

최적 역치 방법을 이용한 정자의 영역분할 방법에 관한 연구

°이원진, *박광석, **백재승

°서울대학교 대학원 협동과정 의용생체공학

*서울대학교 의과대학 의공학 교실

**서울대학교 의과대학 비뇨기과학 교실

A Study on the Sperm Head Segmentation Using the Optimal Thresholding Method

°Won-Jin Yi, *Kwang-Suk Park, **Jae-Seung Baek

°Interdisciplinary Program in Medical and Biological Engineering Major,

*Dept. of Biomedical Engineering, College of Medicine, Seoul Nat'l Univ.

**Dept. of Urology, College of Medicine, Seoul Nat'l Univ.

1. 서론

정자의 형태학적 특성 분석에 있어서 정자 머리 부분의 정확한 추출은 매우 중요하다. 정자의 영상으로부터 여러 가지 파라미터가 측정되는데, 정자의 정상 여부를 결정하는 표준 척도(strict criteria)들이 머리 부분에 집중되어 있기 때문이다. 현미경을 통해 나타나는 정자의 영상은 빛의 투과도 차이에 의해 밝은 배경과 어두운 정자로 이루어진 단순한 영상이다. 정자를 배경으로부터 추출해 내기 위해서, 지금까지 영상처리 분야에서 이루어진 여러가지 알고리즘 또는 방법을 적용할 수 있다. 즉 경계 추출(edge detection)을 한 다음 경계 연결(edge linking)을 하거나, 경계 추출한 다음 휴변환(Hough transformation)을 하거나 또는 영역분할(segmentation)방법을 이용하는 등 여러가지 방법을 적용할 수 있다. 경계 추출 방법을 이용하는 경우, 영상에 경계 연산자(edge operator)를 작용시키면 대부분 실제의 경계보다 두꺼운 경계를 얻게된다. 따라서 추출된 경계를 한개의 화소 두께로 나타내기 위해 *thinning*을 해야 하는 데, 이럴 경우 실제의 경계와는 다른 경계를 얻게 될 수도 있다. 실제로 정자의 정상 여부를 판정할 때, 측정시의 작은 오차가 영향을 미칠 수 있으므로 좀 더 정확한 방법의 필요성이 대두된다.

역치 방법(thresholding)을 이용한 영역분할 방법은 좀 더 정확한 경계를 제공한다. 역치를 이용하여 영상을 영역분할 할 경우에 크게 두가지 방법을 생각할 수 있다. 즉 역치를 영상 전체에 적용시키는 경우와, 역치를 정자 머리를 포함하는 국소적인 부분에 적용시키는 경우를 생각할 수 있다. 역치를 영상 전체에 대해 적용시킬 경우, 현미경의 광도가 전체 영상에 대해 일정하지 않기 때문에 서로 다른

위치에 있는 정자에 대해서는 영역분할을 위한 역치값이 다를 수 있다. 따라서 정확한 영역 분할을 위해서, 전체 영상 가운데서 정자를 포함하는 영상 부분을 구분한 다음 역치를 적용시키는 국소적 영역 분할 방법이 필요하다. 정자 영역을 포함하는 부분만을 구분한 후 화소들의 그레이(gray)레벨의 히스토그램(histogram)을 구해보면 바이모달(bimodal)한 특성을 보인다. 영상을 영역분할할 경우, 히스토그램이 바이모달한 특성에 가까울수록 역치값을 찾기가 쉬워지며, 적용시켰을 때 더 적은 오차를 발생한다. 역치값을 찾는 알고리즘은 여러가지 방법이 있지만 여기서는 최적의 역치값을 찾는 알고리즘을 이용했다.

2. 방법 및 영상 처리

최적 역치값을 찾기 위해 2가지 방법을 사용하였다. 하나는 영상의 히스토그램 분포로부터 역치값을 얻는 방법이며, 다른 하나는 앞의 방법의 결과를 이용하여 공간적인 정보로부터 역치값을 구하는 방법이다.

히스토그램을 이용하는 방법은 여러가지가 제안돼 왔다. 여기서는 OTSU[1]의 방법을 이용하였다. 이 방법은 배경과 물체 영역 간의 분산이 최대화되는 그레이 값을 찾는다. 그레이 값이 L 개의 레벨로 이루어진다고 가정하면 영역 간 분산은 식(1)과 같이 표현된다.

