

엔트로피 및 평균밝기오차의 절대값에 기반한 임계값 결정

Entropy and AMBE-based Threshold Selection

권순학*

Soon H. Kwon*

영남대학교 전기공학과

요 약

영상의 세세한 부분에 대한 표현 정확도를 나타내는 엔트로피와 전체 영상에 있어서의 밝기의 변화를 나타내는 평균밝기 오차의 절대값은 영상의 질을 측정하기 위하여 일반적으로 사용되어지는 두 종류의 양적 측도이다. 본 논문에서는 이러한 엔트로피와 평균밝기오차의 절대값에 기반하여 주어진 영상을 이진화하는 영상 임계화 기법을 제안하고, 9개의 시험 영상에 대한 실험과 기존의 오투 방법 및 엔트로피 기반의 임계값 결정법과의 비교 및 검토를 통해 제안된 기법의 효용성을 보인다.

키워드 : 그레이 영상, 엔트로피, 평균밝기오차의 절대값, 임계화

Abstract

Entropy used for measuring the richness in details of the image and absolute mean brightness error(AMBE) providing a change in the image global appearance are two quantitative measures generally used for measuring quality of images. In this paper, we propose an entropy and AMBE-based thresholding method to binarize a given image. The effectiveness of the proposed method is demonstrated by thresholding experiments on nine test images and comparison with other conventional thresholding methods, that is, Otsu method and entropy-based method.

Key Words : Gray images, Entropy, AMBE, Thresholding.

1. 서 론

영상의 처리 및 분석을 용이하게 하기 위하여 영상을 단 순화하거나 변환하는 영상 분할 (image segmentation)은 영상 처리 및 분석에 있어서 가장 기본이 되는 기법으로 많은 연구가 이루어져 왔다 [1, 2]. 이러한 영상 분할을 위한 대표 적 기법으로는 영상 임계화 (image thresholding)와 영상 윤곽선 검출 (edge detection)이 있다. 영상 임계화에 대하여는 수많은 연구 [2-16]가 이루어져 왔으며 현재에도 다양한 분야에서 널리 응용되고 있고 참고문헌 [3]과 [4]에 상세히 정리되어 있다. 특히, Sezgin과 Sankur [3]는 이러한 영상 임계화 기법을 각각의 기법에서 사용하는 정보 (information)에 따라 다음과 같이 여섯 개의 그룹으로 분류하여 각각의 그룹에 속하는 기법에 대하여 상세히 설명하였으며 또한 그 들 각각의 성능을 분석하고 여러 개의 성능 측도를 결합한 측도를 도입하여 서로간의 성능을 비교 검토 하였다: (i) 히스토그램의 모양새 특징점, 예를 들면, 마루 (peaks), 골 (valleys) 및 굽은 점 (curvatures)을 기반으로 영상 임계값을 결정하는 히스토그램 모양 기반 기법 (histogram shape-based methods) [5, 6], (ii) 그레이 영상의 레벨 (level)을 나타내는 전체 그레이 레벨을 2개의 군집, 즉, 전경 (혹은 대상)과 배경 (foreground(or objects) and back-

ground)으로 분류하는 최적의 임계값을 결정하는 군집화 기반 기법 (clustering-based methods) [7-12], (iii) 엔트로피의 최대화가 최대 정보 전달 (maximum entropy transfer)을 의미한다는 전제하에 임계값을 결정하기 위하여 전경과 배경의 엔트로피 혹은 원영상 (original images)과 이진화된 영상 (binarized images)의 교차 엔트로피(cross entropy)를 사용하는 엔트로피 기반 기법(entropy-based methods) [13], (iv) 원영상과 이진화된 영상의 특정 속성의 질 (quality) 혹은 유사도 (similarity measures)에 기반하여 임계값을 결정하는 대상의 속성에 기반한 기법 (object attribute-based methods) [14], (v) 임계값 결정을 위하여 그레이 레벨의 분포뿐만 아니라 각각의 픽셀 (pixels)과 그 이웃하는 픽셀 사이의 의존적 관계, 예를 들면 상관함수 (correlation functions), 동시발생확률 (co-occurrence probabilities) 혹은 이차원 엔트로피 (2-D entropy) 등등을 이용하는 공간적 기법 (spatial methods) [15], 그리고 마지막으로 (vi) 영상 전체에 대한 임계값이 아니라 각각의 픽셀에 대한 임계값을 결정하기 위하여 픽셀 주위의 국소적 통계값, 예를 들면 범위(range) 혹은 분산 (variance) 등등을 이용하는 국소적 기법 (local methods) [16]이 있다.

