

논문 2009-46SC-1-2

# 밀도기반의 분할된 히스토그램 평활화를 통한 대비 향상 기법

## ( Contrast Enhancement Using a Density based Sub-histogram Equalization Technique )

윤현섭\*, 한영준\*\*, 한헌수\*\*

( Hyunsup Yoon, Youngjoon Han, and Hernsoo Hahn )

### 요약

영상에서 밝기의 분포가 밀집된 영역에 포함되는 특징은 구분이 어렵다. 이러한 문제의 해결을 위해 전역 혹은 지역 명암대비 향상기법을 사용하게 되며 주로 히스토그램의 평활화 기법이 적용된다. 기존의 전역 명암대비 향상기법을 적용하는 경우 밝기 밀집 정도를 고려하지 않아서 지나치게 밝거나 너무 어두운 값으로 변환하는 문제를 만들고, 지역 명암대비 향상기법은 결과 영상에서 특징을 분리해버리거나 밝기분포의 불규칙성으로 인해 부자연스러운 영상을 만들어내는 결과를 보여주기도 한다. 본 논문은 이러한 문제를 해결하기 위해 히스토그램을 밀집정도를 기준으로 분할하고, 각 분할된 히스토그램의 평활화 범위를 분할영역의 평균과 분산을 고려하여 결정하는 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 평활화를 밀집영역의 밝기범위와 밀집정도를 고려하여 평활화하는 최고 및 최저 밝기를 결정함으로써 지나친 밝기의 변화를 최소화하고, 밀도가 낮은 나머지 영역들에 대해 분리된 평활화를 수행함에 따라 이들 영역의 특징들이 사라지지 않고 향상시키는 효과를 거둘 수 있다. 히스토그램의 분할 및 평활화 범위를 결정하는 방법도 본 논문에서 제시되었다. 제안된 방법의 성능의 우수성은 다양한 밝기 영역을 갖는 실험영상들을 대상으로 기존의 방법들과 비교실험을 통해 입증하였다.

### Abstract

In order to enhance the contrast in the regions where the pixels have similar intensities, this paper presents a new histogram equalization scheme. Conventional global equalization schemes over-equalize those regions so that too bright or dark pixels are resulted and local equalization schemes produce unexpected discontinuities at the boundaries of the blocks. The proposed algorithm segments the original histogram into sub-histograms with reference to brightness level and equalizes each sub-histogram with the limited extents of equalization considering its mean and variance. The final image is determined as the weighted sum of the equalized images obtained by using the sub-histogram equalizations. By limiting the maximum and minimum ranges of equalization operations on individual sub-histograms, the over-equalization effect is eliminated. Also the result image does not miss feature information in low density histogram region since the remaining these area is applied separating equalization. This paper includes how to determine the segmentation points in the histogram. The proposed algorithm has been tested with more than 100 images having various contrast in the images and the results are compared to the conventional approaches to show its superiority.

**Keywords :** Contrast Enhancement, Histogram Equalization, Histogram Region Equalization, Equalization Noise

### I. 서론

영상의 밝기가 어느 특정한 범위에 집중되는 경우 영

상에 포함된 정보, 예를 들면 경계선이나 특징 등을 구분해내기 매우 어렵게 된다. 이런 경우 집중되어 있는 밝기의 범위를 각 화소가 가질 수 있는 최대의 범위로 확장시켜 특징들이 살아나게 만드는 기법을 명암대비 향상기법이라 한다. 즉 영상의 어두운 영역 혹은 밝은 영역 내부의 밝기 차이를 크게 벌려 줘서 영상 내의 관심 영역을 선명하게 하거나 명암값을 재분배하여 화질을 개선시키는 영상처리 기법이다. 이와 같은 방법으로

\* 학생회원, \*\* 정회원, 송실대학교  
(Department of Electrical Engineering, Soongsil University)

※ “본 연구는 송실대학교 교내연구비 지원으로 이루어졌음”

접수일자: 2008년9월29일, 수정완료일: 2009년1월7일

개선된 영상은 눈에 선명한 영상을 제공하거나 컴퓨터 영상 시스템에서 특징추출을 위한 영상처리를 용이하게 해 준다. 따라서 명암대비 향상기법은 영상분할이나 에지와 코너점 같은 특징추출 등의 영상처리가 이루어지기 전에 수행된다.

