



새로운 영상 질 측도에 기반한 그레이 영상의 임계화

Gray Image Thresholding based on A New Image Quality Measure

권순학[†]
Soon H. Kwon[†]

영남대학교 전기공학과
Department of Electrical Engineering, Yeungnam University

요약

일반적으로 영상의 질 측정을 위한 측도로 영상의 세세한 부분에 대한 표현 정확도를 나타내는 엔트로피와 전체 영상에 있어서 밝기 변화를 나타내는 평균밝기오차 절대값이 주로 사용되고 있다. 그러나, 이들이 영상의 질 측정에 대한 좋은 기준이 되기는 하지만 절대적 기준이라는 보장은 없다. 본 논문에서는 영상의 질 측정을 위한 새로운 측도로 Kwon이 제안한 퍼지 클러스터 평가 기준에 기반한 영상 질 측도를 제안하고 이를 그레이 영상의 임계화 과정에 적용한다. 마지막으로, 9개의 시험 영상에 대하여 컴퓨터 모의실험을 수행하여 기존 방법, 즉 오투의 임계화 법, 엔트로피 기반 임계화 법 및 평균밝기오차 절대값 기반 임계화법과의 정성적 성능 비교 및 검토투를 통하여 제안된 지표 및 임계화법의 효용성을 보인다.

키워드 : 그레이 영상 평가지표, 임계화, 오투, 엔트로피, 평균밝기오차의 절대값

Abstract

In general, the entropy measuring the richness in details of the image and the absolute mean brightness error(AMBE) providing a change in the image global appearance are two mainly used quantitative measures for measuring quality of images. Even though they are good indexes for measuring the quality of images but not absolute ones. In this paper, we propose a new quality measure for gray images based on Kwon's fuzzy cluster validity index and apply it to thresholding of gray images. Finally, the effectiveness of the proposed measure and thresholding method is demonstrated by qualitative performance comparison obtained by the computer simulation results on nine test images with those of Otsu's method, entropy-based method, and AMBE-based method.

Key Words : Gray Image quality measure, Thresholding, Otsu, Entropy, AMBE,

Received : Jun. 27, 2019
Revised : Aug. 6, 2019
Accepted: Aug. 6, 2019
[†]Corresponding author
(shkwon@yu.ac.kr)

1. 서론

최근 일고 있는 4차 산업혁명의 한 분야로 이진 영상, 그레이 영상, 컬러 영상 및 의사 컬러(pseudocolor) 영상으로 대표되는 디지털 영상에 대한 처리, 분석, 이해 및 가공에 대한 관심이 점점 고조되고 있다. 디지털 영상에 대한 영상 처리(image processing)란 인간의 이해를 돕기 위하여 그림 정보를 개선하거나 자율 기계의 인지를 위하여 보다 적절한 형태로 영상을 만드는 것을 의미한다. 이러한 영상 처리는 크게 세 가지 분야 즉 영상 향상(image enhancement), 영상 복원(image restoration) 및 영상 분할(image segmentation)로 분류된다. 대표적 영상 분할 기법으로는 영상 임계화(image thresholding)와 영상 윤곽선 검출(edge detection)이 있으며 영상 임계화에 대하여는 많은 연구 [2-15]가 이루어져 왔으며 참고 문헌 [2,3]에 상세히 요약되어 있다. 특히, Sezgin과 Sankur[3]는 이러한 영상 임계화 기법 각각의 성능을 분석하고 여러 개의 성능 측도를 결합한 측도를 도입하여 서로 간의 성능을 비교 검토하였고 Kwon[4]은 이를 다음과 같이 정리하였다: (i) 히스

