

지역 최빈값과 가중치에 기반한 히스토그램 평활화

*방호진 **이정현 ***정제창

*한양대학교 융합전자공학부

*yahoo4681@gmail.com

요약

본 논문에서는 지역 최빈값과 가중치를 이용하여 새로운 히스토그램 평활화 방법을 제안한다. 여러 개의 평균명도값을 사용하여 히스토그램을 분할하는 기존 방식과는 달리 지역 최빈값과 전체 평균명도값을 사용하여 히스토그램을 분할한다. 지역 최빈값 산출 과정에서 지역의 범위를 조정할 수 있어 융통성 있는 히스토그램 분할 처리가 가능하다. 또한 히스토그램 분할 영역을 가중치에 기반해 새로운 영역의 히스토그램으로 분할한다. 해당 방법을 통해 발생빈도가 높은 명도의 과도한 변화 없이 화질개선 면에서 기존 히스토그램 평활화보다 좋은 효과를 얻을 수 있다. 다양한 크기와 히스토그램 분포를 가지는 영상을 대상으로 실험한 결과, 기존 히스토그램 평활화보다 광범위하게 사용될 수 있음을 확인하였고 특히 한쪽으로 치우쳐진 영상에 있어 더욱 효과적임을 알 수 있었다.

1. 서론

최근 언제 어디서나 원하는 사물의 영상을 쉽게 촬영할 수 있게 되었으며 영상 속 사물을 인식하는 기술인 컴퓨터 비전 또한 많이 사용되고 있다. 컴퓨터 비전을 원활히 사용하기 위해서는 저화질인 경우 화질을 높일 필요성이 있으며 대표적인 방법으로는 히스토그램 평활화가 있다. 히스토그램은 많은 공간 도메인 처리 기법들을 위한 기초이며 히스토그램 조작을 통해 영상 개선에 사용될 수 있다. [1] 단순한 누적분포함수를 사용하는 기존 히스토그램 평활화(BHE, Basic Histogram Equalization)는 변환 후 출력 영상의 밝기가 과도하게 변하는 단점이 있다. 원본의 히스토그램은 명도의 분포에 따라 가파르거나 완만한 기울기를 가지는 구역이 있다. BHE는 기울기가 가파른 구역에서는 밝기의 변화가 크고 기울기가 완만한 구역에서는 밝기의 변화가 작아 오히려 화질이 떨어지는 문제가 발생한다.

BHE의 문제를 해결하기 위해 기존 히스토그램을 여러 개의 서브히스토그램으로 분할한 뒤 각 서브히스토그램을 독립적으로 평활화하는 두 가지 방법이 있다. 첫째, 서브히스토그램을 분할하는 기준으로 평균명도값을 사용하는 방법이 있다. 2개의 서브히스토그램을 사용하면 BBHE (Brightness preserving Bi-Histogram Equalization) [2], 서브히스토그램 개수를 확장하여 2ⁿ개를 사용하면 RMSHE (Recursive Mean-Separate Histogram Equalization) [3] 이다. 둘째, 서브히스토그램을 분할하는 기준으로 중앙값을 사용하는 방법이 있다. 2개의 서브히스토그램을 사용하면 DSIHE (Dualistic Sub-Image Histogram Equalization) [4], 서브히스토그램 개수를 확장하여 2ⁿ개를 사용하면 RSIHE (Recursive Mean-Separate Histogram Equalization) [5] 이다.

그러나 서브히스토그램 분할 횟수가 증가할수록 출력 영상의 전체 평균명도값은 입력 영상의 전체 평균명도값과 비슷해지지만 화질 개선 효과는 점점 줄어드는 단점이 있다. 또한 평균명도값이나 중간값을 히스토그램을 분할하는 기준으로 사용할 시 히스토그램 평활화 변환함수가 발생빈도가 높은 명도 구역에서 가파른 기울기를 가지는 문제점은 여전히 존재한다.

