

이미지 화질개선을 위한 Weber-Fechner 법칙을 적용한 가중 히스토그램 균등화 기법

김동형*

¹한양여자대학교 컴퓨터정보과

Weighted Histogram Equalization Method adopting Weber-Fechner's Law for Image Enhancement

Donghyung Kim^{1*}

¹Dept. of Computer Science & Information Systems, Hanyang Women's Univ.

요 약 저화질 이미지의 화질 개선에는 전통적으로 히스토그램균등화 기법이 사용되어 왔다. 히스토그램균등화 기법은 입력 이미지의 누적밀도함수를 변환함수로 사용하는 기법으로 이는 이론상 최대의 엔트로피를 가지지만 주관적 화질 측면에서는 백화현상이 나타나는 문제점이 있다. 본 논문에서는 히스토그램균등화 기법 기반의 가중 히스토그램 균등화 기법을 제안한다. 이는 인간의 시각특성을 반영한 Weber-Fechner 법칙을 사용하며 입력영상에 독립적인 변환함수를 제공하는 여러 이미지 화질 개선 기법들이 가지는 문제점을 해결하기 위해서 동적영역 재조정 과정을 포함한다. 최종적으로 재조정된 동적영역 범위 내에서 Weber-Fechner 법칙을 적용한 변환함수와 히스토그램균등화 기법을 통해 얻어진 변환함수간의 가중 평균을 통하여 변환함수를 생성한다.

실험결과 제안하는 알고리즘은 주관적 화질 측면에서 대비비를 효과적으로 향상시키는 것을 보여주며, 엔트로피 또한 비교에 사용된 여러 이전의 방법들과 비교하여 유사하거나 높은 값을 가지는 것을 볼 수 있었다.

Abstract A histogram equalization method have been used traditionally for the image enhancement of low quality images. This uses the transformation function, which is a cumulative density function of an input image, and it has mathematically maximum entropy. This method, however, may yield whitening artifacts. This paper proposes the weighted histogram equalization method based on histogram equalization. It has Weber-Fechner's law for a human's vision characteristics, and a dynamic range modification to solve the problem of some methods, which yield a transformation function, regardless of the input image. Finally, the proposed transformation function was calculated using the weighted average of Weber-Fechner and the histogram equalization transformation functions in a modified dynamic range.

The simulation results showed that the proposed algorithm effectively enhances the contrast in terms of the subjective quality. In addition, the proposed method has similar or higher entropy than the other conventional approaches.

Key Words : Histogram Equalization, Image Enhancement, Weber-Fechner's law, Weighted Histogram Equalization adopting Weber-Fechner's Law(WHEWF)

1. 서론

대비비 증가 기법은 이미지가 가지는 동적영역을 확대하는 기법으로 대표적으로 히스토그램 균등화

(histogram equalization) 기법을 들 수 있다. 히스토그램 균등화 기법은 동적영역의 확대뿐만 아니라 전체 동적영역에 균일한 화소값 분포를 가지도록 함으로써 수학적으로 가장 높은 엔트로피(entropy)를 가지는 방법이며, 이

본 논문은 2014년도 1학기 한양여자대학교 교내연구비에 의하여 연구됨

*Corresponding Author : Donghyung Kim(Hanyang Women's Univ.)

Tel: +82-2-2290-2210 email: kimdh@hywoman.ac.kr

Received April 3, 2014

Revised June 17, 2014

Accepted July 10, 2014

때 입력영상의 누적밀도함수(cumulative density function)가 변환함수로 사용된다[1]. 히스토그램 균등화 기법이 이론적으로 이상적인 영상화질 개선 기법이지만 실제 적용에서는 화면의 일부분에 백화현상 등이 나타나는 문제점이 있다.