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

토그램의 모양새 특징점 즉, 마루, 골 및 굽은 점을 기반으로 영상 임계값을 선정하는 히스토그램 모양 기반 기법 [5], (ii) 그레이 영상의 레벨을 나타내는 전체 그레이 레벨을 2개의 군집, 즉, 전경(혹은 대상)과 배경으로 분류하는 최적의 임계값을 선정하는 군집화 기반 기법 [6-9], (iii) 엔트로피의 최대화가 최대 정보 전달을 의미한다는 전제하에 임계값을 선정하기 위하여 전경과 배경의 엔트로피 혹은 원영상과 이진화된 영상의 교차 엔트로피를 사용하는 엔트로피 기반 기법[4, 10, 11], (iv) 원영상과 이진화된 영상의 특정 속성의 질 혹은 유사도에 기반하여 임계값을 선정하는 대상의 속성에 기반한 기법 [12], (v) 임계값 선정을 위하여 그레이 레벨의 분포뿐만 아니라 각각의 화소와 그 이웃하는 화소 사이의 의존적 관계, 예를 들면 상관함수, 동시발생확률 혹은 이차원 엔트로피 등등을 이용하는 공간적 기법[13], 그리고 마지막으로 (vi) 영상 전체에 대한 임계값이 아니라 각각의 화소에 대한 임계값을 선정하기 위하여 화소 주위의 국소적 통계값, 예를 들면 범위 혹은 분산 등등을 이용하는 국소적 기법 [14]이 있다.

그러나 참고문헌 [4]에서 지적되었듯이 기존에 제안된 대부분의 영상 임계화 기법은 영상이 갖고 있는 그레이 레벨에 관한 히스토그램을 바탕으로 미리 정해진 성능 평가 지표를 최적화시키는 그레이 레벨을 영상의 임계값으로 선정한다. 이러한 방법은 영상이 지니고 있는 어느 특정 정보를 바탕으로 성능 평가가 이루어지며 성능 평가에 사용된 정보가 영상의 질을 평가하는 정보를 포함하는 경우도 있지만, 그렇지 않은 경우가 대부분이다. 이와 같은 방법으로 최적의 임계값이 선정된 경우, 성능 평가에서 고려되지 않은 다른 특성이 급격히 나빠지는 단점을 지니고 있다.

영상 평가 지표 중 하나인 엔트로피는 영상의 세세한 부분에 대한 표현 정확도를 나타낼 목적으로 널리 사용되고 있으며, 평균밝기오차의 절대값(AMBE: Absolute Mean Brightness Error)[15] 또한 전체 영상에 있어서의 밝기 변화를 나타내는 측도로 영상 처리 분야에서 널리 사용되고 있는 측도이다. 그러나 이들은 각각의 지표가 측정하는 특성 외의 영상 자체가 갖는 영상의 질 평가에는 사용되지 못한다는 단점을 지니고 있어 개선이 요구되었다.

이에 근거하여 본 논문에서는 영상의 질 측정을 위한 새로운 측도로 Kwon[1]이 제안한 퍼지 클러스터 평가 기준에 기반한 영상 질 측도를 제안하고 이를 그레이 영상의 임계화 과정에 적용한다. 마지막으로, 9개의 시험 영상에 대하여 컴퓨터 모의실험을 수행하여 기존 방법, 즉 오츠의 임계화 기법, 엔트로피 기반 임계화 기법 및 평균 밝기오차 절대값 기반 임계화 기법과의 성능 비교 및 검도를 통하여 제안된 지표 및 임계화 기법의 효용성을 보인다. 본 논문의 구성은 서론에 이은 2절에서는 기존의 임계값 선정법을 요약하고, 3절에서는 새로운 임계값 측도와 임계화를 제안하며, 4절에서는 모의실험 결과 및 고찰을 보이고 마지막 5절에서 결론을 맺는다.