명암대비 향상 기법은 크게 전역 명암대비향상 기법과 지역 명암대비 향상 기법으로 구분되어진다<sup>[1~3]</sup>. 전역 명암대비 향상 기법은 영상 전체를 기준으로 명암값의 범위를 늘림으로써 화질을 향상 시키는 방법으로 가장 널리 쓰이는 방법 중의 하나가 전역 히스토그램 평활화이다<sup>[4~5]</sup>. 전역 히스토그램 평활화는 영상의 히스토그램 분포를 계산하고, 히스토그램 분포는 누적 분포 함수 생성 및 정규화를 통하여 입력영상의 화소값과 곱해서 얻어지며, 히스토그램이 균일한 분포를 갖도록 명암값을 재분배 한다. 그러나 전역 히스토그램 평활화는 영상의 각 부분의 공간정보들을 고려하지 않은 전체 영상의 히스토그램 정보를 사용하기 때문에 부분적인 명암값을 개선시키기는 어렵다. 또한 영상의 중간 명암값으로 변환하기 때문에 영상의 밝은 영역이 흐려지는 현상이 발생한다<sup>[5~12]</sup>.

이러한 전역 명암대비 향상기법이 갖는 문제를 극복하기 위해 지역적인 히스토그램 평활화 기법을 사용한 명암대비 개선 기법들이 제안되고 있다. AHE(Adaptive Histogram Equalization)기법은 가장 기초적인 방법으로 영상을 겹치지 않게 여러 개의 블록으로 나누고 각각의 블록들에 대해 독립적으로 히스토그램 평활화를 수행하여 그 결과를 양선형 보간법으로 합치는 기법이다<sup>[13]</sup>. 이 경우 블록이 연결되는 부분에서 발생하는 불연속성 문제를 해결하기 위해 이웃하는 블록들이 겹쳐지도록 분할하는 방법을 사용하기도 한다. 일반적으로 지역 명암대비 기법들의 공통적인 문제점은 블록화현상이다. 영상 전체의 밝기 분포를 고려하지 않고 지역적인 영상정보만을 사용하기 때문에 블록 간의 명암대비가 조화롭지 못하고 밝기값의 차가 커서 발생한다<sup>[13~14]</sup>. 또한 블록화 현상을 없애기 위한 겹쳐진 블록을 사용하거나 보간법을 사용할 경우 계산의 복잡도가 커지거나 지역적인 특징이 훼손되는 문제점이 발생한다<sup>[14]</sup>.

본 논문에서는 지역적으로 밀집된 밝기범위의 명암대비를 개선하면서 전역 명암대비 향상 효과를 동시에 얻을 수 있는 히스토그램의 구간별 평활화에 기반을 둔 명암대비 향상 기법을 제안한다. 기존의 히스토그램 구간별 평활화 방법들은 과도한 평활화를 방지하고 평균

밝기값을 보존하며 영상의 명암대비를 향상시키는 것을 목표로 하였다<sup>[9]</sup>. 따라서 본 논문에서 제안하는 방법과 유사한 방법들로 다음과 같은 BBHE(Brightness preserving Bi-Histogram Equalization)<sup>[5]</sup>, DSIHE(Dualistic Sub-Image Histogram Equalization)<sup>[6]</sup>, RMSHE(Recursive Mean-Separate Histogram Equalization)<sup>[7]</sup>, RSIHE(Recursive Sub-Image Histogram Equalization)<sup>[11]</sup>를 예로 들 수 있다. 이들은 평균 밝기값이나 히스토그램 누적값에 기반을 두어 히스토그램의 영역을 여러 개로 나뉘고 전역히스토그램과 비교하여 과도한 평활화를 방지하는 결과를 보여줬다. 하지만 이 방법들은 결정적으로 과도한 평활화를 막기 위한 히스토그램 구간의 개수를 자동적으로 구할 수 없고 또한 구간의 개수를 유연성 있게 나눌 수 없다는 단점을 지니고 있었다.

