

그레이 레벨의 공간적 분포에 기반한 영상 이진화 기법

Image Binarization Method Based on the Spatial Distribution of Gray Levels

서석태, 권순학
 영남대학교 전기공학과

Suk-Tae Seo , Soon H. Kwon

Dept. of Electrical Engineering, Yeungnam University

E-mail : kenneth78@yumail.ac.kr

요 약

기존에 널리 사용되어 지고 있는 영상 이진화 기법은 영상에서의 그레이 레벨의 빈도수 히스토그램에 기반하여 임계값[2-7,9-11]을 결정하여 왔다. 그리고 최근 히스토그램에 기반한 영상 이진화 기법의 단점을 보완하기 위해서 그레이 레벨 분포에 기반한 임계값 결정법[1]이 제시되었다. 본 논문에서는 그레이 레벨의 공간적 분포를 이용한 임계값 결정법을 제안함으로써 최근 제안된 그레이 레벨 분포에 기반한 임계값 결정법의 단점을 보완하고자 한다. 기존의 여러 가지 예제 영상을 통하여 제안된 임계값 결정법의 타당성을 보인다.

1. 서론

영상으로부터 필요한 정보를 추출하기 위하여 원 영상으로부터 목적에 따라 알맞은 전처리 과정을 거쳐 여러 개의 클래스로 원 영상을 재분류할 필요가 있다. 이러한 전처리 방법으로 그레이 레벨 임계화 (Gray level thresholding), 에지 추출(Edge detection), 영역 분할, 합병 및 확장 (Region splitting, merging, relaxation) 등 여러 가지 방법[1-12]이 있다.

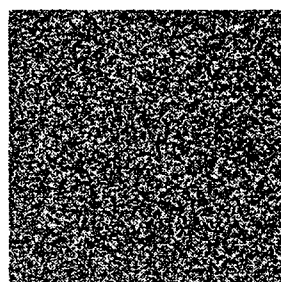
전처리 방법들 중에서 판별함수를 통하여 구해진 임계값(Threshold)을 기준으로 흑백 영상을 이진화(Binarization)하는 것은 가장 대표적인 기법이라고 할 수 있다. 이러한 이진화를 위한 임계값 도출법으로는 임계값이 4개 이하일 때 주로 사용되는 모멘트 보전법 (Moment-preserving method), 임계값으로 히스토그램의 국소점(Local valley)을 찾는 국소점 탐색법 (Valley-seeking method), 눈금 공간 이론 (Scale-space theory)을 이용한 방법[2-4, 6-9, 11-12]들이 제시되어 왔다. 또한 Otsu[10]의 임계값 결정방법과, 엔트로피 측도(Entropy measure)를 기반으로 한 Huang과 Wang[5]의 임계값 결정법 등이 있다.

본 논문에서는 기존에 사용되어 지고 있는 그레이 레벨 빈도수 히스토그램 기반의 임계값 결정

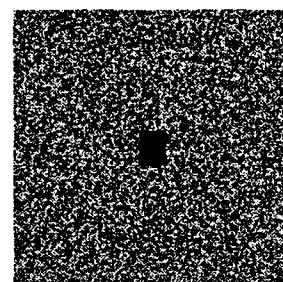
법이 원 영상에서 그레이 레벨의 빈도수만을 고려하기 때문에 발생하는 문제점과 이러한 문제점을 해결하기 위해서 참고문헌[1]에서 제안된 그레이 레벨 분포에 기반한 임계값 결정법의 문제점을 살펴보고, 이를 보완하기 위하여 그레이 레벨의 공간적 분포를 고려한 새로운 임계값 결정법을 제안하고 이의 타당성을 예제 영상에 대한 모의실험 결과를 통하여 보인다.

2. 기존의 임계값 결정법의 문제점

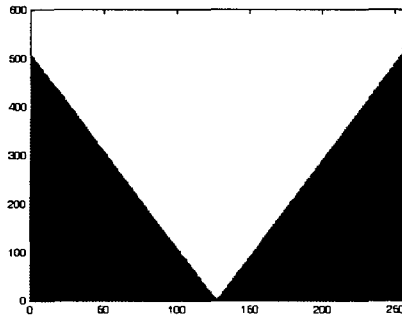
이 절에서는 히스토그램을 이용하는 대표적인 임계값 결정법인 Otsu의 방법 및 Huang과 Wang의 기법들의 문제점을 살펴본다.