2. 기존의 임계값 선정법

본 절에서는 참고 문헌[4]를 바탕으로 본 논문에서 제안하는 그레이 영상 임계화 방법의 효용성을 보이기 위하여 기존에 제안된 그레이 영상 임계화 방법 중에서 Otsu의 임계값 선정법[6]과 엔트로피에 기반한 임계값 선정법[10, 11]에 대하여 다음과 같이 간략하게 요약하기로 한다. 단, 본 논문에서 사용하는 몇 가지 용어 및 변수는 다음과 같이 정의한다: 그레이 영상 I 는 $[0, L-1]$ 의 그레이 레벨로 구성되며, L 은 자연수로 일반적으로 255가 사용된다. 그레이 레벨로 i 를 갖는 화소의 수는 n_i , 전체 화소의 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 Otsu의 임계값 선정법

Otsu의 임계값 선정법은 $[0, L-1]$ 의 그레이 레벨로 구성된 영상에 대하여 임의의 그레이 레벨 c 에 의해서 분할된 군집, 즉, $C_0 = [0, c]$ 와 $C_1 = [c+1, L-1]$ 의 내부 분산을 최소화하거나 혹은 군집간 분산을 최대화시킴으로써 임계값을 선정하는 방법이다. 따라서 주어진 영상이 임의의 그레이 레벨 c 에 의해서 군집 C_0 와 C_1 으로 분할될 때 최적의 임계값은 다음 식(1)과 같이 선정한다 [6].

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

여기서,

$$\begin{aligned} \sigma_1^2 &= \sum_{i=0}^c p_i (i - \mu_1)^2 / \omega_1, & \sigma_2^2 &= \sum_{i=c+1}^{L-1} p_i (i - \mu_2)^2 / \omega_2 \\ \mu_1 &= \sum_{i=0}^c i \cdot p_i / \omega_1, & \mu_2 &= \sum_{i=c+1}^{L-1} i \cdot p_i / \omega_2 \\ \omega_1 &= \sum_{i=0}^c p_i, & \omega_2 &= \sum_{i=c+1}^{L-1} p_i \end{aligned}$$

Liao 등[7]은 Otsu의 임계값 선정법의 계산 시간을 줄이기 위하여 다음 식(2)와 같은 간략화된 방법으로 임계값을 선정하는 방법을 제안하였다.

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

2.2 엔트로피 기반 임계값 선정법

영상의 표현 정확도를 나타낼 목적으로 널리 사용되고 있는 엔트로피를 이용한 임계값 선정 기법으로 다양한 방법이 제안되었다. Pun[10]의 방법은 식(3)

$$E(c) = - \sum_{i=0}^c p_i \log_2 p_i - \sum_{i=c+1}^{L-1} p_i \log_2 p_i \quad (3)$$

과 같은 지표를 사용하여 임계화를 수행하지만 Kapur 등[11]이 지적한 것과 같이 식 유도에 오류를 보이므로 본 논문에서는 가장 널리 사용되고 있는 Kapur의 임계값 선정법[11]에 대하여 설명한다. Kapur 방법에 의한 최적의 임계값은 다음 식(4)와 같이 선정한다.

$$c^* = \arg \max_{0 \leq c \leq L-1} \{H_b(c) + H_w(c)\} \quad (4)$$

여기서

$$\begin{aligned} H_b(c) &= -\sum_{i=0}^c \frac{p_i}{P_c} \ln \left(\frac{p_i}{P_c} \right) = \ln(P_c) + \frac{H_c}{P_c} \\ H_w(c) &= -\sum_{i=c+1}^{L-1} \frac{p_i}{1-P_c} \ln \left(\frac{p_i}{1-P_c} \right) \\ &= \ln(1-P_c) + \frac{H_T - P_c}{1-P_c} \\ P_c &= \sum_{i=0}^c p_i, H_c = -\sum_{i=0}^c p_i \ln p_i, H_T = -\sum_{i=0}^{L-1} p_i \ln p_i \end{aligned}$$

2.3 평균밝기오차의 절대값 기반 임계값 선정법

평균밝기오차의 절대값(AMBE: Absolute Mean Brightness Error)[15]은 전체 영상의 밝기 변화를 나타내는 식(6)과 같이 정의되는 척도이며, 이에 기반한 영상 임계값 결정은 식(5)로 구한다.