따라서 본 논문에서는 위에서 언급한 문제들을 해결하기 위해 새로운 방법을 제안한다. 첫째, 입력 영상의 명도값의 실질적인 최솟값과 최댓값을 정해 히스토그램 평활화를 적용할 범위를 정한다. 즉, 특정 빈도수보다 낮은 빈도를 가

지는 명도값들은 평활화를 적용시킬 범위에 포함시키지 않는다. 둘째, 입력 영상의 전체 평균명도값과 지역 최빈값을 기준으로 히스토그램을 분할한다. 셋째, 분할된 각 서브히스토그램이 차지하는 확률밀도 값에 따라 가중치를 부여하여 각 서브히스토그램을 새로운 영역으로 분할한다. 마지막으로, 각 영역에서 독립적으로 평활화를 실행한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 히스토그램 평활화에 관한 관련 연구를 설명한다. 제 3장에서는 제안 방법에 대하여 자세히 설명한다. 제 4장에서는 실험결과와 결론을 기술한다.

2. 관련 연구

2-1 Basic Histogram Equalization

L개의 명도값 $\{X_0, X_1, \dots, X_{L-1}\}$ 으로 구성된 영상 $\mathbf{X} = X(i, j)$ 를 생각하자. 보통 우리는 8bit의 영상을 많이 다루므로 X_0 은 0, X_{L-1} 은 255를 주로 나타낸다. $X(i, j)$ 는 화소 위치 (i, j) 에서의 명도값을 나타내며, $\{X_0, X_1, \dots, X_{L-1}\}$ 중의 한 값을 갖는다. 영상 \mathbf{X} 의 히스토그램 $h_{\mathbf{X}}(\cdot)$ 은 식(1)과 같이 정의된다. 식(1)에서 n_k 는 입력 영상에서 명도값 X_k 를 가지는 화소의 개수를 뜻한다.

$$h_{\mathbf{X}}(X_k) = n_k \quad (\text{for } X_0 \leq X_k \leq X_{L-1}) \quad (1)$$

이제 $h_{\mathbf{X}}(\cdot)$ 를 이용한 영상 \mathbf{X} 의 확률밀도함수 (PDF : Probability Density Function)는 식(2)와 같이 표현된다. 식 2에서 n 은 영상 \mathbf{X} 의 전체 화소 수를 나타낸다. 즉, 영상 \mathbf{X} 의 size가 $p \times q$ 라면 $n = p \times q$ 이다.

$$p_{\mathbf{X}}(X_k) = \frac{n_k}{n} \quad (2)$$

$p_{\mathbf{X}}(X_k)$ 을 이용한 영상 \mathbf{X} 의 누적분포함수 (CDF : Cumulative Density Function)는 식(3)과 같이 표현된다.

$$c_{\mathbf{X}}(X_k) = \sum_{j=X_0}^{X_k} p_{\mathbf{X}}(j) \quad (3)$$

히스토그램 평활화는 우선 식(3)에서 구한 CDF를 사용하여 식 (4)와 같은 변환함수 $f(x)$ 를 구한다. 이후 식(4)를 사용하여 입력 명도값을 알맞은 출력 명도값으로 매핑함으로써 이루어진다. 출력 영상 \mathbf{Y} 는 식(5)와 같이 나타난다.

$$f(x) = X_0 + (X_{L-1} - X_0) \cdot c_{\mathbf{X}}(x) \quad (4)$$

(for $X_0 \leq x \leq X_{L-1}$)

$$\mathbf{Y} = f(\mathbf{X}) = f(X(i,j)) \forall X(i,j) \in \mathbf{X} \quad (5)$$

하지만 BHE는 빈도가 높은 명도값 부근에서 변환 후의 출력 영상의 밝기가 과도하게 변하는 단점이 있다. 또한 입력 영상의 평균명도값과 상관없이 식(6)에서와 같이 출력 영상 \mathbf{Y} 의 평균명도값은 항상 일정한 값이 된다.