$$p_i = \frac{n_i}{N}, \quad P_i \geq 0, \quad \sum_{i=1}^L P_i = 1$$
$$p_0 = \Pr(C_0) = \sum_{i=1}^k p_i = p(k)$$
$$p_1 = \Pr(C_1) = \sum_{i=k+1}^L p_i = 1 - p(k)$$

$$m_0 = \sum_{i=1}^k i \Pr(i|C_0) = \sum_{i=1}^k ip_i / p_0 = m(k) / p(k)$$

$$m_1 = \sum_{i=k+1}^L i \Pr(i|C_1) = \sum_{i=k+1}^L ip_i / p_1 = \frac{m_T - m(k)}{1 - p(k)}$$

$$m_T = m(L) = \sum_{i=1}^L ip_i$$

$$\eta(k) = \sigma_B^2(k)$$

$$\sigma_B^2(k) = p_0(m_0 - m_T)^2 + p_1(m_1 - m_T)^2 \text{-----(1)}$$

$$= p_0 p_1 (m_1 - m_0)^2$$

$$= \frac{[m_T p(k) - m(k)]^2}{p(k)[1 - p(k)]}$$

$$\sigma_B^2(k^*) = \max_{1 \leq k \leq L} \{\sigma_B^2(k)\}, \quad 0 < p(k) < 1 \text{-----(2)}$$

$$k^* = \frac{m_0 + m_1}{2}$$

이 방법은 실제 계산시 0 차 모멘트와 1 차 모멘트 만을 사용하기 때문에 다른 히스토그램을 이용하는 방법보다 쉽고 빠르게 역치값(2)을 찾을 수 있다. 또 영역간 분산의 최대값(1)은 히스토그램의 바이모달한 특성의 지표 또는 영상의 두 영역간 분리도를 나타내는 지표로서 사용될 수 있다. 실제로 이 역치값은 두 영역의 평균값의 중간값에 해당한다[2]. 위 방법은 영상의 공간적인 정보를 이용하지 않고 영상의 히스토그램만으로 유일하게 구해지므로 매우 유용하다.

또 다른 방법은 Bayes 결정법칙(Bayes' allocation or decision rule)에 근거한 방법이다. 즉 역치값에 의해 결정되는 두 영역의 오류가 최소화 되게 하는 값을 찾게 된다 (MEP : Minimum Error Problem)[3]. 식(3)이 오류 확률을 나타내며 이것을 미분해서 0으로 놓으면 역치값(4)을 구할 수 있다. 이때 두 영역의 확률밀도함수(Pd)는 Gaussian으로 가정된다.

$$e(k) = p_1 e_0(k) + p_0 e_1(k) \text{-----(3)}$$

$$p_1 P d_1(k) = p_0 P d_0(k)$$

$$k^{**} = \frac{m_0 + m_1}{2} + \frac{\sigma^2}{m_0 - m_1} \ln\left(\frac{p_1}{p_0}\right) \text{-----(4)}$$

Bayes 결정법칙은 물체와 배경의 상대적 크기를 고려하는 선확률(prior probability)을 필요로 한다. 이것은 물체의 크기에 상관없이 좀 더 정확한 영역분할이 가능하게 한다. m과 σ도 공간적으로 구해진다. 따라서 이러한 값들을 구하기 위해서 (2)에서 구한 역치값을 이용하여 먼저 영역분

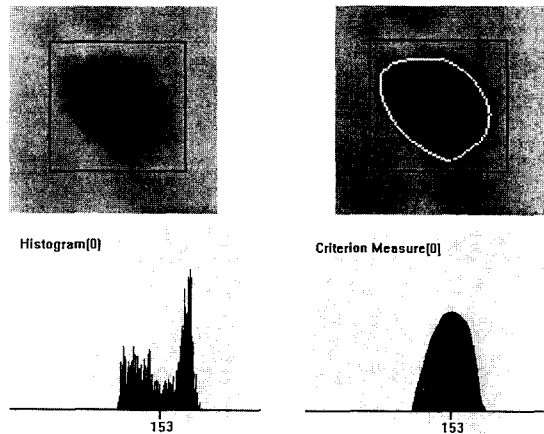
할을 한다. (4)에서 구해진 역치값으로 영상은 영역분할이 되고 다시 역치값이 구해지며 이전의 역치값과 같은 역치값이 나올 때까지 반복된다. 이때 영역이 어느 한 쪽에 치우치는 것을 막기 위해 σ에 상위제한값(upper limit)을 둔다.

전체 영상에서 정자를 포함하는 부분만을 추출해 내기 위한 기본적인 영상처리 과정은 다음과 같다. 먼저 영상에서 정자의 위치를 찾기 위해 경계 추출 연산자를 적용시킨다. 추출된 경계는 정자와 다른 이물질들을 구분하기 위해 필터링을 거친다. 최종적으로 화소의 gradient가 높은 부분만을 사각형의 격자로 뽑아 낸 다음 역치값을 적용하여 영역분할을 한다.