제안하는 기법은 먼저 원 영상의 히스토그램을 밀도에 기반을 두어 자동으로 결정된 개수만큼의 영역을 분할한다. 그 다음 각 영역들에 해당하는 히스토그램에 대해 평활화 함수를 얻게 평활화 하는데 평활화의 범위, 즉 최대와 최소치를 평활화 하려는 히스토그램의 밝기 범위를 고려하여 결정한다. 각 구간별 평활화 작업이 완료되면 이들에 대응하는 복구된 영상을 합함으로써 최종적인 결과 영상을 얻는다. 본 논문에서 제안하는 명암대비 향상기법은 유사한 많은 화소값을 갖는 영역이 과도하게 평활화 되는 것을 막게 되고 적은 화소값을 갖는 부분에 대해서도 고르게 평활화를 수행함으로써 영상의 부분적인 영역까지 명암대비를 향상시키는 장점을 갖는다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. II장에서는 히스토그램 평활화 기법과 기존 히스토그램 영역별 평활화 기법의 문제점에 대해 설명한다. III장에서는 히스토그램을 분할하기 위해 밀도 영역을 평가하는 방법을 설명하고, IV장에서는 히스토그램 영역별 평활화의 목표범위 설정기법 및 영상의 복원방법을 설명한다. V장에서는 기존의 방법들과 비교 실험을 통해 제안하는 방법의 우수성을 입증하고 마지막으로 VI장에서는 결론 및 향후 연구방향을 제시한다.

## II. 기존 히스토그램 평활화 기법

히스토그램 평활화 기법<sup>[1]</sup>은 영상의 밝기 분포로부터 정규화된 누적 분포를 구한 후에 조정인자를 곱함으로써 원래의 명암값을 재분배하는 것이다. 하나의 영상은

$L$ 개의 명암값을 갖는  $X = \{ X(i,j) \mid X(i,j) \in \{X_0, X_1, \dots, X_{L-1}\} \}$ 로 표현할 수 있다. 예를 들어 화소의 밝기를 8비트로 표현하면 0~255의 256개의 값 중에서 하나를 취할 수 있다. 여기서  $X(i,j)$ 는 공간영역상의  $(i,j)$ 에서 정규화된 밝기(이하 명암값)를 나타내며  $X_k$ 는  $k$ 번째 명암값이다. 임의의 영상  $X$ 의 히스토그램 평활화를 위해 영상의 히스토그램을 정규화하여 확률밀도함수(PDF)를 구한다. 다음의 식 (1)은 임의의 영상에 대한 확률밀도함수를 보여준다.

$$p_X(X_k) = \frac{n_k}{n} \quad (1)$$

$$0 \leq X_k \leq 1 \text{ and } \sum_{k=0}^{L-1} p_X(X_k) = 1$$

여기서,  $n$ 은 영상  $X$ 의 전체 화소수이고,  $n_k$ 는  $k$ 번째 명암값  $X_k$ 을 갖는 화소들의 개수이다.

히스토그램 평활화 함수를 구하기 위해 확률밀도함수로부터 명암값  $X_k$ 에 대한 누적분포함수(CDF)를 식 (2)로 결정한다.

$$s_k = T(X_k) = \sum_{j=0}^k p_X(X_j) \quad (2)$$

$$= \sum_{j=0}^k \frac{n_j}{n}$$

여기서,  $K = 1, 2, \dots, L-1$ 이고  $T(X_{L-1})$ 로 정의된다.