(a)



(b)



(c)
그림 1. (a) 영상 1, (b) 영상 2
(c) 영상 1과 2의 히스토그램

그림 1의 (a)와 (b)는 그림 1(c)에 나타낸 히스토그램을 갖는 두 가지 서로 다른 영상을 나타낸다. 그레이 레벨의 빈도수 히스토그램만을 사용하는 Otsu 방법 및 Huang과 Wang의 기법을 그림 1의 (a)와 (b) 영상에 적용하여 얻은 임계값은 두 영상의 차이를 구분하지 못한다. 위의 예는 히스토그램 기반의 임계값 결정법이 가지고 있는 가장 큰 단점을 보여 주는 영상이다.

3. 초공간 기반 임계값 결정법[1]

이 방법은 위에서 보인 임계값 결정법의 문제점을 해결하기 위하여 최근에 제안된 그레이레벨의 분포를 통한 임계값 결정 방법이다. 원 영상에서 각 그레이 레벨의 군집 정도를 판별한 후, 이를 이용하여 다음과 같이 임계값을 결정한다.

[단계1] 상대 빈도수 $h_1(z)$ 은 영상에 나타나는 그레이 레벨 z 의 상대적 빈도수를 나타낸다.

$$h_1(z) = \frac{n(z)}{\sum_{z=0}^{L-1} n(z)} \quad (1)$$

[단계2] 집중 정도를 나타내는 $h_2(z)$ 는 그림2와 같이 그레이 레벨 z 인 픽셀을 모두 포함하는 가장 작은 초공간(Hypercube) 내의 픽셀과 그레이 레벨 z 의 개수 사이의 비를 나타낸다.

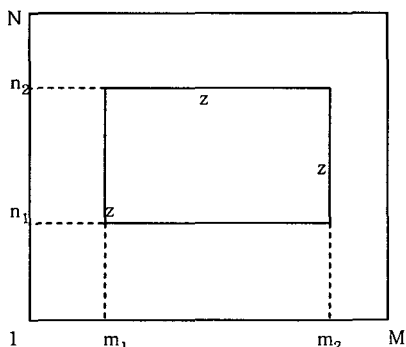


그림 2. 그레이 레벨 z 인 픽셀의 초공간

$$h_2(z) = \frac{n(z)}{(m_2 - m_1 + 1)(n_2 - n_1 + 1)} \quad (2)$$

[단계3] 분산 정도 $h_3(z)$ 는 식 (3)과 같다.

$$h_3(z) = \frac{1}{n(z)} \sum_{i=1}^{n(z)} \left(\frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \|p_i - q_{ij}\| \right) \quad (3)$$

여기서 p_i 는 그레이 레벨 z 의 i 번째 픽셀이고, q_{ij} 는 i 번째 그레이 레벨 z 인 픽셀의 주변 픽셀의 그레이 레벨이다. 그리고 m 은 영상의 네 코너에서는 3이 되고, 테두리에서는 $m=5$ 이며, 나머지 공간에서는 $m=8$ 의 값을 갖는다. 이를 바탕으로 임계값 T_D^* 는 다음과 같이 결정된다.

$$T_D^* = \arg \min_{0 \leq T \leq L-1} J_D(T) \quad (4)$$

여기서,

$$J_D(T) = \sum_{z=0}^T [z - m_{1D}(T)]^2 h(z) + \sum_{z=T+1}^{L-1} [z - m_{2D}(T)]^2 h(z)$$

$$m_{1D}(T) = \frac{\sum_{z=0}^T z h(z)}{\sum_{z=0}^T h(z)} \quad m_{2D}(T) = \frac{\sum_{z=T+1}^{L-1} z h(z)}{\sum_{z=T+1}^{L-1} h(z)}$$

$$h(z) = \frac{h_1(z) \cdot h_2(z)}{h_3(z)}$$

위에서 제시된 초공간 기반 임계값 결정법을 사용할 경우 그림1에서 제시된 예제의 경우 두 가지 영상을 구분하여 적절한 임계값 (영상1=128, 영상2=39)을 설정하는 것을 확인할 수 있다.