이후 이와 같은 문제점을 해결하기 위한 다양한 방법들이 다양하게 소개되었다. BBHE(brightness preserving bi-histogram equalization)는 입력영상의 평균값을 중심으로 동적영역을 두 개로 분할하고 각각의 영역에 대해서 히스토그램 균등화 기법을 적용함으로써 입력영상의 평균값을 가능한 유지하며 이를 통해 전통적인 히스토그램 균등화 기법이 가지고 있는 문제점을 해결하고자 하였다[2]. 또한 BBHE를 수정 또는 확장한 방법으로 동적 영역의 분할에 평균값 대신 중간값(median value)을 사용하는 DSI(dualistic sub-image) 기법([3])과 입력이미지와 출력이미지간의 밝기 차이를 최소화하는 비용값(cost function)을 이용하는 MMBEB(minimum mean brightness error bi-histogram)기법([4])이 소개되었다. Wang이 제안한 FHASABP(flattest histogram specification with accurate brightness preservation)방법([5]) 또한 입력이미지의 평균밝기를 유지하는 방법으로 이 과정에서 출력이미지의 히스토그램을 원하는 모양대로 만들어낼 수 있는 히스토그램 명세화(histogram specification) 기법이 사용된다.

히스토그램 균등화기법에 기반한 또 다른 방법으로 제안된 BUBO(bin-underflow and bin-overflow) 방법은 입력영상의 히스토그램을 지정한 최대 및 최소 범위내로 조정 후 히스토그램 균등화를 수행하는 기법이다[6]. 그 밖에도 BUBO와 유사하게 기존 입력영상의 히스토그램에 일정 변화를 가한 후 히스토그램 균등화 기법을 수행하는 HMF(histogram modification framework) 방법([7])과 화소값에 따라 클리핑을 서로 상이하게 적용하는 GC-CHE(gain-controllable clipped histogram equalization) 방법([8]) 등이 있다.

본 논문에서는 이미지의 동적영역을 인간의 시각특성을 고려하여 화소 밝기에 따라 확장 및 축소를 수행할 수 있는 Weber-Fechner 법칙을 적용한 가장 히스토그램 균등화 기법(WHEWF: Wegited Histogram Equalization adopting Weber-Fechner's Law)을 제안한다. WHEWF는 먼저 정형화된 포인트 변환함수의 단점을 보완하기 위해 입력이미지의 동적영역을 재구성하고 재구성된 동

적영역에 대해 Weber-Fechner 법칙을 적용한 변환함수를 생성한다. 이후 이렇게 생성된 변환함수와 히스토그램 균등화 기법을 통해 생성된 변환함수 사이의 가장 평 균을 구함으로써 최종적인 변환함수를 생성한다.

2. 기존의 방법

2.1 히스토그램 균등화

히스토그램 균등화 기법은 변환된 출력이미지의 히스토그램 분포가 전체 동적영역에서 균일하도록 변환하는 기법으로 데이터의 개수가 무한개인 경우 이론적으로 최대의 엔트로피를 가지는 기법이다.

먼저 입력이미지 I 가 $I \in [0, L-1]$ 의 범위에 있을 때 입력이미지의 확률밀도함수($PDF_{HE}(x_k)$)는 다음 식을 통하여 구할 수 있다.

$$PDF_{HE}(x_k) = n_k / N \quad k = 0, 1, \dots, L-1 \quad (1)$$

여기서 n_k 는 밝기 값이 x_k 인 화소수를 나타내며 N 은 입력이미지의 전체 화소수이다.

식(1)을 통해 구해진 $PDF_{HE}(x_k)$ 로부터 누적확률밀도함수($CDF_{HE}(x_k)$)는 식(2)와 같다.

$$CDF_{HE}(x_k) = \sum_{i=0}^k PDF_{HE}(x_i) = \sum_{i=0}^k n_i / N \quad (2)$$

히스토그램 균등화 기법은 식(2)의 $CDF_{HE}(x_k)$ 를 전체 동적영역으로 확장함으로써 변환함수를 생성하며 생성된 변환함수는 식(3)과 같다.

