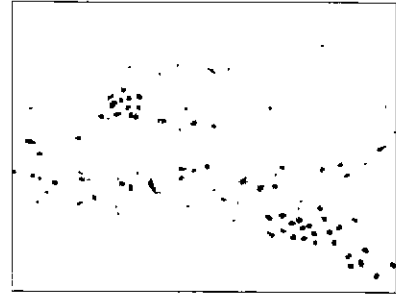
영상획득 시스템에 따라서는 영상의 상, 하, 좌, 우 끝 부분에 불필요한 부분이 있을 수 있어 cropping을 통해 불필요한 부분을 제거한다. 잡음(noise)을 제거하기 위해서는 메디안 필터(median filter)를 사용한 평활화(smoothing)작업을 수행한다.

3.2. 전역 thresholding

명암 히스토그램을 사용하기 위해서 히스토그램 평활화 작업을 수행하고, 히스토그램의 첫 번째 골을 찾기 위해 Fuzzy set을 이용한 Yager방법[6,7]을 사용한다. threshold value t 를 구한 다음, 영상 전체에 대해서 각 화소에 대해서(1)과 같은 작업을 수행한다.

$$\begin{aligned} \text{if } P(i, j) < t \text{ then } P(i, j) &= \text{nucleus labeling} \\ \text{else } P(i, j) &= \text{background labeling} \end{aligned} \quad (1)$$

thresholding작업 후 잡음(noise)을 제거하기 위해서 핵으로 표시된 화소 각각에 대해서 주변 8개의 화소 중 5개 이상이 배경 화소인 경우 배경으로 처리한다.



[그림 3] 전역 thresholding 수행 결과

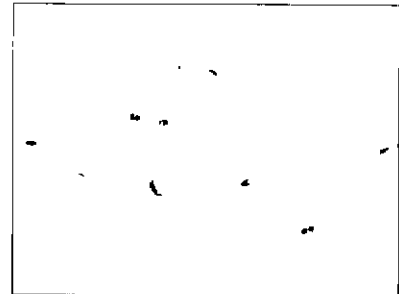
3.3. 영역 설정

전역 thresholding결과에 대해서 핵이라고 표시된 화소에 대해서 영역을 설정한다.

핵이라고 선택된 모든 영역에 대해서 둥근 정도(compactness)[9]를 측정하여 사전지식으로 설정된 경합치 15 보다 큰 경우에 대해서 핵이 묻힌 영역, 또는 over thresholding된 영역이라고 판단하여 두 번째 thresholding을 위한 영역으로 선택한다.

$$\text{compactness} = \frac{P^2}{4\pi A} \quad (2)$$

(P = 둘레, A = 면적)

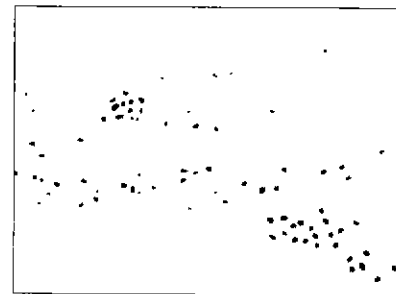


[그림 4] 핵이 묻힌 영역

3.4. 지역 thresholding

선택된 각각의 영역에 대해서 entropy를 이용한 Shannon 방법[6,7]을 사용하여 thresholding작업을 수행한다.

지역 thresholding후에 32절에서 사용된 잡음 제거 방법을 사용하여 잡음을 제거한다.



[그림 5] 지역 thresholding 수행 결과

4. 실험 결과

[그림 1]의 영상에 대해 2가지 실험을 수행한 각각의 결과 영상과 전문가에 의해 핵이 표시된 영상에 대해서 식(3)[8]에 의해 오차를 구하였다.

$$ErrorMetric = \frac{area(I_A(r, c) \otimes I_B(r, c))}{area(I_A(r, c))} \quad (3)$$