히스토그램 평활화는 입력영상의 명암값  $X_k$ 를 출력영상의 명암값  $S_k$ 로 변환한다. 평활화된 영상은 균일한 확률밀도값을 갖게 되므로 균일한 히스토그램을 생성하게 되고, 전체 명암값을 모두 사용하는 영상을 산출하게 된다.

이와 같은 히스토그램 평활화를 영상 전체에 적용하는 경우 명암대비 개선효과는 원영상의 특성에 따라 큰 차이가 발생한다. 예를 들어 그림 1(a)의 인물사진인 경우 전체적인 명암의 차이 외에는 화질에 큰 영향을 주지 않은 것처럼 보인다. 그러나 그림 1(b)와 (c)와 같이 특정한 물체를 포함하는 영상의 경우, 전역 명암대비를 향상시키기 위해 히스토그램 평활화를 사용하는 경우 지역적인 밝기를 개선할 수 없음을 보여준다. 또한 영상의 명암값을 재분배해서 영상의 평균밝기를 영상의 중간 명암값으로 변환하기 때문에 밝은 영역에서 뿌옇게 되는 현상이 발생된다.

특히 비슷한 밝기를 가진 영역을 많이 포함하고 있는 경우 지역적으로 명암대비를 조절할 수 없기 때문에 명

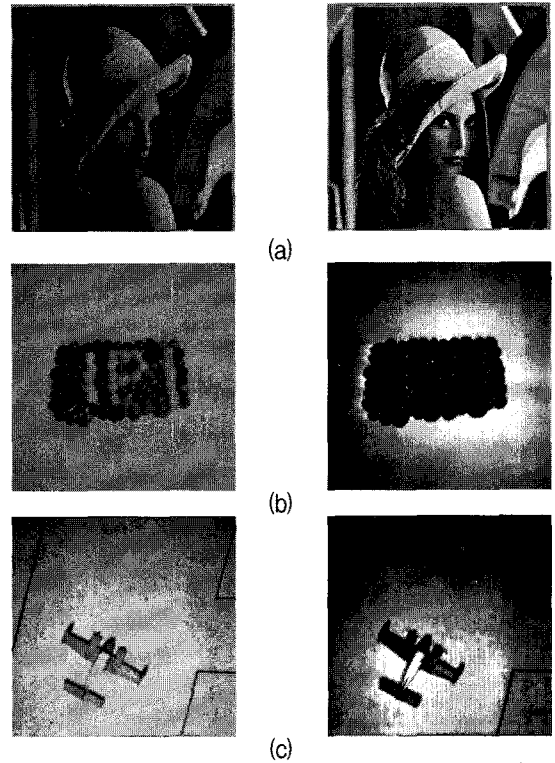


그림 1. 히스토그램 평활화를 전체영상에 적용한 결과 좌측은 원영상, 우측은 결과영상

Fig. 1. Results of applying the histogram equalization function to the whole image: left is the original image and right is the result image.

암대비가 감소하거나 화질이 훼손된다. 이러한 문제점은 일반적으로 지역 명암대비 향상 기법을 사용해서 해결한다.

이런 문제를 해결하여 영상의 특정한 부위의 명암대비를 향상하기 위해 히스토그램 평활화기법을 영상을 블록으로 나누고 각 블록에 적용하는 지역 평활화 기법이 사용되기도 한다. 즉 각각의 블록에 식 (3)과 같이 서로 다른 평활화 함수가 적용되게 된다.

$${}^i s_k = {}^i T(X_k) = \sum_{j=0}^k {}^i p_X(X_j)$$

$$= \sum_{j=0}^k \frac{{}^i n_j}{{}^i n} \quad (3)$$

$$0 \leq X_k \leq 1, {}^i T(X_{L-1}) = \sum_{j=0}^{L-1} {}^i p_X(X_j) = 1$$

$${}^i f_{HE} = {}^i s_k \times (L-1)$$

여기서,  ${}^i n$ 은  $i$ 번째 블록 영상의 전체 화소수이고  ${}^i n_k$ 는  $k$ 번째 블록 영상에서  $j$ 번째 밝기값을 갖는 화소수이다.