$$\begin{aligned} E(\mathbf{Y}) &= \int_{X_0}^{X_{L-1}} x \cdot p_{\mathbf{Y}}(x) dx \\ &= \int_{X_0}^{X_{L-1}} x \cdot \frac{1}{X_{L-1} - X_0} dx \\ &= \frac{X_{L-1} + X_0}{2} \end{aligned} \quad (6)$$

2-2 Recursive Mean-Separate Histogram Equalization

BHE의 단점을 보완하기 위해 입력 영상의 히스토그램을 평균명도값을 기준으로 반복적으로 분할하여 각 서브히스토그램을 독립적으로 평활화하는 방법이다. 예를 들어, 반복하는 분할 횟수를 2회라고 하자. 그렇다면 분할된 서브히스토그램의 개수는 $2^2=4$ 개가 되고 식(7)에서 각 서브이미지 $\mathbf{X}_{LL}, \mathbf{X}_{LU}, \mathbf{X}_{UL}, \mathbf{X}_{UU}$ 로 분할된다. 이 때, 분할 기준이 되는 값들이 바로 평균명도값이며 식(8)의 X_m, X_{ml}, X_{mu} 라 표현한다. 식(8)에서 사용하는 $p_{\mathbf{X}}(x)$ 은 식(2)와 같다.

$$\begin{aligned} \mathbf{X} &= \mathbf{X}_{LL} \cup \mathbf{X}_{LU} \cup \mathbf{X}_{UL} \cup \mathbf{X}_{UU} \\ \mathbf{X}_{LL} &= \{X(i,j) | X_0 \leq X(i,j) \leq X_m, \forall X(i,j) \in \mathbf{X}\}, \\ \mathbf{X}_{LU} &= \{X(i,j) | X_m < X(i,j) \leq X_{ml}, \forall X(i,j) \in \mathbf{X}\}, \\ \mathbf{X}_{UL} &= \{X(i,j) | X_m < X(i,j) \leq X_{mu}, \forall X(i,j) \in \mathbf{X}\}, \\ \mathbf{X}_{UU} &= \{X(i,j) | X_{mu} < X(i,j) \leq X_{L-1}, \forall X(i,j) \in \mathbf{X}\} \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} X_m &= \int_{X_0}^{X_{L-1}} x \cdot p_{\mathbf{X}}(x) dx, \\ X_{ml} &= \frac{\int_{X_0}^{X_m} x \cdot p_{\mathbf{X}}(x) dx}{\int_{X_0}^{X_m} p_{\mathbf{X}}(x) dx}, \\ X_{mu} &= \frac{\int_{X_m}^{X_{L-1}} x \cdot p_{\mathbf{X}}(x) dx}{\int_{X_m}^{X_{L-1}} p_{\mathbf{X}}(x) dx} \end{aligned} \quad (8)$$

식(7)에 나타난 영역에 대해서 독립적으로 히스토그램 평활화를 실행하는 방법이 $n=2$ 인 RMSHE (Recursive Mean-Separate Histogram Equalization)가 된다. RMSHE는 평균명도값은 많이 보존할 수 있지만 여전히 빈도가 높

은 명도값 주변에서 과도한 밝기 변화가 발생하는 문제가 존재한다.

2-3 Recursively Separated and Weighted Histogram Equalization [6]

RMSHE의 단점을 보완하기 위해 가중치를 사용한 방법이다. 히스토그램 분할 영역은 식(7)과 같고 식(8)의 값을 이용하여 구한 영역별 가중치는 식(9)와 같다.

$$\begin{aligned} w_{LL} &= \sum_{x=X_0}^{X_m} p_{\mathbf{X}}(x), \quad w_{LU} = \sum_{x=X_{ml}+1}^{X_m} p_{\mathbf{X}}(x), \\ w_{UL} &= \sum_{x=X_{m+1}}^{X_{mu}} p_{\mathbf{X}}(x), \quad w_{UU} = \sum_{x=X_{mu+1}}^{X_{L-1}} p_{\mathbf{X}}(x), \end{aligned} \quad (9)$$