$$TF_{HE}(x_k) = (L-1) \times CDF_{HE}(x_k) \quad (3)$$

2.2 BBHE

BBHE 기법은 입력이미지의 평균값을 기준으로 이미지의 히스토그램을 분할하고 분할된 각 영역에 대해서 히스토그램 균등화 기법을 적용하는 방법이다. 먼저 입력 이미지 I 가 $I \in [0, L-1]$ 의 범위에서 분포할 때 입력 이미지의 평균 I_m 을 산정하고 산정된 I_m 을 기준으로 전체 동적영역을 평균값보다 작은 화소값을 가지는 영역 I_L 과 평균값보다 높은 화소값을 가지는 영역 I_U 으로 분할하며, 이미지 I 와 분할된 각 영역 I_L 과 I_U 사이에는 다

음 식이 성립한다.

$$I_L \cup I_U = I, \quad I_L \cap I_U = \emptyset$$

where

$$I_L \in [0, 1, \dots, I_m - 1], \quad I_U \in [I_m, I_m + 1, \dots, L - 1] \quad (4)$$

이후 분할된 각 영역에 대한 PDF를 산정하면 식 (5)와 같다.

$$PDF_{BBHE}^L(x_k) = n_k^L / N^L \quad k = 0, 1, \dots, I_m - 1$$

$$PDF_{BBHE}^U(x_k) = n_k^U / N^U \quad k = I_m, I_m + 1, \dots, L - 1 \quad (5)$$

여기서 N^L 과 N^U 는 각각 I_L 과 I_U 영역의 전체 화소수를 의미하며 n_k^L 과 n_k^U 는 각 영역에서 밝기 값이 x_k 인 화소의 개수를 의미한다.

각 영역에서의 CDF는 각 영역에서의 PDF를 이용하여 구할 수 있으며 식(6)과 같이 표현될 수 있다.

$$CDF_{BBHE}^L(x_k) = \sum_{i=0}^k PDF_{BBHE}^L(x_i) \quad k = 0, \dots, I_m - 1$$

$$CDF_{BBHE}^U(x_k) = \sum_{i=m}^k PDF_{BBHE}^U(x_i) \quad k = I_m, \dots, L - 1 \quad (6)$$

이제 BBHE 기법을 이용한 각 영역에서의 변환함수는 식 (7)과 같이 구할 수 있다.

$$TF_{BBHE}^L(x_k) = (I_m - 1) \times CDF_{BBHE}^L(x_k)$$

$$TF_{BBHE}^U(x_k) = (L - 1 - I_m) \times CDF_{BBHE}^U(x_k) \quad (7)$$

2.3 BUBO(Bin Underflow and Bin Overflow)

BUBO 방법 또한 기본적으로는 히스토그램균등화 방법에 기반하고 있기 때문에 원본 이미지의 PDF를 적분하여 구한 CDF를 스케일링한 값을 매핑에 사용할 변환함수로 사용한다는 전체적인 구조는 동일하다. 다만 식 (8)에 나타나 있는 원본 PDF가 미리 정해놓은 상한선과 하한선 안쪽에만 위치하도록 변형을 수행 한 후 매핑에 사용할 변환함수를 생성한다는 점이 다르다.

$$PDF_{BUBO}(x_k) = \begin{cases} T_{BO} & \text{for } PDF(x_k) > T_{BO} \\ T_{BU} & \text{for } PDF(x_k) < T_{BU} \\ PDF(x_k) & \text{for } T_{BU} \leq PDF(x_k) \leq T_{BO} \end{cases} \quad (8)$$

식 (8)에 사용된 T_{BO} (threshold for bin overflow)와 T_{BU} (threshold for bin underflow)의 값은 식(9)을 통해

선택할 수 있다.

$$T_{BU} = (1 - \alpha) / N, \quad T_{BO} = (1 + \alpha) / N \quad (9)$$

위의 식에 포함된 α 값은 화질 개선의 정도를 나타내는 파라미터로 만일 α 값이 0이면 PDF_{BUBO} 값은 전 영역에서 항상 동일한 값을 가짐으로써 매핑이후에도 원본 영상에 어떠한 변화도 발생하지 않으며 만일 무한대의 값을 가지는 경우 어떠한 영상의 PDF라도 상한 및 하한선 내에 포함되기 때문에 기존의 히스토그램 균등화 기법과 동일한 결과를 가져오게 된다.