그러나, 그림 2에 보인 바와 같이 그레이 레벨의 공간적 분포를 고려한 초공간(Hypercube)을 설정하는 경우, 영상에 존재할 수 있는 잡음으로 인하여 $h_2(z)$ 가 상당히 민감하게 반응하는 문제점이 발생하는 단점을 지니고 있다.

4. 공간적 분포에 기반한 임계값 결정법

앞 절에서의 예제 영상에서와 같이 영상은 빈도수만으로 표현되지 않는다. 같은 빈도수를 가진 영상이라도 그레이 레벨의 공간적 분포에 따라서 완전히 다른 영상을 나타내기도 한다. 따라서 앞의 2절 및 3절에서 제시된 임계값 결정법의 문제점을 극복하기 위하여 본 논문에서는 그레이 레벨 z 의 공간적 분포와 모임 정도를 임계값 결정의 중요 변수로 설정하고 다음과 같은 단계를 통

하여 임계값을 결정한다.

[단계 a] 아래의 그림 3처럼 그레이 레벨 z 를 중심으로 3×3 마스크를 형성한다. 이때 형성된 3×3 마스크를 그레이 레벨 z 인 픽셀의 영역으로 정한다. 형성된 3×3 마스크 영역 안에 동등 그레이 레벨 z 인 픽셀이 존재하는 경우(그림3의 경우2)의 픽셀을 z' 라고 한다. 이때 z' 를 중심으로 구성된 영역 내에서 z 의 상대빈도($h_1(z)$)를 누적한다.

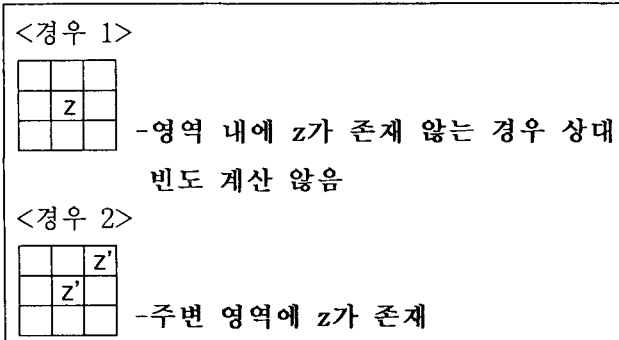


그림 3. 3×3 마스크 구성의 예

$$h_1(z) = \frac{\sum_{n=1}^{n(z)} 3 \times 3 \text{영역내의 } z \text{의 빈도수} - 1}{9} \quad (5)$$

여기서, $n(z)$ =구성된 3×3 영역 내에서 그레이 레벨 z' 인 픽셀이 존재하는 픽셀의 개수.

[단계 b] 그림 3의 경우2일 때, z' 을 중심으로 구성된 각각의 3×3 마스크의 크기를 누적($h_2(z)$)한다. 이때의 누적 값은 $n(z)$ 를 9배한 것과 같다. 그리고 z' 을 중심으로 3×3 영역을 구성하면 주변 이웃 z' 의 3×3 영역과 공유하는 영역이 생기게 된다. 공유영역을 포함한 영역을 그레이 레벨 z' 의 구성영역($h_3(z)$)이라고 정의한다.