입력 영상의 PDF인 식(2)에 영역별 가중치와 power-law 함수를 적용하여 얻게 된 새로운 PDF $p_{RSW}(x)$ 는 식(10)과 같이 계산된다.

$$p_{RSW_k}(x) = \left(\frac{p_{\mathbf{X}}(x) - p_l}{p_u - p_l} \right)^{w_k} * p_u + \alpha, \quad (10)$$

(for $k = LL, LU, UL, UU$)

식(10)에서 p_l 과 p_u 은 각각 입력 영상 PDF에서 최소 확률값과 최대 확률값을 뜻한다. α 는 0과 1사이의 임의의 상수이며, α 값이 증가함에 따라 $p_{RSW}(x)$ 는 점점 균일한 분포를 가지게 된다.

식(7)에서 나타난 영역에 대해서 정7화한 식(10)의 $p_{RSW}(x)$ 를 이용해 독립적으로 히스토그램 평활화하는 방법이 RSWHE (Recursively Separated and Weighted Histogram Equalization)이 된다. RSWHE는 빈도가 높은 명도값 주변에서 과도한 밝기 변화가 일어나지 않는 장점이 있지만 명도값이 한 쪽으로 치우친 영상에 대해서는 제 기능을 발휘하기 어려운 문제가 존재한다.

3. 제안 방법

3-1 히스토그램의 영역 설정

관련 연구에서는 평활화 영역을 입력 영상의 히스토그램 분포와 상관없이 항상 $[X_0, X_{L-1}]$ 로 일정하였다. 하지만 여러 영상의 히스토그램을 살펴본 결과 실제 X_0, X_{L-1} 주변에 명도값을 가지는 화소수가 많지 않음을 알 수 있었다. 제안 방법에서는 이러한 부분을 무시함으로써 히스토그램 평활화가 효과적으로 이루어지게 한다.

예를 들어, X_0, X_{L-1} 부근에서 PDF값이 0.2%내외를 가지는 명도값에 대해서는 평활화하지 않는다고 하자. X_0 부터 시작하여 두 번째로 PDF값이 0.2%이상인 명도값을 X_{min} , X_{L-1} 부터 거꾸로 두 번째로 PDF값이 0.2%이상인 명도값을 X_{max} 로 설정한다. 두 번째로 0.2%이상인 값으로 설정하는 이유는 영상과 관계없는 노이즈 혹은 전체 최빈값만 X_0 과 X_{L-1} 부근에서 홀로 나타날 수 있기 때문이다. 즉, 제안하는 방법에서는 평활화를 실행할 영역을 새로운 영역 $[X_{min}, X_{max}]$ 로 설정한다.

$x = X_k$	X_0	X_1	X_2	X_3	...	X_{21}	X_{22}
$p_{\mathbf{X}}(x)$	0.0001	0.0005	0.0021	0.0005	...	0.0008	0.008

표1. 한 입력 영상 \mathbf{X} 의 PDF $p_{\mathbf{X}}(x)$

예를 들어, 표1에서 본다면 $X_{min} = X_{22}$ 가 되는 것이다. X_{max} 에 대해서도 X_{L-1} 부터 내림차순으로 확인하여 같은 방법으로 설정한다.

3-2 히스토그램 분할 기준 설정

제안 방법에서는 히스토그램 분할 기준을 지역 최빈값과 전체 평균명도값으로 설정한다. 지역 최빈값을 기준으로 삼기 때문에 기준이 되는 값은 변환함수에 영향을 미치지 않는다. 따라서 빈도가 높은 명도값의 과도한 변화를 1차적으로 막을 수 있다. 그리고 입력 영상의 히스토그램을 보고 어떻게 평활화될 것인지 가지적으로도 쉽게 파악할 수 있는 장점이 있다.

전체 평균명도값 X_m 은 지역 최빈값만으로는 기준을 설정하기 어려운 경우를 대비해 사용한다. 예를 들어, 어떤 입력 영상의 히스토그램에서 지역 최빈값 2개가 각각 양 옆으로 치우쳐 있을 수 있다. 이 때 또 하나의 기준 X_m 을 사용함으로써 이 문제를 보완할 수 있다.