3. 제안하는 알고리즘

제안하는 WHEWFL는 크게 3단계로 구성되어 있다. 가장 먼저 Weber-Fechner 법칙을 비롯하여 입력영상에 종속적(dependent)이지 않은 여러 변환방법에서 발생하는 문제점을 해결하기 위한 동적영역 재조정을 수행한다. 이후 재조정된 동적영역범위내에서 수정된 Weber-Fechner 법칙 기반 변환함수와 히스토그램 균등화를 수행하며 마지막 단계에서 이들 두 변환함수간의 가중평균값을 사용하여 최종적인 변환함수를 생성한다. 본 절에서는 제안하는 알고리즘의 요소기술로 사용되는 Weber-Fechner 법칙에 대한 설명과 함께 각 단계를 순차적으로 기술한다.

3.1 Weber-Fechner 법칙

이미지의 각 위치에서의 실제 밝기변화와 인간시각이 이를 인식하는 밝기에는 다소 차이가 발생한다. 이러한 특징은 영상화질 개선 기법에 사용될 수 있는데 대표적으로 로그변환기법과 Weber-Fechner 법칙을 이용한 변환 기법이 이에 해당한다.

Weber-Fechner 법칙은 화소의 물리적인 밝기(R)와 인간이 이를 인식하는 밝기(E) 사이의 관계식을 나타내는 것으로 식(10)와 같이 로그의 형태로 표현된다[9].

$$E = k \cdot \ln(R) + c \quad (10)$$

여기서 k , c 는 상수의 값이다. 먼저 Weber의 법칙에 따르면 밝기가 밝아지는(positive) 경우와 어두워지는 경우(negative) 이를 인식하는 심리적 인지밝기의 변위량(dV_p , dV_n)과 물리적 밝기 변위량(dx)사이에는 식 (11)

이 성립하며 여기서 x_L 과 x_U 는 각각 동적영역에서의 최솟값과 최댓값을 나타낸다.

$$\begin{aligned} dV_p &\propto dx / x - x_L \\ dV_n &\propto dx / x_U - x \end{aligned} \quad (11)$$

또한 심리적 밝기의 인식정도는 물리적 자극강도의 로그에 비례한다는 Fechner의 법칙에 따라 식(12) 또한 성립한다.

$$\begin{aligned} V_p &\propto \ln(x - x_L) \\ V_n &\propto -\ln(x_U - x) \end{aligned} \quad (12)$$

여기서 V_p 및 V_n 는 각각 밝아지는 빛의 인식정도와 어두워지는 빛의 인식정도를 나타낸다.

위의 두식을 선형조합(linear combination)하면 Weber-Fechner 법칙을 적용한 변환함수를 다음 식과 같이 구할 수 있다.

$$TF_{WF}(x) = \ln\left(\frac{x - x_L + \delta_p}{x_U - x + \delta_n}\right) \quad (13)$$

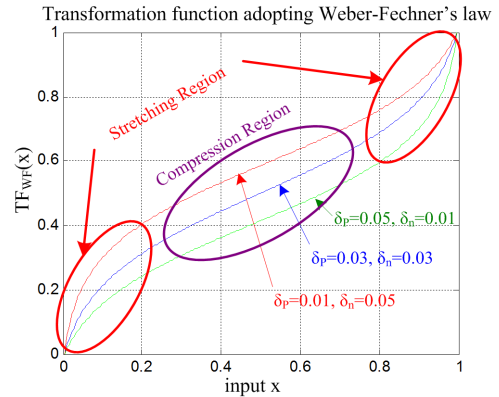
여기서 δ_p 와 δ_n 는 각각 적분상수를 의미한다.

식 (13) 중 동적영역의 최솟값과 최댓값을 각각 0과 1로 정의하고 출력의 최댓값이 1이 나오도록 정규화하면 두 적분상수 δ_p 값과 δ_n 값에 따라 그림 1과 같이 알파벳 S가 뒤집힌 형태의 모양의 변환함수를 얻을 수 있다.