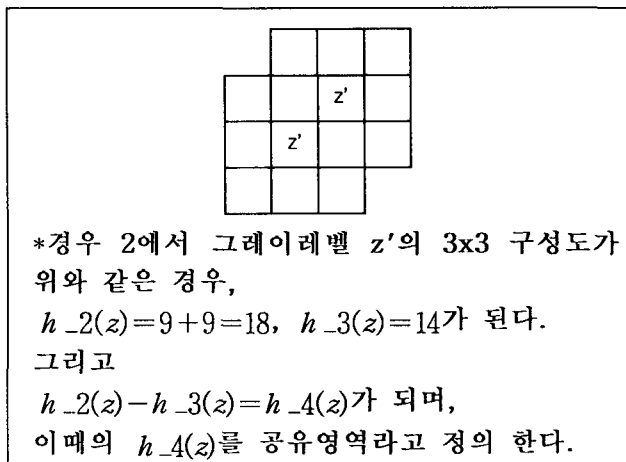


그림 4. z' 의 공유영역

위에서 설명한 바와 같이 3×3 마스크를 설정하

여 각 그레이 레벨의 공간적 분포를 고려하는 경우, 상대빈도가 증가함에 따라서 공유영역도 증가하게 된다. 즉, 상대빈도는 그레이레벨 z' 인 픽셀의 주변 영역에서 그레이레벨 z' 인 픽셀의 밀집정도를 나타내고 $h_4(z)$ 는 그레이레벨 z' 의 밀집정도의 변화에 따른 공유영역의 변화분을 나타낸다. 다시 말하면, $h_4(z)$ 는 그레이 레벨 z' 인 픽셀 수 $n(z')$ 를 담을 수 있는 전체 그릇 크기의 변화분이 되는 것이다. 따라서 상대빈도에 공유영역을 결합하게 되면 그레이 레벨 z 의 밀집도가 되는 것이다.

본 논문에서는 영상의 이진화에 사용될 정보를 그레이 레벨 z 의 빈도수가 아닌 공간적 분포를 고려한 밀집도를 임계값 결정의 중요 변수로 사용하며, 임계값 T_D^* 는 $[0, L-1]$ 범위에서 판별 함수 $J_D(T)$ 가 최소가 되는 T 값으로 아래와 같이 결정한다.

$$T_D^* = \arg \min_{0 \leq T \leq L-1} J_D(T) \quad (4)$$

여기서,

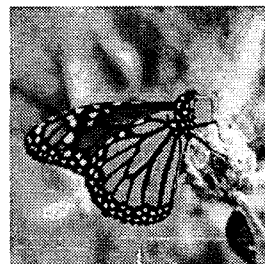
$$J_D(T) = \sum_{z=0}^T [z - m_{1D}(T)]^2 h(z) + \sum_{z=T+1}^{L-1} [z - m_{2D}(T)]^2 h(z)$$

$$m_{1D}(T) = \frac{\sum_{z=0}^T zh(z)}{\sum_{z=0}^T h(z)} \quad m_{2D}(T) = \frac{\sum_{z=T+1}^{L-1} zh(z)}{\sum_{z=T+1}^{L-1} h(z)}$$

$$h(z) = h_1(z) \cdot h_4(z)$$

5. 실험 결과 및 검토

본 논문에서 제안된 방법의 타당성을 보이기 위하여 3개의 실제 영상과 그리고 인위적으로 만들어진 하나의 영상(T영상)을 이진화 한다. 이때 사용되는 T영상은 T를 구성하는 그레이 레벨 z 중 3개를 빼내어서 주위로 흩어 놓은 영상이다.



(a)



(b)

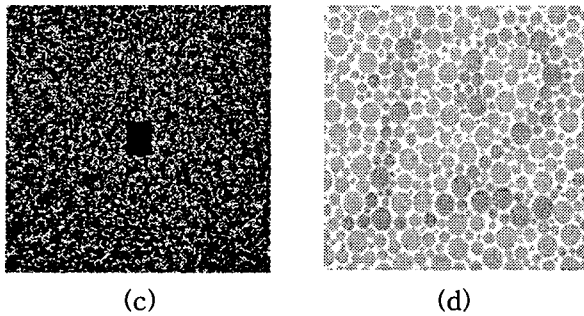


그림 5. 실험에 사용된 예제 영상
(a)butterfly (b)lena (c)T with 3 noise
(d)blind test image

표 1은 그림 5의 영상에 대하여 제안된 임계값 결정법 외의 다른 3가지 임계값 결정법을 적용하여 얻어진 임계값을, 그림 6은 제안된 방법에서 얻어진 임계값을 바탕으로 이진화된 영상을 나타낸다. 이 결과 영상으로부터 제안된 임계값 결정법이 타당함을 확인 할 수 있다.