하나의 상황을 가정하자. 어떤 입력 영상의 히스토그램의 평균명도값 X_m 과 지역 최빈값 2개 X_{LP1}, X_{LP2} 가 있고 $X_{LP1} < X_m < X_{LP2}$ 라 하자. 즉, 입력 영상은 3-1에서 구한 X_{min}, X_{max} 과 X_{LP1}, X_m, X_{LP2} 을 기준으로 식(12)와 같이 6개의 서브이미지로 분할된다.

$$X_m = \int_{X_{min}}^{X_{max}} x \cdot p_{\mathbf{X}}(x) dx / \int_{X_{min}}^{X_{max}} p_{\mathbf{X}}(x) dx \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \mathbf{X} &= \mathbf{X}_{SUB1} \cup \mathbf{X}_{SUB2} \cup \mathbf{X}_{SUB3} \cup \mathbf{X}_{SUB4} \cup \mathbf{X}_{SUB5} \cup \mathbf{X}_{SUB6} \\ &\cup \{X_{min}, X_{LP1}, X_m, X_{LP2}, X_{max}\} \\ \mathbf{X}_{SUB1} &= \{X(i,j) | X_0 \leq X(i,j) < X_{min}, \forall X(i,j) \in \mathbf{X}\}, \\ \mathbf{X}_{SUB2} &= \{X(i,j) | X_{min} < X(i,j) < X_{LP1}, \forall X(i,j) \in \mathbf{X}\}, \\ \mathbf{X}_{SUB3} &= \{X(i,j) | X_{LP1} < X(i,j) < X_m, \forall X(i,j) \in \mathbf{X}\}, \\ \mathbf{X}_{SUB4} &= \{X(i,j) | X_m < X(i,j) < X_{LP2}, \forall X(i,j) \in \mathbf{X}\}, \\ \mathbf{X}_{SUB5} &= \{X(i,j) | X_{LP2} < X(i,j) < X_{max}, \forall X(i,j) \in \mathbf{X}\}, \\ \mathbf{X}_{SUB6} &= \{X(i,j) | X_{max} < X(i,j) \leq X_{L-1}, \forall X(i,j) \in \mathbf{X}\} \end{aligned} \quad (12)$$

3-3 히스토그램의 새로운 영역 할당

식(12)의 입력 영상 \mathbf{X} 의 부분 영역을 각각 출력 영상 \mathbf{Y} 의 부분 영역 $\mathbf{Y}_{SUB1} \sim \mathbf{Y}_{SUB6}$ 으로 매핑한다. 우선 3-1에서 구한 입력 영상의 히스토그램 영역 $[X_{min}, X_{max}]$ 을 $[Y_{min}, Y_{max}]$ 로 재할당한다. 제안 방법에서는 식(13)을 사용한다.

$$Y_{min} = \frac{X_{min}}{2}, \quad Y_{max} = \frac{X_{L-1} + X_{max}}{2} \quad (13)$$

식(13)을 사용함으로써 전체적인 명도의 지나친 변화 없이 너무 어둡거나 밝은 명도값에 대해서는 확실한 화질 개선의 효과가 나타남을 기대할 수 있다.

히스토그램 평활화하는 영역 내에서 빈도가 높은 명도값의 과도한 변화를 막기 위해 가중치를 사용한다. 이 때 사용하는 가중치 w_1, w_2, w_3, w_4 로는 입력 영상 $[X_{min}, X_{max}]$ 범위 내에서 분할한 각 서브히스토그램이 차지하는 확률 밀도값을 이용한다. 각 가중치는 식(14)에 표현하였다.