그러나 이와 같은 기준에 제안된 대부분의 영상 임계화 기법은 영상이 갖고 있는 그레이 레벨에 관한 히스토그램을 바탕으로 미리 정해진 성능평가 지표를 최적화시키는 그레이 레벨을 영상의 임계값으로 선정한다. 이러한 방법은 영상이 지니고 있는 어느 특정 정보를 바탕으로 성능 평가가 이루어진다. 여기서, 성능평가에 사용된 정보가 영상의 질을 평가하

접수일자 : 2011년 4월 27일

완료일자 : 2011년 5월 30일

* Corresponding author

는 정보를 포함하는 경우도 있지만, 그렇지 않은 경우가 대부분으로 최적의 임계값이 선정된 경우, 성능 평가에서 고려되지 않은 성능이 급격히 저하되는 단점을 지니고 있다.

엔트로피 (entropy)는 영상의 세세한 부분에 대한 표현 정확도를 나타낼 목적으로 널리 사용되고 있으며, 평균밝기 오차의 절대값 (absolute mean brightness error, AMBE)은 전체 영상에 있어서의 밝기의 변화를 나타내는 측도로 영상 처리에 분야에서 널리 사용되고 있는 측도이다 [17]. 본 논문에서는 기존의 방법들이 갖고 있는 단점을 보완하기 위하여 영상이 갖고 있는 정보인 엔트로피와 평균밝기오차의 절대값에 기반하여 주어진 영상을 이진화하는 영상 임계화 기법을 제안하고, 9개의 시험 영상에 대한 실험과 기존의 Otsu 방법 [7] 및 엔트로피 기반의 임계값 결정법 [13]과의 비교 및 검토를 통해 제안된 기법의 효용성을 보인다.

2. 기존의 영상 임계화 기법

본 절에서는 기존에 제안되어 흔히 사용되고 있는 그레이 영상에 대한 임계화 기법 중에서 본 논문에서 실험 및 결과의 비교 검토를 위해 사용될 Otsu 기법 [7]과 엔트로피에 기반한 임계값 결정법 [13]에 대하여 간략하게 설명한다. 여기서, 그레이 영상 I 는 $[0, L-1]$ 의 그레이 레벨로 구성되며, 그레이 레벨로 i 를 갖는 픽셀의 수는 n_i , 전체 픽셀의 수는 $N=n_0+\dots+n_{L-1}$, 그리고 그레이 레벨 i 가 나타날 확률은 $p_i = n_i/N$ 로 나타내기로 한다.

2.1 Otsu 기법

Otsu의 임계값 결정법은 $[0, L-1]$ 의 그레이 레벨로 구성된 영상에 대하여 임의의 그레이 레벨 k 에 의해서 분할된 군집, 즉, $C_0 = [0, k]$ 과 $C_1 = [k+1, L-1]$ 의 내부 분산 (within-class variance)을 최소화하거나 혹은 군집간 분산 (between-class variance)을 최대화시킴으로써 임계값을 결정하는 방법이다. 따라서 주어진 영상이 임의의 그레이 레벨 k 에 의해서 $C_0 = [0, k]$ 과 $C_1 = [k+1, L-1]$ 로 분할될 때, 최적의 임계값은 다음과 같이 결정된다 [7]:

$$k^* = \arg \min_{0 \leq k \leq L-1} \sigma_w(k) = \arg \min_{0 \leq k \leq L-1} (\omega_1 \sigma_1^2 + \omega_2 \sigma_2^2) \quad (1)$$