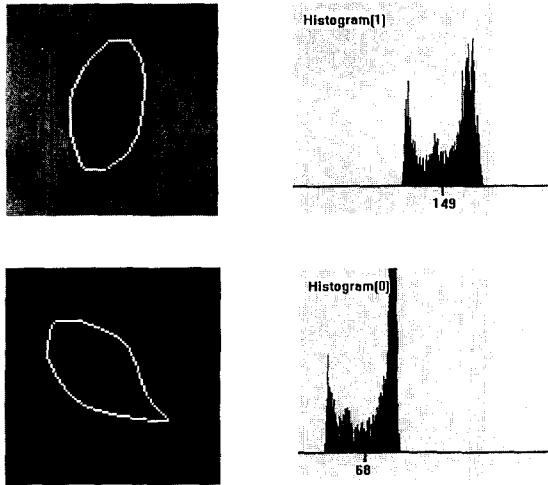
3. 결과 및 토의

1) OTSU 방법

아래 그림에서 사각형의 격자가 전체 영상에서 추출된 부분들이며, 격자 내부의 타원체들이 영역분할된 정자를 나타낸다. 히스토그램에서 알 수 있는 것처럼 추출된 부분은 대개 bimodal한 특성을 보인다. OTSU 방법에 의해 계산된 역치값이 히스토그램에 표시된 값이다. 척도 그래프에서 역치값이 최대가 되는 값을 알 수 있다. 대부분의 추출된 영상에 대해 히스토그램 분포에 관계없이, 또 사각형 격자의 크기에 관계 없이 정확한 경계를 나타내는 역치값을 구할 수 있었다. 그림의 경계는 영역분할된 뒤 smoothing된 결과이다.



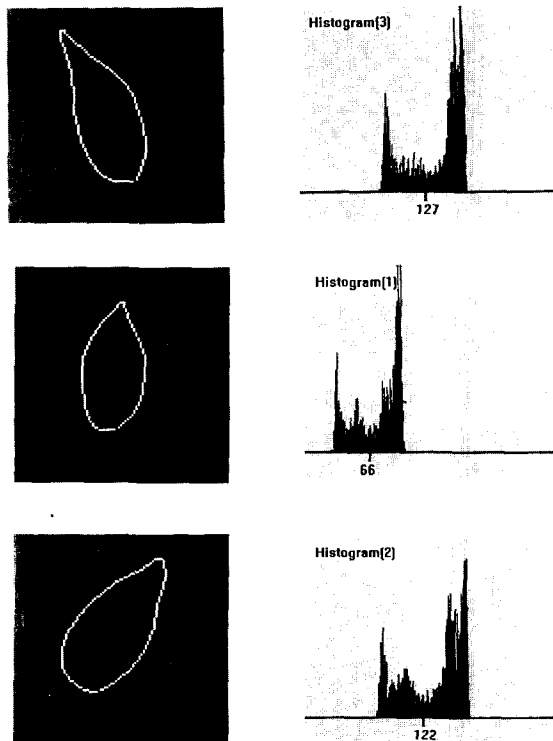
<그림 1> 추출된 영상, 영역분할된 영상, 히스토그램, 척도 값 그래프



<그림 2> OTSU 방법으로 영역분할된 결과들

2) Bayes 결정법칙에 근거한 방법

이 방법은 두 개의 확률 밀도 함수를 *Gaussian* 이라 가정하고 두 개의 영역으로 분할했을 때 오류가 최소화되는 값을 결정하는데, 반복해서 계산했을 경우 빠른 속도로 수렴했다. 여기서 계산된 역치값은 대부분 첫번째 방법의 역치값에 비해 더 낮은 값을 나타냈다. 이것은 오류를 최소화시키기 위해 상대적으로 화소수가 적은 물체(정자)쪽으로 역치값이 치우침을 알 수 있다.



<그림 3> Bayes 결정법칙에 근거한 방법으로 영역분할된 결과들

참고 문헌

- [1] N. Otsu, "A threshold selection method from gray level histograms", IEEE Trans. Syst. Man Cyber., vol SMC-9, no 1, Jan 1979, pp 62-66
- [2] S. S. Reddi, S. F. Rudin, H. R. Keshavan, "An optimal multiple threshold scheme for image segmentation", IEEE Trans. Syst. Man Cyber., vol SMC-14, no 4, Jul 1984, pp 661-665
- [3] K. V. Mardia, T. J. Hainsworth, "A spatial thresholding method for image segmentation", IEEE Trans. Pat. Anal. Mach. Intl., vol 10, no 6, Nov 1988, pp 919-927
- [4] J. R. Jagoe, N. P. Washbrook etc, "Morphometry of spermatozoa using semiautomatic image analysis", J. Clin. Pathol., vol 39, Jun 1986, pp 1347-1352
- [5] R. O. Davis, C. G. Gravance, "Consistency of sperm morphology classification methods", J. Andr., vol 15, no 1, Jan 1994, pp 83-91