Weber-Fechner 법칙을 적용한 변환함수의 모양을 살펴보면 인간 시각의 감도가 떨어지는 영역 즉 아주 어두운 영역과 아주 밝은 영역에 대해서는 동적영역의 확대를 수행하고 중간영역에 대해서는 동적영역을 축소함으로써 궁극적으로 시각적으로 전 구간에 걸쳐 균일한 대비를 가질 수 있도록 하는 것을 알 수 있다.

3.2 동적영역 재조정

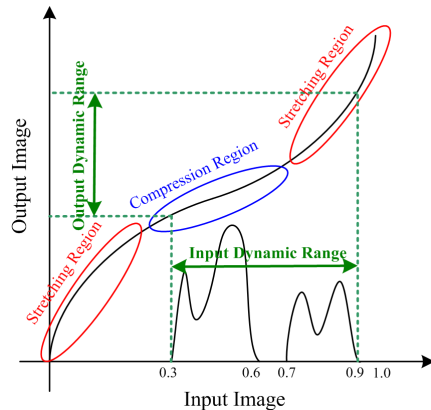
Weber-Fechner 법칙을 적용한 이미지의 변환 기법을 비롯하여 여러 변환 기법은 입력영상의 히스토그램 분포와 관계없이 항상 일정한 형태를 취하고 있다. 물론 변환에 포함된 다양한 파라미터에 따라 약간의 변화는 줄 수 있지만 동적영역의 확대 및 축소라는 큰 틀에서는 기본 형태를 유지한다. 이는 입력 이미지의 분포가 한쪽 영역 특히 동적영역이 축소되는 영역에 국한되어 있는 경우 변환된 출력영상의 대비비가 오히려 감소하는 결과를 초



[Fig. 1] Reverse-S-shape transformation function adopting Weber-Fechner's law

래할 수 있다. 예를 들어 그림 2와 같이 [0 1] 범위로 정규화된 입력 범위 중 입력영상의 히스토그램이 [0.3 0.6] 및 [0.7 0.9]에 국한되어 있는 경우 이에 대해 Weber-Fechner 법칙을 이용하면 오히려 출력영상의 동적영역이 감소하게 된다. 이는 입력영상의 대부분의 화소 분포가 동적영역을 축소하는 영역에 포함되어 있기 때문이다.

이와 같은 문제점을 해결하기 위해서 동적영역의 재조정이 필요하며 이는 입력영상에 포함되지 않는 화소값을 전체 동적영역에서 제거한 후 입력영상의 히스토그램을 재배치함을 의미한다. 이후 해당 동적영역에 대한 Weber-Fechner 법칙을 적용함으로써 출력영상에서 최대의 동적영역을 확보할 수 있게 되며 이때 식(13)은 다음과 같이 수정 될 수 있다.



[Fig. 2] Example when adopting Weber-Fechner's law

$$TF_{MWF}(x) = \ln\left(\frac{x - x_l + \delta_p}{x_u - x + \delta_n}\right) / (b - a)$$

where, (14)

$$a = \ln\left(\frac{\delta_p}{x_u - x_l + \delta_n}\right), \quad b = \ln\left(\frac{x_u - x_l + \delta_p}{\delta_n}\right)$$

그림 3은 동적영역 재조정을 통한 수정된 변환함수의 예를 나타낸다.

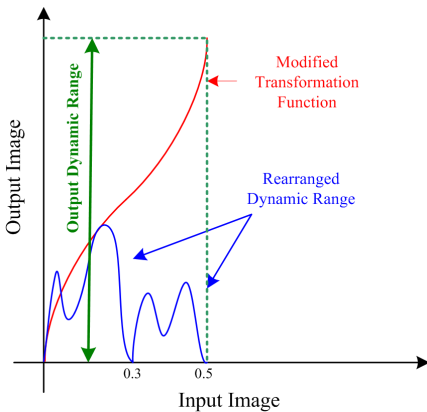
3.3 WHEWF

동적영역의 재조정 후 수정된 변환함수의 사용은 출력영상에서 사용할 수 있는 동적영역 전체의 활용을 보장한다. 하지만 여전히 입력이미지의 히스토그램에 따른 적응적 변환함수의 도출에는 한계가 있다. 따라서 WHEWF 기법은 엔트로피 관점에서 수학적으로 가장 높은 결과를 가져오는 HE 기법과의 가중 평균을 이용하여 최종적인 변환함수를 생성하며 이를 이용하여 변환을 수행함으로써 출력영상의 높은 엔트로피와 인간 시각특성을 반영하여 높은 대비비를 가지는 출력영상을 생성한다. 이를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