$$c^* = \arg \min_{0 \leq c \leq L-1} \{AMBE(c)\} \quad (5)$$

여기서

$$AMBE(c) = |\mu_c - \mu_o| \quad (6)$$

여기서, μ_c 와 μ_o 는 각각 선정된 임계값 c 에 의하여 이진화된 영상 I_c 와 원래의 영상 I 의 그레이 레벨 평균값을 나타내며 다음과 같이 정의된다.

$$\mu_c = \sum_{i=0}^{L-1} i \cdot \frac{n_{ci}}{N}, \quad \mu_o = \sum_{i=0}^{L-1} i \cdot \frac{n_i}{N}$$

단, n_{ci} 는 새로운 영상 I_c 에서의 그레이 레벨 i 를 갖는 화소 수, N 은 영상 전체 화소 수를 나타낸다.

3. 새로운 영상 질 척도와 임계화

본 절에서는 Kwon[1]이 제안한 퍼지 클러스터 평가 기준에 기반한 영상 질 척도를 제안하고 이를 그레이 영상 임계화에 적용하는 알고리즘을 제안한다. 먼저, Kwon의 퍼지 클러스터 평가 기준 및 이를 적용한 영상

이진화 기법[8]은 $[0, L-1]$ 의 그레이 레벨로 구성된 영상에 대하여 임의의 그레이 레벨 c 에 의해서 분할된 군집, 즉, $C_0 = [0, c]$ 와 $C_1 = [c+1, L-1]$ 에 대하여 다음 식(7)과 같이 임계값을 선정하는 알고리즘이다.

$$c^* = \arg \min_{0 \leq c \leq L-1} \left[\frac{\sigma_0^2 + \sigma_1^2 + \sum_{k=0}^1 \|m_k - m\|/2}{\|m_0 - m_1\|} \right] \quad (7)$$

여기서,

$$\sigma_0^2 = \sum_{i=0}^{L-1} \mu_{i0}^2 (i - m_0)^2, \quad \sigma_1^2 = \sum_{i=0}^{L-1} \mu_{i1}^2 (i - m_1)^2$$

이고 m, m_0, m_1 는 각각 전체 중심, 군집 $C_0 = [0, c]$ 와 $C_1 = [c+1, L-1]$ 의 군집 중심이며, μ_{i0} 와 μ_{i1} 는 그레이 레벨 i 가 군집 $C_0 = [0, c]$ 와 $C_1 = [c+1, L-1]$ 속하는 정도를 나타내는 소속도 함수값이다. 이 기법은 그레이 영상 임계화 문제를 클러스터링 문제화했다는 점에서 큰 의미가 있으나 결과 영상에 있어서 기대한 만큼의 결과는 얻지 못하는 것이 한계로 지적될 수 있다.

본 절에서는 이와 같은 한계를 극복하기 위하여 식(8)로 정의되는 영상 질 척도(IQM: Image Quality Measure)를 제안하고 이를 그레이 영상 임계화에 적용하기로 한다.

$$IQM = \frac{\omega_0 \sigma_0^2 + \omega_1 \sigma_1^2 + \frac{1}{2} \sum_{k=0}^1 \|m_k - m\|^2}{\|m_0 - m_1\|^2} \quad (8)$$

여기서,

$$\begin{aligned} \sigma_0^2 &= \sum_{i=0}^c p_i^2 (i - m_0)^2 / \sum_{i=0}^c p_i^2, \quad \omega_0 = \sum_{i=0}^c p_i \\ \sigma_1^2 &= \sum_{i=c+1}^{L-1} p_i^2 (i - m_1)^2 / \sum_{i=c+1}^{L-1} p_i^2, \quad \omega_1 = \sum_{i=c+1}^{L-1} p_i \\ m &= \sum_{i=0}^{L-1} i \cdot p_i, \quad m_0 = \sum_{i=0}^c i \cdot p_i / \sum_{i=0}^c p_i \\ m_1 &= \sum_{i=c+1}^{L-1} i \cdot p_i / \sum_{i=c+1}^{L-1} p_i \end{aligned}$$

이다. 식(8)로 제안된 영상 질 척도에 대한 수학적 그리고 물리적 성질은 현재 연구 진행 중이며, 연구 결과는 추후 발표 예정이다.