여기서,

$$\sigma_1^2 = \sum_{i=0}^k (i - \mu_1)^2 p_i / \omega_1$$

$$\sigma_2^2 = \sum_{i=k+1}^{L-1} (i - \mu_2)^2 p_i / \omega_2$$

$$\mu_1 = \sum_{i=0}^k i \cdot p_i / \omega_1$$

$$\mu_2 = \sum_{i=k+1}^{L-1} i \cdot p_i / \omega_2$$

$$\omega_1 = \sum_{i=0}^k p_i$$

$$\omega_2 = \sum_{i=k+1}^{L-1} p_i$$

Liao 등[8]은 Otsu 방법의 계산 시간을 줄이기 위하여

Otsu가 제안한 방법의 성능지표 계산을 간략화한 방법을 제안하였으며, 최적의 임계값은 다음과 같이 결정된다:

$$k^* = \arg \max_{0 \leq k \leq L-1} \{\omega_1 \mu_1^2 + \omega_2 \mu_2^2\} \quad (2)$$

2.2 엔트로피 기반 임계값 결정법

영상의 세세한 부분에 대한 표현 정확도를 나타낼 목적으로 널리 사용되고 있는 엔트로피를 이용한 임계값 결정 기법으로 다양한 방법들 [3, 4, 13]이 제안되어 있지만, 여기서는 그 중에서 가장 기본적인 방법이지만 엔트로피 기반 임계값 결정법의 원형적인 Pun의 임계값 결정법에 대하여 설명한다. Pun 방법에 의한 최적의 임계값은 다음과 같이 결정된다 [13]:

$$k^* = \arg \max_{0 \leq k \leq L-1} \left\{ - \sum_{i=0}^k p(i) \log p(i) - \sum_{i=k+1}^{L-1} p(i) \log p(i) \right\} \quad (3)$$

3. 엔트로피 및 평균밝기오차의 절대값을 이용한 임계값 선택

앞에서 설명한 바와 같이 엔트로피는 영상의 세세한 부분에 대한 표현 정확도를 나타낼 목적으로 널리 사용되고 있으며, 평균밝기오차의 절대값 (AMBE)은 전체 영상에 있어서의 밝기의 변화를 나타내는 측도로 영상 처리에 분야에서 널리 사용되고 있는 측도이다 [17]. 엔트로피는 그 값이 크면 클수록 영상의 세부를 보다 잘 표현하며, 평균밝기오차의 절대값은 그 값이 작으면 작을수록 원래의 영상이 갖고 있는 밝기를 유지하는 특성을 지니고 있다. 본 절에서는 기존의 임계값 결정법들이 갖고 있는 단점을 보완하기 위하여 영상이 갖고 있는 정보인 엔트로피와 평균밝기오차의 절대값에 기반하여 주어진 영상을 이진화하는 영상 임계화 기법을 제안한다. 즉, 임계값으로 분할된 영역에 대하여 엔트로피와 평균밝기오차의 절대값이 가질 수 있는 값들의 여러 가지 조합 중에서 엔트로피 값은 가능한 한 큰 값을 갖도록 하며 또한 평균밝기오차의 절대값은 가능한 한 작은 값을 갖는 임계값을 선정하는 방법을 제안한다. 본 논문에서 제안하는 임계값 선정 알고리즘을 요약하면 다음과 같다.

[Step 1] 초기 임계값으로 $k=0$ 를 설정한다.

[Step 2] 전체 그레이 레벨 $[0, L-1]$ 을 임계값 k 를 사용하여 두 개의 영역, 즉, $C_0 = [0, k]$ 과 $C_1 = [k+1, L-1]$ 으로 분할한다.