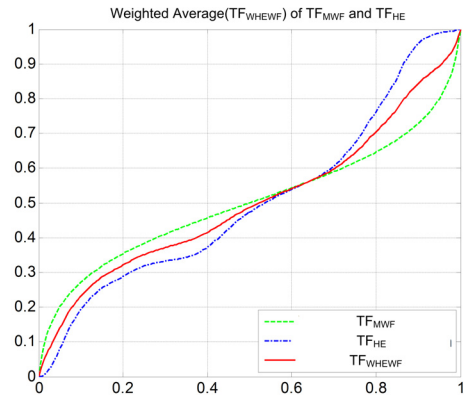
$$TF_{WHEWF}(x) = w_1 \cdot TF_{MWF}(x) + w_2 \cdot TF_{HE}(x) \quad (15)$$

식(15)에서 실험적으로 가중치의 값은 각각 0.5의 값을 가질 때 좋은 성능을 보였으며 그림 4는 이 경우 제안하는 알고리즘에서 사용될 변환함수의 모양을 도시한 예를 보이고 있다.

4. 실험결과



[Fig. 3] Example when adopting Modified Weber-Fechner's law



[Fig. 4] Example of the proposed transformation function using weighted average of modified Weber-Fechner's and histogram equalization functions

제안하는 알고리즘의 타당성 검증을 위해서 히스토그램 균등화 기법을 포함하여 BBHE, DSI, MMBEB, BUBO, FHSABP, GC-CHE, HMF 방법과의 비교평가를 수행하였다.

그림 5는 4개의 테스트영상에 대한 주관적 화질을 원본영상과 함께 나타내고 있다. 먼저 Image01의 주관적 화질 결과를 살펴보면 히스토그램 균등화 기법의 경우 어두운 배경이 밝게 보이고 있지만 상대적으로 밝은 부분이 분포되어 있는 중앙하단의 사람이 위치한 부분에서 백화현상이 뚜렷이 보이고 있음을 볼 수 있다. 다른 방법의 경우 이러한 백화현상이 축소되거나 줄어든 것을 볼 수 있지만 그로 인해 배경영상 또한 함께 어두워지는 것을 볼 수 있다. 반면 제안한 방법의 경우 기존의 히스토그램 균등화 기법의 문제점을 해결하면서도 어두운 영역의 배경까지 대비비를 높이는 것을 볼 수 있으며, 이와 같은 특징은 나머지 영상에서도 확인 할 수 있다.

표 1은 앞서 주관적 화질비교에 사용된 방법들을 통해 변환된 결과영상에서의 엔트로피를 보이고 있다. 이론적으로 히스토그램 균등화기법이 가장 높은 값을 가지지만 이는 데이터의 개수가 무한개인 경우에 해당하며, 실험 결과 제안하는 방법을 통해 변환된 출력 이미지의 엔트로피가 다른 방법들 보다 유사하거나 높게 나타났음을 볼 수 있다.



(a) Image01



(b) Image02



(d) Image03



(f) Image04

[Fig. 5] Comparison of subjectivity quality, origin, HE, BBHE, DSI, MMBEB, BUBO, FHSABP, GC-CHE, HMF, and proposed WHEWF from left to right and from top to bottom.