$$\begin{aligned} w_1 &= \sum_{x=X_{min}+1}^{X_{LP1}-1} p_{\mathbf{X}}(x), \quad w_2 = \sum_{x=X_{LP1}+1}^{X_m-1} p_{\mathbf{X}}(x), \\ w_3 &= \sum_{x=X_m+1}^{X_{LP2}-1} p_{\mathbf{X}}(x), \quad w_4 = \sum_{x=X_{LP2}+1}^{X_{max}-1} p_{\mathbf{X}}(x) \end{aligned} \quad (14)$$

$$w = w_1 + w_2 + w_3 + w_4 < 1 \quad (15)$$

식(14), 식(15)를 이용한 새로운 기준 Y_{LP1}, Y_m, Y_{LP2} 는 식(18)에 표현하였다. 식(15)의 w 를 각 가중치에 지수로 사용함으로써 빈도가 높은 명도값에 대해서는 여전히 보다 넓은 영역을 차지하지만 낮은 PDF값을 가진 화소들이 차지하는 영역이 상대적으로 넓어지는 효과를 볼 수 있다. 즉, 빈도가 높은 명도값의 과도한 변화는 막고 빈도가 낮은 명도값에 대해서는 실질적인 화질 개선 효과를 볼 수 있다. 식(18)은 같은 효과이지만 RSWHE에서 입력 영상의 PDF를 변환해 새로운 PDF를 구하는 과정보다 간단하다.

$$w'_k = w_k^w \quad (for \ k = 1, 2, 3, 4) \quad (16)$$

$$w_{Nk} = \frac{w'_k}{\sum_{n=1}^4 w'_k} \quad (for \ k = 1, 2, 3, 4) \quad (17)$$

$$\begin{aligned} Y_{LP1} &= Y_{min} + (Y_{max} - Y_{min}) \cdot w_{N1} \\ Y_m &= Y_{LP1} + (Y_{max} - Y_{min}) \cdot w_{N2} \\ Y_{LP2} &= Y_m + (Y_{max} - Y_{min}) \cdot w_{N3} \end{aligned} \quad (18)$$

마지막으로 식(13)과 식(18)을 이용하여 식(19)와 같이 출력 영상 \mathbf{Y} 를 6개의 새로운 서브이미지로 분할한다.

$$\begin{aligned} \mathbf{Y} &= \mathbf{Y}_{SUB1} \cup \mathbf{Y}_{SUB2} \cup \mathbf{Y}_{SUB3} \cup \mathbf{Y}_{SUB4} \cup \mathbf{Y}_{SUB5} \cup \mathbf{Y}_{SUB6} \\ &\cup \{Y_{min}, Y_{LP1}, Y_m, Y_{LP2}, Y_{max}\} \\ \mathbf{Y}_{SUB1} &= \{Y(i,j) | X_0 \leq Y(i,j) < Y_{min}, \forall Y(i,j) \in \mathbf{Y}\}, \\ \mathbf{Y}_{SUB2} &= \{Y(i,j) | Y_{min} < Y(i,j) < Y_{LP1}, \forall Y(i,j) \in \mathbf{Y}\} \\ \mathbf{Y}_{SUB3} &= \{Y(i,j) | Y_{LP1} < Y(i,j) < Y_m, \forall Y(i,j) \in \mathbf{Y}\} \\ \mathbf{Y}_{SUB4} &= \{Y(i,j) | Y_m < Y(i,j) < Y_{LP2}, \forall Y(i,j) \in \mathbf{Y}\} \\ \mathbf{Y}_{SUB5} &= \{Y(i,j) | Y_{LP2} < Y(i,j) < Y_{max}, \forall Y(i,j) \in \mathbf{Y}\} \\ \mathbf{Y}_{SUB6} &= \{Y(i,j) | Y_{max} < Y(i,j) \leq X_{L-1}, \forall Y(i,j) \in \mathbf{Y}\} \end{aligned} \quad (19)$$

3-4 히스토그램 평활화

식(12)와 식(19)의 관계를 고려하여 각각 독립적으로 히스토그램 평활화를 진행한다. 단 입력 영상에서 기준이 되는 $X_{min}, X_{LP1}, X_m, X_{LP2}, X_{max}$ 의 명도값은 각각 $Y_{min}, Y_{LP1}, Y_m, Y_{LP2}, Y_{max}$ 로 변환하고 나머지 영역에 대해서만 히스토그램 평활화를 실행한다.