[Step 3] 원래의 영상 I 의 각 픽셀에 대하여 그레이 레벨 영역 C_0 에 속하는 그레이 레벨 값을 갖는 픽셀의 그레이 레벨은 z_0 로, C_1 에 속하는 그레이 레벨 값을 갖는 픽셀의 그레이 레벨은 z_1 로 설정한 새로운 영상 I_k 를 생성한다. 여기서, z_0 와 z_1 은 C_0 와 C_1 에 속하는 그레이 레벨을 갖는 원래 영상의 픽셀 전체의 그레이 레벨 가중평균값을 나타내며 다음과 같이 계산된다:

$$z_0 = \frac{\sum_{i=0}^k i \cdot n_i}{\sum_{i=0}^k n_i}$$

$$z_1 = \frac{\sum_{i=k+1}^{L-1} i \cdot n_i}{\sum_{i=k+1}^{L-1} n_i}$$

[Step 4] 새로운 영상 I_k 에 대하여 식(4) 및 (5)로 주어진 엔트로피 $E(k)$ 및 평균밝기오차의 절대값 $AMBE(k)$ 를 계산한다.

$$E(k) = -\sum_{i=0}^k p_i \log_2 p_i - \sum_{i=k+1}^{L-1} p_i \log_2 p_i \quad (4)$$

$$AMBE(k) = |\mu_k - \mu_o| \quad (5)$$

여기서, μ_k 와 μ_o 는 각각 [Step 3]에서 생성된 영상 I_k 와 원래의 영상 I 의 그레이 레벨 평균값을 나타내며 그 값은 다음과 같다.

$$\mu_k = \sum_{i=0}^{L-1} i \cdot \frac{n_{ki}}{N}$$

$$\mu_o = \sum_{i=0}^{L-1} i \cdot \frac{n_i}{N}$$

단, n_{ki} 는 새로운 영상 I_k 에서의 그레이 레벨 i 를 갖는 픽셀 수, N 은 영상 전체 픽셀 수를 나타낸다.

[Step 5] $k=L-1$ 인지를 확인하고, $k=L-1$ 이면 아래의 [Step 6]으로 가고, 그렇지 않으면 $k=k+1$ 로 설정한 후 [Step 2]로 돌아간다.

[Step 6] 식 ((6) 및 (7)을 이용하여 최적의 임계값 k^* 를 선정한다.

$$k^* = \arg \max_{0 \leq k \leq L-1} PI(k) \quad (6)$$

여기서, $PI(k)$, ($k=0, \dots, L-1$)는 다음과 같다.

$$PI(k) = \alpha \cdot \frac{E(k) - E_{\min}}{E_{\max} - E_{\min}} + (1 - \alpha) \cdot \left[1 - \frac{AMBE(k) - AMBE_{\min}}{AMBE_{\max} - AMBE_{\min}} \right] \quad (7)$$

단, α ($0 \leq \alpha \leq 1$)는 가중치 상수로 엔트로피와 평균밝기오차의 절대값 사이의 가중치를 나타내며, E_{\max} 과 E_{\min} 은 각각 엔트로피 $E(k)$, ($k=0, \dots, L-1$)의 최대값과 최소값을 나타낸다. 그리고 $AMBE_{\max}$ 과 $AMBE_{\min}$ 은 각각 평균밝기오차의 절대값 $AMBE(k)$, ($k=0, \dots, L-1$)의 최대값과 최소값을 나타낸다.

여기서 식 (7)의 엔트로피와 평균밝기오차의 절대값 사이의 가중치 α ($0 \leq \alpha \leq 1$)에 대하여 고려해 보면, $\alpha=0$ 이면 $AMBE(k)$, ($k=0, \dots, L-1$) 만을 고려하여 최적의 임계값을 설정하고, $\alpha=1$ 이면 엔트로피 $E(k)$, ($k=0, \dots, L-1$) 만을 고려하여 최적의 임계값을 선정하게 된다.