⊗ XOR 연산

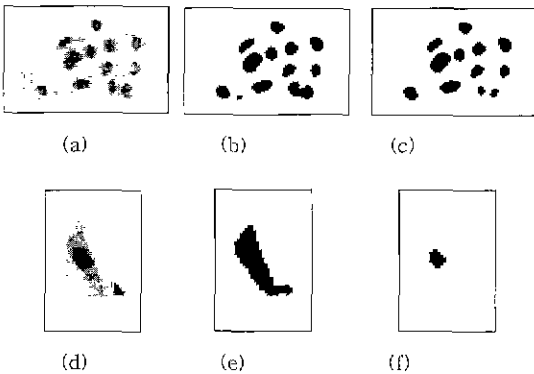
$I_A(r, c)$ 전문가를 통해 핵 정보를 표현한 영상

$I_B(r, c)$ 실험에 의해 추출된 핵 영상

[그림 1]의 영상에 대해서 전역 thresholding 방법 중 가장 좋은 성능을 보인 방법은 Fuzzy set을 이용한 Yager 방법으로 실험 결과는 [그림 3]이며 오차 0.454068이고, 제안된 방법의 경우 실험 결과는 [그림 5]이며 오차 0.354856으로 전역 thresholding 방법에 비해 22% 정도의 오차를 절감하는 성능을 보였다.

오차율이 대체적으로 높게 나온 이유는 핵과 유사한 백혈구 등의 관련 없는 세포가 제거되지 않았기 때문이다. 백혈구 등의 세포는 핵과 유사하기 때문에 핵 분할만으로는 제거하기 어렵고, 세포질과의 관계 등의 정보를 이용하여 제거될 수 있다.

[그림 6]은 수행 결과에 대한 부분적인 효과를 보여주고 있다. (a)와 (d)는 그림 1에서 추출된 부분이고, 그 부분에 해당되는 Yager 방법에 의한 결과물 (b)와 (e)에, 제안된 방법에 의한 결과물 (c)와 (f)에 나타내고 있다. (a)영상의 우측 하단 부분에 대해서 (b)의 영상은 두 개의 핵이 붙은 결과를 보여주고 있고 (c)의 경우 두 개의 핵으로 분리가 되었지만 under thresholding된 현상을 보여주고 있다. (d)영상에 대해서는 (e)는 부정확한 결과를 보여주고 있고, (f)는 정확히 핵이 분리된 것을 볼 수 있다.



[그림 6] 부분 영상에 대한 시각적 비교

5. 결 론

본 연구에서는 자궁경부 세포진 영상에 대해서 화소중심기법의 빠른 속도와 영역중심기법의 지역적 특성을 혼합한 형태의 영역분할기법으로 첫 단계에서는 전역 thresholding 방법을 사용하고, 결과에 따라서 적당하지 않은 영역에 대해서는 두 번째 단계로 다시 지역 thresholding을 사용하는 2단계로 이루어진 영역분할기법을 제안하고 그 성능을 평가해 보았다.

실험 결과를 통해 영역 분할의 경우 한가지 방법만으로는 분할이 되지 않는 경우가 많고, 이러한 경우에 2가지 이상의 방법을 혼합 사용하여 보다 좋은 결과를 얻을 수 있다는 결론을 얻었다.

기존의 영역중심기법의 경우 큰 영상에 적용할 경우, 속도가 너무 느려지는데, 제안된 방법의 두 번째 단계에서는 관심 있는 영역이 축소됨으로 두 번째 단계에서 영역중심기법을 사용하게 되면 더 향상된 결과를 얻으리라 생각된다.

[참고 문헌]

[1] J. Kittler and J. Illingworth, "Threshold Selection Based on a Simple Image Statistic," *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, vol. 30, pp. 125-147, 1985

[2] Joan S. Weszka, "SURVEY: A Survey of Threshold Selection Techniques," *Computer Graphics and Image Processing*, vol. 7, pp. 259-265, 1978

[3] Robert M. Haralick and Linda G. Shapiro, "SURVEY of Image Segmentation Techniques," *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, vol. 29, pp. 100-132, 1985

[4] Catherine Garbay, "Image Structure Representation and Processing: A Discussion of Some Segmentation Methods in Cytology," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 8, no. 2, pp. 140-146, March 1986.

[5] Robert M. Haralick and Linda G. Shapiro, "SURVEY of Image Segmentation Techniques," *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, vol. 29, pp. 100-132, 1985

[6] J. R. Parker, *Algorithms for Image Processing and Computer Vision*, John Wiley & Sons, ch. 3, 1997

[7] Liang-Kai Huang and Mao-Jiun J. Wang, "Image Thresholding By Minimizing The Measures Of Fuzziness," *Pattern Recognition*, vol. 28, no. 1, pp. 41-51, 1998.

[8] S. E. Umbaugh, *Computer Vision and Image Processing*, Prentice-Hall, ch. 7, 1998

[9] J. R. Parker, *Algorithms for Image Processing and Computer Vision*, John Wiley & Sons, ch. 83, 1997