$$\begin{aligned} c_{\mathbf{X}_{SUB2}} &= \sum_{j=X_{min}+1}^{X_{LP1}-1} p_{\mathbf{X}}(j), \quad c_{\mathbf{X}_{SUB3}} = \sum_{j=X_{LP1}+1}^{X_m-1} p_{\mathbf{X}}(j) \\ c_{\mathbf{X}_{SUB4}} &= \sum_{j=X_m+1}^{X_{LP2}-1} p_{\mathbf{X}}(j), \quad c_{\mathbf{X}_{SUB5}} = \sum_{j=X_{LP2}+1}^{X_{max}-1} p_{\mathbf{X}}(j) \end{aligned} \quad (20)$$

$$\begin{aligned} f_{SUB1}(x) &= x/2 \quad (for \ X_0 \leq x < X_{min}) \\ f_{SUB2}(x) &= Y_{min} + 1 + (Y_{LP1} - Y_{min} - 2) \cdot c_{\mathbf{X}_{SUB2}} \\ &\quad (for \ X_{min} < x < X_{LP1}) \\ f_{SUB3}(x) &= Y_{LP1} + 1 + (Y_m - Y_{LP1} - 2) \cdot c_{\mathbf{X}_{SUB3}} \\ &\quad (for \ X_{LP1} < x < X_m) \\ f_{SUB4}(x) &= Y_m + 1 + (Y_{LP2} - Y_m - 2) \cdot c_{\mathbf{X}_{SUB4}} \\ &\quad (for \ X_m < x < X_{LP2}) \end{aligned} \quad (21)$$

$$f_{SUB5}(x) = Y_{LP2} + 1 + (Y_{max} - Y_{LP2} - 2) \cdot c_{X_{SUB5}} \quad (\text{for } X_{LP2} < x < X_{max})$$

$$f_{SUB6}(x) = \frac{X_{L-1} + x}{2} \quad (\text{for } X_{max} < x \leq X_{L-1})$$

$$Y = f_{SUB1}(x) \cup f_{SUB2}(x) \cup f_{SUB3}(x) \cup f_{SUB4}(x) \cup f_{SUB5}(x) \cup f_{SUB6}(x) \cup \{Y_{min}, Y_{LP1}, Y_m, Y_{LP2}, Y_{max}\} \quad (22)$$

4. 실험 결과와 결론

본 논문에서는 제안 방법을 효율적으로 비교하기 위해 명도값이 한 쪽으로 치우쳐진 영상에 대해 기존 여러 가지 히스토그램 평활화를 함께 실행하였다.

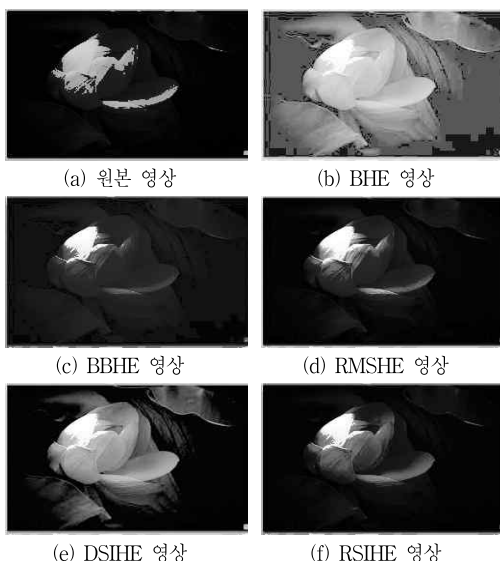
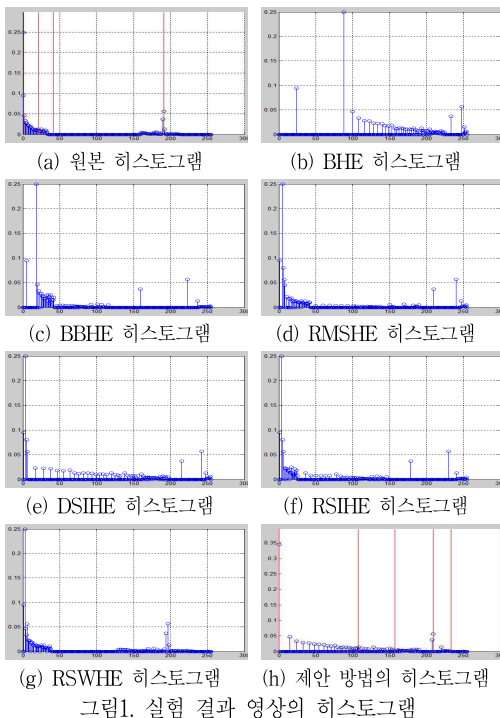