4. 실험결과 및 고찰

본 절에서는 본 논문에서 제안된 엔트로피와 평균밝기오차의 절대값에 기반한 최적 임계값 결정 기법의 효율성을 검증하기 위하여 영상의 임계화 기법의 시험 영상으로 자주

사용되고 있는 그림 1에 나타난 영상1부터 영상9 까지 9개의 영상들에 대하여 실험을 수행하였으며, 기존의 그레이 영상 이진화를 위한 임계값 결정법 중에서 Otsu 기법 [7]과 Pun의 엔트로피 기반 기법 [13]과의 비교 및 검토를 통하여 제안된 기법의 효율성을 확인한다. 위의 세가지 기법간의 성능 평가 지표로는 엔트로피와 평균밝기오차의 절대값 (AMBE)을 사용한다.



그림 1. 시험 영상.
Fig. 1. Test images.

Pun에 의하여 제안된 엔트로피 기반 임계값 결정법 [13]의 성능지표로는 식(8)에 의한 엔트로피 계산이 제안되었다.

$$E_1(k) = -\sum_{i=0}^k p_i \log p_i - \sum_{i=k+1}^{L-1} p_i \log p_i \quad (8)$$

그러나, 새넨의 엔트로피 (Shannon's entropy) 계산에 있어서 로그 (log) 함수의 밑은 1 보다 크다는 조건만 주어지고 있으므로 본 논문에서는 계산상의 편의 및 본 논문에서 제안된 기법과의 성능 비교 검토를 용이하게 하기 위하여 로그 (log) 함수의 밑을 2로 설정한 식(9)의 성능지표를 사용하였다.

$$E_2(k) = -\sum_{i=0}^k p_i \log_2 p_i - \sum_{i=k+1}^{L-1} p_i \log_2 p_i \quad (9)$$

또한, 본 실험에서는 식(7)에서의 엔트로피와 평균밝기오차의 절대값 사이의 가중치 α 를 $\alpha=0.5$ 로 설정하고 실험을 수행하였다. 표 1은 Otsu 방법, 엔트로피 기반 기법 및 제안된 기법에 의하여 계산된 임계값을 나타내고, 표 2는 표 1에 나타난 임계값을 바탕으로 식 (9)를 사용하여 계산된 엔트로피 값을 나타내며, 표 3은 표 1에 나타난 임계값을 바탕으로 식 (5)를 사용하여 계산된 평균밝기오차의 절대값 (AMBE)을 나타낸다.

표 1. 오츠, 엔트로피 및 제안 기법에 의한 임계값.
Table 1. Threshold values obtained by the Otsu, entropy, and the proposed methods.

영상	Otsu	엔트로피	제안 기법
영상1	157	229	223
영상2	123	131	127
영상3	93	67	63
영상4	116	58	56
영상5	99	157	158
영상6	88	143	128
영상7	46	24	34
영상8	78	51	52
영상9	101	96	89

표 2. 오츠, 엔트로피 및 제안 기법에 의한 엔트로피 값.
Table 2. Entropy values obtained by the Otsu, entropy, and the proposed methods.

영상	Otsu	엔트로피	제안 기법
영상1	0.4931	1.0000	0.9963
영상2	0.9814	1.0000	0.9957
영상3	0.9207	1.0000	0.9976
영상4	0.7421	1.0000	0.9999
영상5	0.5244	1.0000	0.9991
영상6	0.8373	1.0000	0.9765
영상7	0.8445	1.0000	0.9520
영상8	0.8492	0.9998	0.9983
영상9	0.9970	1.0000	0.9898

표 3. 오츠, 엔트로피 및 제안 기법에 의한 평균밝기오차의 절대값.
Table 3. AMBE values obtained by the Otsu, entropy, and the proposed methods.