제안된 영상 질 척도를 이용한 그레이 영상의 임계화 알고리즘은 기존 방법과 유사하게 $[0, L-1]$ 의 그레이 레벨로 구성된 영상에 대하여 임의의 그레이 레벨 c 에 의해서 분할된 군집, 즉, $C_0 = [0, c]$ 와 $C_1 = [c+1, L-1]$ 에

대하여 식(9)와 같이 영상 질 측도 값을 최소화하는 레벨 c^* 를 임계화 레벨로 임계값을 선정하게 된다.

$$c^* = \arg \min_{0 \leq c \leq L-1} [IQM] \\ = \arg \min_{0 \leq c \leq L-1} \left[\frac{\omega_0 \sigma_0^2 + \omega_1 \sigma_1^2 + \frac{1}{2} \sum_{k=0}^1 \|m_k - m\|^2}{\|m_0 - m_1\|^2} \right] \quad (9)$$

본 논문에서 제안하는 임계값 선정 알고리즘을 요약하면 다음과 같다:

[임계값 선정 알고리즘]

- [단계 1] 초기 임계값으로 $c=0$ 으로 설정한다.
 [단계 2] 전체 그레이 레벨 $[0, L-1]$ 을 임계값 c 를 사용하여 두 개의 영역, 즉, $C_0 = [0, c]$ 와 $C_1 = [c+1, L-1]$ 으로 분할한다.
 [단계 3] 원래의 영상 I 의 각 화소 $I(m, n)$ 와 그레이 레벨 영역 c 로부터 새로운 영상의 각 화소 $I_c(m, n)$ 은 다음과 같이 설정된다:

$$I_c(m, n) = \begin{cases} 0 & \text{if } I(m, n) \leq c \\ L-1 & \text{if } I(m, n) > c \end{cases} \quad (10)$$

- [단계 4] 새로운 영상 I_c 에 대하여 식(8)로 주어지는 $IQM(c)$ 를 계산한다.
 [단계 5] $c=L-1$ 이면 아래의 단계 6으로 가고, 그렇지 않으면 $c=c+1$ 로 설정한 후 [단계 2]로 돌아간다.
 [단계 6] 식(9)를 이용하여 최적의 임계값 c^* 를 선정한다.

4. 모의실험 결과 및 고찰

본 절에서는 본 논문에서 제안된 영상 질 측도에 기반한 최적 임계값 선정 기법의 효용성을 검증하기 위하여 영상의 임계화 기법의 시험 영상으로 자주 사용되고 있는 그림 1에 나타난 9개의 영상((a) arctic, (b) baboon, (c) bottle, (d) brain10, (e) butterfly, (f) cameraman, (g) couple1, (h) girl 그리고 (i) lena)에 대하여 모의실험을 수행하였다. 그리고 기존의 그레이 영상 이진화를 위한 임계값 선정법 중에서 대표적인 기법인 Otsu 기법[6], 엔트로피 기반 기법[10,11], AMBE 기법[15]과의 정성적 비교 및 검토를 통하여 제안된 기법의 효용성을 확인한다.

Otsu의 임계값 선정법과 엔트로피 기반 임계값 선정법 그리고 AMBE 기반 임계값 선정은 각각 식(1), 식(4) 및 식(5)를 사용하여 실험을 수행하였다.



그림 1. 시험 영상.

Fig. 1. Test images.

표 1은 Otsu 기법, 엔트로피 기반 기법, AMBE 기반 기법 및 제안된 기법에 의하여 계산된 임계값을 나타내고, 표 2는 표 1에 나타난 임계값을 바탕으로 식 (9)를 사용하여 계산된 IQM 값을 나타낸다.