표 1. 임계값 결정법에 따른 임계값

영상	임계값 결정 기법			
	Otsu	Huang 과 Wang	Kwon등	Proposed
butterfly	100	60	86	82
lena	102	84	89	105
T 3noise	128	128	112	34
blind test	214	230	186	186

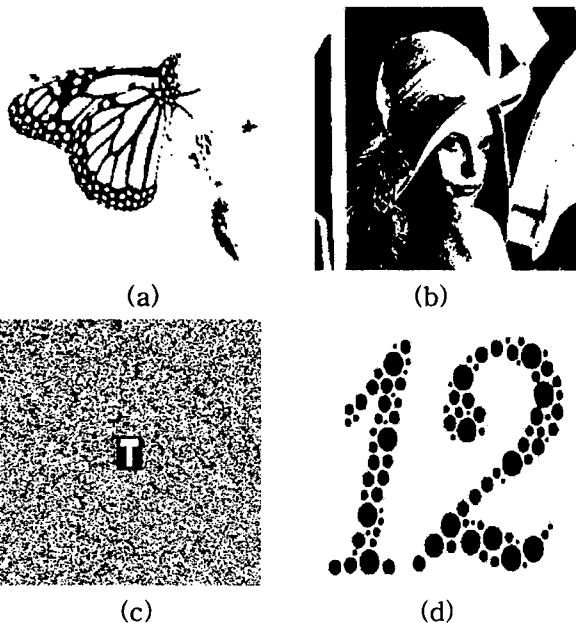


그림 6. 실험에 사용된 예제 영상의 이진화 결과
(a)butterfly (b)lena (c)T with 3 noise
(d)blind test image

6. 결론

본 논문에서는 히스토그램 기반의 임계값 결정법의 문제점을 제시하고, 이러한 문제점을 보완하기 위하여 제안된 초공간 기반 임계값 결정법의 문제점을 보완하는 임계값 결정법을 제시하고, 실제 예제 영상을 통하여 제안된 방법의 타당성을 보였다.

6. 참고문헌

- [1] 권순학, 손세호, 배종일, "그레이 레벨의 분포에 기반한 임계값 결정법," 퍼지 및 지능시스템학회 논문지 Vol. 13, No. 6, 649-654, 2003.
- [2] C. C. Chang, L.-L Wang, "A fast multilevel thresholding method based on lowpass and highpass filtering," Pattern Recognition Lett. 18 (14), 1469-1478, 1997.
- [3] H. D. Cheng, Y. H. Chen, X. H. Jiang, "Thresholding using two-dimensional histogram and fuzzy entropy principle," IEEE Trans. Image Processing, 9 (4), 732-735, 2000.
- [4] Z. Chi, H. Yan, T. Pham,, Fuzzy Algorithms: With Applications to image Processing and Pattern Recognition. World Scientific 1996.
- [5] L. K. Huang, M. J. Wang, "Image thresholding by minimizing the measure of fuzziness," Pattern Recognition, 28, 41-51, 1995.
- [6] C. V. Jawahar, P. K. Biswas, A. K. Ray, "Analysis of fuzzy thresholding schemes," Pattern Recognition, 33 (8), 1339-1349, 2000.
- [7] J. N. Kapur, P. K. Sahoo, A. K. C. Wong, "A new method for gray level picture thresholding using the entropy of the histogram," Comput. Vision Graphics Image Process, 29, 273-285, 1985.
- [8] S. H. Kwon, "Threshold selection based on cluster analysis," Pattern Recognition Lett, 25 (9), 1045-1050, 2004.
- [9] T. Lindeberg, Scale-Space Theory in Computer Vision, Kluwer, Netherlands, 1994.
- [10] N. Otsu, "A threshold selection method from gray-level histograms," IEEE Trans Syst, Man Cybernet, 9 (1), 62-66, 1979.
- [11] P. K. Sahoo, S. Soltani, A. Wong, "A survey of thresholding techniques," Comput. Vision Graphics Image Process, 41 (2), 233-260, 1988.
- [12] W. H. Tsai, "Moment-preserving thresholding: A new approach," Comput. Vision Graphics Image Process, 29 (3), 377-393, 1985.