[Table 1] Entopy comparison of conventional methods and the proposed WHEWF

Spec.	Image01	Image02	Image03	Image04	Average
Origin	5.71	4.58	6.44	5.72	5.61
HE	6.21	4.79	7.57	7.18	6.44
BBHE	5.93	4.70	7.07	6.55	6.06
DSI	6.16	4.85	7.42	6.97	6.35
MMBEB	5.83	4.65	7.02	6.52	6.01
BUBO	6.11	4.82	7.21	6.52	6.17
FHSABP	5.77	5.24	7.16	6.49	6.17
GC-CHE	6.34	4.84	7.32	6.93	6.36
HMF	6.35	5.00	7.31	6.93	6.40
WHEWF	5.16	6.53	7.60	7.51	6.70

5. 결론

여러 가지 요인으로 생성된 저화질의 영상을 개선하기 위해서 본 논문에서는 Weber-Fechner 법칙을 적용하여 인간의 시각특성을 반영함으로써 효과적인 개선기법을 제안하였으며 이 과정에서 입력 이미지에 독립적인 변환기법이 가지는 단점을 최소화하기 위해 동적영역제조정 기법을 사용하였으며 이후 기존의 히스토그램 균등화 기법과의 가중 평균을 사용하여 각 방법에 대한 단점을 보완하도록 하였다.

실험결과 기존의 여러 방법들과 비교하여 유사하거나 높은 주관적 화질을 보이는 것을 알 수 있었으며 출력영상의 엔트로피 또한 비교에 사용된 다른 방법과 비교하여 높은 것을 알 수 있었다.

References

[1] R. C. Gonzalez and R. E. Wood, *Digital Image Processing*, 2nd ed., pp. 75 - 146, Prentice Hall, 2002.

[2] Y. T. Kim, "Contrast enhancement using brightness preserving bi-histogram equalization," *IEEE Trans. Consumer Electronics*, vol.43, no.1, pp. 1-8, Feb., 1997. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/30.580378>

[3] Y. Wan, Q. Chen, and B. M. Zhang, "Image enhancement based on equal area dualistic sub-image histogram equalization method," *IEEE Trans. Consumer Electronics*, vol.45, no.1, pp.68 - 75, Feb., 1999.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/30.754419>

[4] S. Chen and A. Ramli, "Minimum mean brightness error bi-histogram equalization in contrast enhancement," *IEEE Trans. Consumer Electronics*, vol.49, no.4, pp.1310-1319, Nov., 2003. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TCE.2003.1261234>

[5] C. Wang, J. Peng, and Z. Ye "Flattest histogram specification with accurate brightness preservation," *IEEE Trans. Image Processing*, vol.2, no. 5, pp.249 - 262, Oct. 2008. DOI: <http://dx.doi.org/10.1049/iet-ipr:20070198>

[6] S. Yang, J. H. Oh, and Y. Park, "Contrast enhancement using histogram equalization with bin underflow and bin overflow," *IEEE Conference on Image Processing*, vol.1, pp. 881-884, Sept. 2003.

[7] T. Arici, S. Dikbas, and Y. Altunbasak, "A histogram modification framework and its application for image contrast enhancement," *IEEE Trans. Image Processing*, vol.18, no.9, pp.1921 - 1935, Sept., 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TIP.2009.2021548>

[8] T. Kim and J. Paik, "Adaptive Contrast Enhancement Using Gain-Controllable Clipped Histogram Equalization," *IEEE Trans. Consumer Electronics*, vol.54, no.4, Nov., 2008. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TCE.2008.4711238>

[9] K. Murakoshi, M. Miura, "Image correction method for the colour contrast effect using inverse processes of the brain," *ELSEVIER Trans. BioSystems*, vol.101, pp.162 - 165, Sept., 2003. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biosystems.2010.06.004>

김 동 형(Donghyung Kim)

[정회원]



- 1999년 2월 : 충북대학교 전자공학과 (공학사)
- 2001년 8월 : 충북대학교 전자공학과 (공학석사)
- 2007년 2월 : 한양대학교 전자통신전파공학과 (공학박사)
- 2007년 6월 ~ 2008년 8월 : 한국전자통신연구원(ETRI) 선임연구원
- 2008년 9월 ~ 2011년 2월 : 한라대학교 정보통신방송공학부 전임강사
- 2011년 3월 ~ 현재 : 한양여자대학교 컴퓨터정보과 조교수

<관심분야>
영상처리, 멀티미디어통신, 영상압축