표 1. 오츠 기법, 엔트로피 기법, AMBE 기법 및 제안된 기법에 의한 임계값.

Table 1. Threshold values obtained by Otsu's method, entropy-based method, AMBE-based method, and the proposed method.

Images	Otsu 기법	Entropy 기법	AMBE 기법	The proposed
arctic	157	161	182	219
baboon	70	70	85	68
bottle	93	121	97	75
brain10	116	115	101	113
butterfly	99	119	152	112
cameraman	136	176	180	168
couple1	46	77	65	33
girl	78	151	83	66
lena	101	139	114	96

표 2. 오츠 기법, 엔트로피 기법, AMBE 기법 및 제안된 기법에 의한 IQM 값.

Table 2. IQM values obtained by Otsu's method, entropy-based method, AMBE-based method, and the proposed method.

영상	Otsu 기법	Entropy 기법	AMBE 기법	The proposed
arctic	0.4344	0.4320	0.4213	0.4018
baboon	0.3506	0.3506	0.3981	0.3499
bottle	0.3609	0.4396	0.3702	0.3375
brain10	0.4351	0.4349	0.4377	0.4348
butterfly	0.4179	0.4165	0.4707	0.4151
cameraman	0.3016	0.2959	0.2987	0.2948
couple1	0.3775	0.4792	0.4579	0.3513
girl	0.3502	0.5153	0.3595	0.3405
lena	0.3531	0.4735	0.3731	0.3515

그림 2는 표 1에 나타난 임계값과 2진화를 위한 식(10)을 이용하여 원영상 (a)arctic 영상부터 (i)lena 영상까지를 임계화한 2진 영상을 나타낸다. 그림 2에서 그림 2 (#1)은 Otsu 기법에 의하여 임계화된 영상을 나타내고, 그림 2 (#2)는 AMBE 기반 기법에 의하여 임계화된 영상을 나타내며, 그림 2 (#3)은 제안된 기법에 의하여 임계화된 영상을 나타낸다. 단, # = a,...,i 이다. 단, 그림 2에서는 논문 길이 제한을 고려하여 비교적 양질의 이진화 결과를 나타내는 오츠 기법, AMBE 기반 기법 및 제안된 기법에 의하여 임계화된 영상만을 나타낸다.