영상	Otsu	엔트로피	제안 기법
영상1	0.2743	0.0237	0.0004
영상2	0.0520	0.2253	0.0206
영상3	0.1128	0.1294	0.0090
영상4	0.1826	0.1756	0.0155
영상5	0.0998	0.2769	0.0314
영상6	0.1830	0.1490	0.0016
영상7	0.1679	0.3583	0.0172
영상8	0.3405	0.1116	0.0092
영상9	0.0198	0.0903	0.0032

그림 2는 표 1에 나타난 임계값을 이용하여 원영상 영상 1 부터 영상9 까지를 임계화한 영상을 나타낸다. 그림 2에서 그림 2 (a#)는 Otsu 기법에 의하여 임계화된 영상을 나타내고, 그림 2 (b#)는 엔트로피 기법에 의하여 임계화된 영상을 나타내며, 그림 2 (c#)는 제안 기법에 의하여 임계화된 영상을 나타낸다. 단, # = 1,...,9 이다.

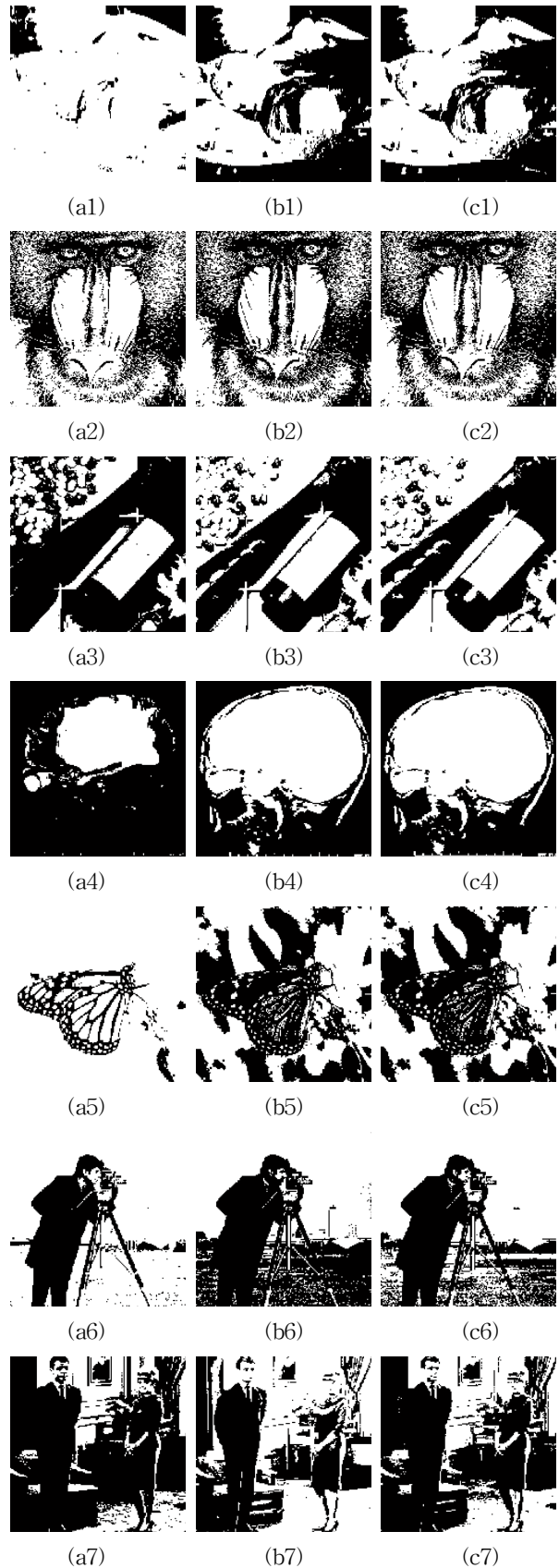




그림 2. 임계화된 영상: (a#)Otsu 기법, (b#)엔트로피 기법, (c#)제안 기법, (# = 1,...,9).

Fig. 2. Thresholded images: (a#)Otsu's method, (b#)entropy method, (c#)the proposed method, (# = 1,...,9).