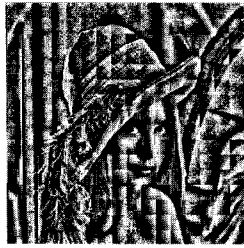


그림 2. 영상을 블록으로 나누고 각 블록에 맞는 히스토그램 평활화를 적용한 결과

Fig. 2. Result of applying the histogram equalization schemes to individual blocks differently.

그리고 정규화된 평활화 함수인  $i s_k$ 에 정규화시 사용했던  $L-1$ 을 곱하여 최종적인 평활화 함수를 얻을수 있다.

그림 2는 그림 1(a)의 512x512 해상도의 영상을 32x32크기의 블록으로 나누 후, 각 블록들을 서로 다른 히스토그램 평활화 함수로 독립적으로 평활화 했기 때문에 블록간의 극심한 블록화 현상이 발생하고 전체 영상의 화질이 크게 훼손됨을 보여준다. 이러한 블록화 현상을 극복하기 위해 지역적으로 히스토그램 평활화를 수행할 때 주위 영역들을 참조하는 겹쳐진 블록을 사용한다. 블록과 주위의 영역을 포함하여 평활화를 수행하기 때문에 블록화 현상이 줄어든다. 하지만 블록의 겹쳐짐 정도나 이웃하는 영역을 포함하는 블록의 크기에 따라 블록화정도, 계산량이 상당히 의존적이다.

이와 같이 잃어버리는 정보와 왜곡의 정도를 최소화 하며 낮은 밀도를 갖는 지역의 대비도 또한 높이기 위한 방법으로 히스토그램의 영역을 밝기별로 나눠 평활화하는 방법들이 제안되었다<sup>[5~12]</sup>. 이들은 공통적으로 본 논문에서 사용하는 방법과 유사하게 입력영상의 평균 밝기 값을 유지하며 나뉜 히스토그램의 영역별 평활화 한다는 공통점이 있다. 하지만 나뉜지는 히스토그램의 영역의 개수, 히스토그램의 경계를 나누는 방법들이 각각 다르다. 히스토그램 영역별 평활화 방법을 좀 더 자세하게 살펴보면 아래와 같다.

먼저 BBHE(Brightness preserving Bi-Histogram Equalization)<sup>[6]</sup>는 입력 영상의 평균밝기값에 기반을 두어 두개의 영역으로 나누는 방법으로, 경계값  $x_B$ 와 원하는 히스토그램의 상수는 식 (4)와 (5)에 따라 결정된다.

$$x_B = \int_0^1 r P_r(r) dr \quad (4)$$

$$P_z(z) = \begin{cases} \frac{1}{x_B} \int_0^{x_B} P_r(r) dr & , 0 \leq z < x_B \\ \frac{1}{1-x_B} \int_{x_B}^1 P_r(r) dr & , x_B \leq z < 1 \end{cases} \quad (5)$$

이는 평균값을 중심으로 양쪽 히스토그램이 대칭적 이라면 평균 밝기값이 보존되는 특성이 있으나 모든 이미지가 이러한 특성을 나타내지는 않기 때문에 입력영상에 따라 밝기값이 보존되지는 않는다는 단점이 있다.