그림1-(a)에서의 빨간 선은 $X_{min}, X_{LP1}, X_m, X_{LP2}, X_{max}$ 를 그림1-(h)에서의 빨간 선은 $Y_{min}, Y_{LP1}, Y_m, Y_{LP2}, Y_{max}$ 를 나타낸다.

그림2를 통해 7가지 히스토그램 평활화 방법 중 제안 방법 영상에서 화질 개선 효과가 제일 크다는 점을 알 수 있다. 그림2-(b)는 영상의 윤곽이 드러났으나 평균 명도값이 지나치게 밝아지는 문제가 있다. 그림2-(c),(d),(f),(g)는 전체 평균명도값을 너무 보존하려고 한 나머지 히스토그램 평활화를 했음에도 전체적으로 어둡거나 꽃 주변의 잎사귀를 선명히 표현하지 못한 문제가 있다. 제안 방법인 그림2-(h)는 꽃과 잎사귀를 정확히 표현하였으며 그림2-(e)에서 표현하지 못한 영상 좌측 하단과 하측, 우측 잎사귀를 더 많이 표현하였다.

원본 영상의 화질이 좋을 경우 제안 방법의 효과는 미비하지만 애초에 화질이 좋은 영상을 히스토그램 평활화하는 것은 합목적이지 않다. 하지만 그림2-(a)와 같이 명암도가 한 쪽으로 치우쳐진 여러 가지 영상에 대해서 제안 방법은 기존 히스토그램 평활화보다 주관적 화질개선 면에서 우수한 성능을 보였다. 과도한 명암 변화가 없었으며 원본 영상에서 알아보기 힘든 부분적 요소들의 표현 범위가 기존 평활화보다 넓은 장점을 가졌다.

감사의 글

이 논문은 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (NRF-2015R1A2A2A01006004)

참고 문헌

- [1] Rafael C.Gonzalez and Richard E.Woods, "Digital Image Processing" (3rd edition)
- [2] Y.T.Kim, "Contrast Enhancement using Brightness Preserving Bi-Histogram Equalization", IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol.43, No.1, pp.1-8, Feb.1997
- [3] S.Chen and A. R. Ramli, "Contrast Enhancement using Recursive Mean-Separate Histogram Equalization for Scalable Brightness Preservation", IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol.49,pp.1301-1309,Nov.2003.
- [4] Y.Wang, Q.Chen, and B. M. Zhang, "Image Enhancement based on Equal Area Dualistic sub-Image Histogram Equalization Method", IEEE Transaction on Consumer Electronics, Vol.45, No.1,pp68-75, Feb. 1999
- [5] K. S. Sim, C, P, Tso, and Y. Y. Tan, "Recursive sub-image histogram equalization applied to gray scale images", Patter Recognition Letters, Vol.28,NO.10,pp.1209-1221, Feb.2007.
- [6] 김매리, 정민교, "히스토그램 분할과 가중치에 기반한 영상 콘트라스트 향상 방법" 한국 인터넷 정보학회 (10권3호) 2008년