그림 2를 보면 시각적으로 판단할 때 제안된 방법에 의하여 임계화된 영상인 그림 2 (c1) - (c9) 중에서 (c5)를 제외한 모든 영상이 Otsu 방법에 의하여 임계화된 영상 그림 2 (a1) - (a4) 및 (a6) - (a9) 에 비하여 세세한 부분까지 보다 상세히 표현하고 있음을 알 수 있다. 이러한 결과는 본 논문에서 제안된 기법이 제한된 조건하에서 엔트로피를 최대화하면서 동시에 평균밝기오차의 절대값 (AMBE)을 최소화시키는 임계값을 선정하도록 설계되어 있기에 예견되는 결과라 할 수 있다. 단, '영상5'에 대하여 본 논문에서 제안된 방법에 의하여 임계화된 영상인 그림 2 (c5)와 Otsu에 의하여 제안된 방법에 의하여 임계화된 영상인 그림 2 (a5)를 비교해 보면 그림 2 (a5)는 나비 영상을 잘 표현하고 있는 반면, 그림 2 (c5)는 나비의 날개 일부분 및 나비 주변의 영상을 보다 상세하게 표현하고 있다고 볼 수 있다. 이와 같은 시각적 판단을 뒷받침하는 자료가 표 2에 정리되어 있다. 표 2를 보면 '영상9'를 제외한 나머지 8개의 영상에 대하여 제안된 방법에 의하여 임계화된 영상의 엔트로피 값이 Otsu 방법에 의하여 임계화된 영상의 엔트로피 값보다 더 큰 값을 가짐을 볼 수 있다. 그리고 표 3에 나타난 AMBE 값을 비교해 보더라도 제안된 방법에 의하여 임계화된 영상의 AMBE 값이 Otsu 방법에 의하여 임계화된 영상의 AMBE 값보다 작음을 알 수 있다. 이는 제안된 방법에 의하여 임계화된 영상이 Otsu 방법에 의하여 임계화된 영상보다 원영상의 평균 밝기에 보다 근유사함을 보인다고 할 수 있다.

마찬가지로 엔트로피에 기반하여 임계화된 영상인 그림 2 (b1) - (b9)와 본 논문에서 제안된 방법에 의하여 임계화된 영상인 그림 2 (c1) - (c9) 을 비교해 보면 시각적으로는 큰 차이가 없음을 알 수 있다. 이는 표 2에 나타난 엔트로피 값을 비교해 보아도 알 수 있다. 표 2를 보면, 엔트로피에 기반하여 임계화된 영상의 엔트로피 값과 본 논문에서 제안된 방법에 의하여 임계화된 영상의 엔트로피 값의 차이가 매우 작음을 알 수 있다. 그러나, 엔트로피에 기반하여 임계화된 영상의 AMBE 값과 본 논문에서 제안된 방법에 의하여 임계화된 영상의 AMBE 값을 비교해 보면 상당한 차이가 있음을 알 수 있다. 즉, 본 논문에서 제안된 방법에

의하여 임계화된 영상이 엔트로피에 기반하여 임계화된 영상보다 원영상의 평균 밝기에 유사함을 알 수 있다.

본 논문에서 제안된 임계화 방법이 기존의 임계화 방법인 Otsu 방법 및 엔트로피 기반 임계화 방법과 유사하거나 좋은 임계화 결과를 보이는 위의 실험 결과, 즉, 표 1, 표 2, 표 3의 자료 및 그림 2를 바탕으로 판단한다면 제안된 기법이 유용함을 알 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 엔트로피와 평균밝기오차의 절대값 (AMBE)에 기반하여 주어진 영상을 이진화하는 그레이 영상 임계화 기법을 제안하고, 9개의 시험 영상에 대한 실험과 기존의 Otsu 방법 및 엔트로피 기반의 임계값 결정법과의 비교 및 검토를 통하여 제안된 기법의 효용성을 검증하였다.