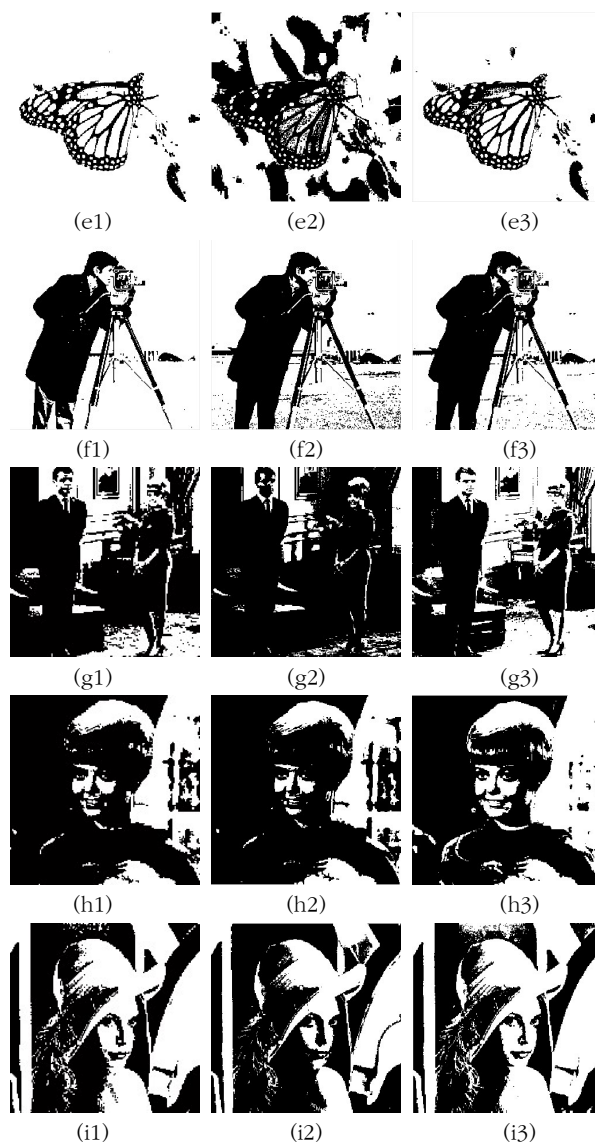
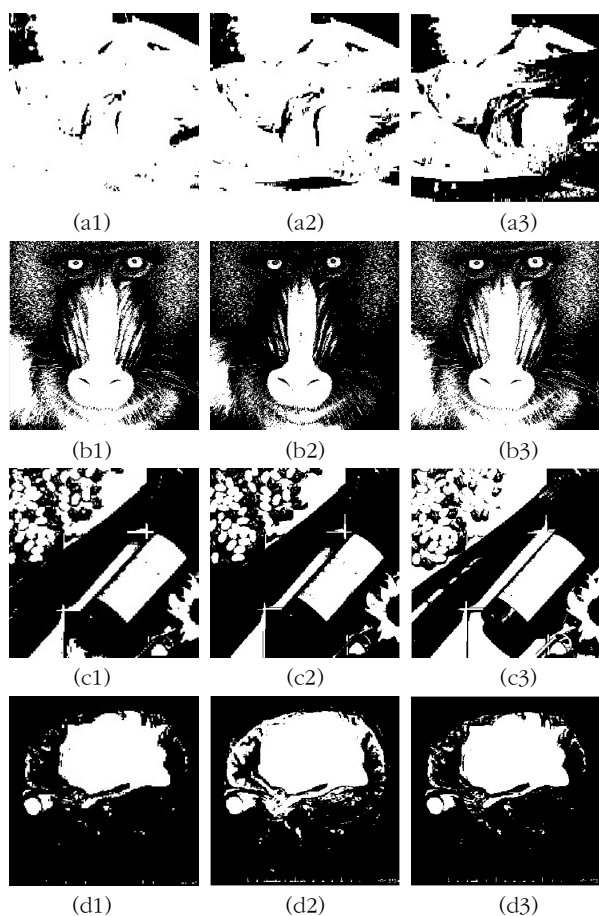


그림 2. 임계화된 영상: (#1)Otsu 기법, (#2)AMBE 기반 기법, (#3)제안된 기법, (# = a,b,...,i).

Fig. 2. Thresholded images: (#1)Otsu's method, (#2)AMBE-based method, (#3)the proposed method, (# = a,b,...,i).

그림 2를 보면 정성적으로 판단할 때 제안된 기법에 의하여 임계화된 영상인 그림 2 (a3) - (i3)가 Otsu 기법 및 AMBE 기반 기법에 의하여 임계화된 영상 그림 2 (a1) - (i1)과 (a2) - (i2)에 비하여 세세한 부분까지 보다 상세히 표현하고 있음을 알 수 있다. 특히, 그림 2 (g3) couple1, (h3) girl 및 (i3) lena 영상에서 쉽게 확인할 수 있듯이 제안된 기법에 의하여 임계화된 영상의 얼굴표정이 타 기법에 의하여 임계화된 영상에 비하여 더욱 더 생생함을 알 수 있다.

위의 실험 결과, 즉, 표 1, 표 2의 자료 및 그림 2를 바탕으로 판단한다면 본 논문에서 제안된 임계화 기법이 기존의 임계화 기법인 Otsu 기법, 엔트로피 기반 기

법 및 AMBE 기반 임계화 기법과 유사하거나 좋은 임계화 결과를 보이고 있으며 이를 통하여 제안된 영상 질 측도 및 이를 이용한 임계화 기법이 매우 유용함을 알 수 있다.

5. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 Kwon[1, 8]이 제안한 방법에 기반하여 새로운 그레이 영상 질 측도를 제안하고 이를 그레이 영상 임계화에 적용하여 9개의 시험 영상에 대한 실험과 기존의 Otsu 기법, 엔트로피 기반 기법 및 AMBE 기반의 임계값 선정법과의 정성적 비교 및 검토를 통하여 제안된 기법의 효용성을 보였다. 그러나, 아쉬운 점은 제안된 측도에 대한 수학적 그리고 물리적 특성에 대한 연구가 현재 진행 중이라는 것으로 추후 이에 대한 명확한 연구가 이루어져야 한다고 본다. 끝으로, 본 논문의 시도를 기점으로 영상 질 평가 지표에 대한 보다 활발한 연구를 기대한다.

References

- [1] Soon H. Kwon, "Cluster validity index for fuzzy clustering," *Electronics Letters*, vol. 34, no. 22, pp. 2176-2177, 1998.
- [2] A. McAndrew, *A computational Introduction to Digital Image Processing*, CRC Press, FL, 2016.
- [3] M. Sezgin, and B. Sankur, "Survey over image thresholding techniques and quantitative performance evaluation," *Journal of Electronic Imaging*, vol. 13, pp. 146-165, 2004.
- [4] Soon H. Kwon, "Image Thresholding based on the Entropy Using Variance of the Gray Levels," *J. of Korean Institute of Intelligent Systems*, vol. 21, no. 5, pp. 543-548, 2011.
- [5] D. M. Tsai, "A fast thresholding selection procedure for multimodal and unimodal histograms," *Pattern Recognition Lett.*, vol. 16, pp. 653-666, 1995.
- [6] N. Otsu, "A threshold selection method from gray-level histograms," *IEEE Trans. Systems Man, Cybernet.*, vol. 9, pp. 62-66, 1979.
- [7] P.-S. Liao, T.-S. Chen, and P.-C. Chung, "A Fast Algorithm for Multilevel Thresholding," *Journal of Information Science and Engineering*, vol. 17, pp. 713-727, 2001.
- [8] S.H. Kwon, "Threshold selection based on cluster analysis," *Pattern Recognition Lett.*, vol. 25, pp. 1045-1050, 2004.
- [9] Z. Hou, Q. Hu, and W.L. Nowinski, "On minimum variance thresholding," *Pattern Recognition Lett.*, vol. 27, pp. 1143-1154, 2006.
- [10] T. Pun, "A new method for gray-level picture threshold using the entropy of the histogram," *Signal Process*, vol. 2, pp. 223-237, 1980.
- [11] J. N. Kapur, P. K. Sahoo, and A. K. C. Wong, "A new method for gray-level picture thresholding using the entropy of the histogram," *Graph. Models Image Process*, vol. 29, pp. 273-285, 1985.
- [12] S. D. Chen and A. R. Ramli, "Minimum Mean Brightness Error Bi-Histogram Equalization in Contrast Enhancement," *IEEE Tr. Consumer Electronics*, vol. 49, pp. 1310-1319, 2003.
- [13] 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, pp. 2167-2170, 2009.
- [14] J. Sauvola and M. Pietaksinen, "Adaptive document image binalization," *Pattern Recognition*, vol. 33, pp. 225-236, 2000.
- [15] S. D. Chen and A. R. Ramli, "Minimum Mean Brightness Error Bi-Histogram Equalization in Contrast Enhancement," *IEEE Tr. Consumer Electronics*, vol. 49, pp. 1310-1319, 2003.

저 자 소 개



권순학(Soon H. Kwon)

1983년:서울대학교 제어계측공학과
공학사

1985년:서울대학교 대학원 제어계측
공학과 공학석사

1995년:일본 동경공업대학 총합이공
학연구과 공학박사

1996년~현재:영남대학교 전기공학과 교수

관심분야: Poem, Intelligent Systems, Image Processing

Phone : +82-53-810-3514

E-mail : shkwon@yu.ac.kr