추후 연구과제로는 다음 세 가지, 즉, (i) 제안된 기법에서 사용된 임계값 선정을 위한 성능지표의 최적화, 즉, 엔트로피는 크게 하면서도 AMBE는 작은 값을 갖도록 하는 최적의 임계값 결정을 위한 최적의 α 값 선정, (ii) 이진화에 제한된 본 알고리즘의 다중 임계화 (multi-thresholding)로의 확장, 그리고 (iii) 컬러 영상에의 확장 및 적용을 들 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] R. C. Gonzalez, R. E. Woods, and S. L. Eddins, *Digital Image Processing using MATLAB*, Pearson, NJ, 2004.
- [2] N. Bonnet, J. Cutrona, and M. Herbin, "A 'no-threshold' histogram-based image segmentation method," *Pattern Recognition*, vol. 35, no. 10, pp. 2319-2322, 2002.
- [3] M. Sezgin, and B. Sankur, "Survey over image thresholding techniques and quantitative performance evaluation," *Journal of Electronic Imaging*, vol. 13, no. 1, pp. 146-165, 2004.
- [4] P. S. Sahoo, S. Soltani, and A. Wong, "A survey of thresholding techniques," *Comput. Vision Graphics Image Process*, vol. 41, no. 2, pp. 233-260, 1988.
- [5] D. M. Tsai, "A fast thresholding selection procedure for multimodal and unimodal histograms," *Pattern Recognition Lett.*, vol. 16, no. 6, pp. 653-666, 1995.
- [6] 단나, 서석태, 박혜공, 권순학, "평면 곡선에 기반한 다중 임계값 결정," *한국지능시스템학회논문지*, 제20권, 2호, pp. 279-284, 2010.
- [7] N. Otsu, "A threshold selection method from gray-level histograms," *IEEE Trans. Systems Man Cybernet.*, vol. 9, no. 1, pp. 62-66, 1979.
- [8] P.-S. Liao, T.-S. Chen, and P.-C. Chung, "A Fast Algorithm for Multilevel Thresholding," *Journal of Information Science and Engineering*, vol. 17, no. 5, pp. 713-727, 2001.

- [9] S.H. Kwon, "Threshold selection based on cluster analysis," *Pattern Recognition Lett.*, vol. 25, no. 9, pp. 1045-1050, 2004.
- [10] Z. Hou, Q. Hu, and W.L. Nowinski, "On minimum variance thresholding," *Pattern Recognition Lett.*, vol. 27, no. 14, pp. 1143-1154, 2006.
- [11] H.-F. Ng, "Automatic thresholding for defect detection," *Pattern Recognition Lett.*, vol. 27, no. 14, pp. 1644-1649, 2006.
- [12] S.H. Kwon, H.C. Jeong, S.T. Seo, I.K. Lee, and C.S. Son, "Histogram equalization-based thresholding," *IEICE Trans. Inf. & Syst.*, vol. E91-D, no. 11, pp. 2751-2753, 2008.
- [13] T. Pun, "A new method for gray-level picture threshold using the entropy of the histogram," *Signal Process*, vol. 2, no. 3, pp. 223-237, 1980.
- [14] L. K. Huang and M. J. Wang, "Image thresholding by minimizing the measure of fuzziness," *Pattern Recognition*, vol. 28, no. 1, pp. 41-51, 1995.
- [15] Suk Tae Seo, Hye Cheun Jeong, In Keun Lee, Chang Sik Son, and Soon H. Kwon, "Plausibility-based Approach to Image Thresholding," *IEICE Trans. on Information and Systems*, vol. E92-D, no. 10, pp. 2167-2170, 2009.
- [16] J. Sauvola and M. Pietaksinen, "Adaptive document image binarization," *Pattern Recognition*, vol. 33, no. 2, pp. 225-236, 2000.
- [17] K. An, Q. Ni, and J. Sun, "A contrast enhancement method for compressed images," *IEICE Electronics Express*, vol. 1, no. 18, pp. 582-587, 2004.

저 자 소 개

권순학(Soon H. Kwon)

제20권 2호 (2010년 4월호) 참조

E-mail : shkwon@yu.ac.kr