DSIHE(Dualistic Sub-Image Histogram Equalization)<sup>[6]</sup> 방법은 BBHE방법과 비슷하나 영역의 경계 값으로 아래 식 (6)에 따라 입력영상의 누적히스토그램이 0.5인 지점으로 정하게 된다.

$$\int_0^{x_B} P_r(r) dr = 0.5 \quad (6)$$

또한 RMSHE(Recursive Mean-Separate Histogram Equalization)<sup>[7]</sup>, RSIHE(Recursive Sub-Image Histogram Equalization)<sup>[11]</sup>는 각각 BBHE와 DSIHE를 반복해서 수행하는 방법으로 이전 방법들에 비해 개선된 결과를 나타내며 반복수행을 할수록 평균밝기값은 원본영상과 같아지지만 평활화 효과가 줄어들고 반복횟수에 따른 영역의 개수 또한 2의 지수 승으로 그 간격이 크다는 점과 최적의 반복횟수를 자동으로 판단하기 어렵다는 단점이 있다. 그리고 한곳에 높은 밀도로 집중된 히스토그램을 갖는 특정 영상에서 전역 평활화와 같이 과도한 평활화 효과로 영상이 많이 왜곡되는 문제점을 해결하지 못하였다.

본 논문에서는 영상의 영역을 나누어 영역별 히스토

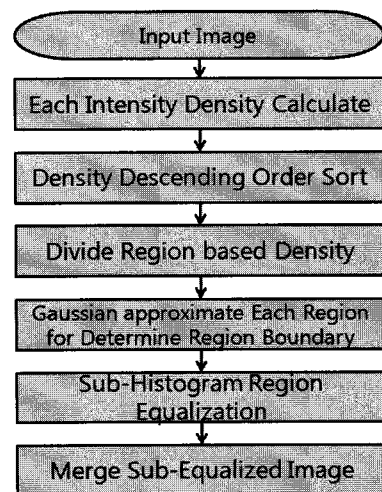


그림 3. 제안하는 알고리즘의 블록도

Fig. 3. Block diagram of the proposed algorithm.

그램을 평활화하는 대신 전체영상의 히스토그램의 밀도를 분석하여 히스토그램을 구간별로 분할하고 분할된 히스토그램을 일정한 범위 내에서 평활화하여 합하는 방법을 제안한다. 그림 3은 제안하는 알고리즘의 구성도를 보여준다.

### III. 밀도분석을 통한 히스토그램의 분할

제안하는 알고리즘에서 1단계로 수행되는 전체영상을 분할하기 위해 히스토그램을 밀도 기반으로 분석하는 기법을 그림 4를 참조하여 설명하기로 한다.

그림 4(a)의 영상에 대한 히스토그램을 살펴보면 특정 히스토그램 영역에 급격한 변화량을 가지며 높은 값

들이 밀집하여 존재하는 것을 볼 수 있다. 이 영상의 히스토그램이 평평한 형태로 전역 평활화 과정을 거치게 되면 높은 밀도를 가지던 카메라맨의 어두운 영역은 넓은 간격을 가지며 평활화되며, 하늘 영역 역시 넓은 간격을 가지며 평활화되어 대비가 향상된다.(그림 4(f) 참조) 하지만 이를 히스토그램 영역에서 분석해보면 밝은 값을 갖던 지역과 카메라맨의 어두운영역과 땅의 영역에 해당하는 부분 사이의 밝기값을 갖는 정보는 모두 잃어버린 것을 알 수 있다. 그리고 그림 4(g)를 보면 지역평활화 결과 역시 히스토그램 분포는 보다 더 평평해졌으나 이로 인하여 밝은 영역의 잃어버린 정보와 지역적으로 왜곡된 정보가 많아진다.

과도한 평활화를 발생시키는 영상의 특징을 살펴보면 급격히 변화하는 히스토그램 분포를 보이거나 많은 픽셀들이 일부 히스토그램영역에 심하게 집중되어 분포하게 된다. 이런 특징들이 과도한 평활화를 발생시키는 원인은 평활화함수에 기준이 되는 밝기값 누적분포함수를 분석해 보면 알 수 있다.

첫 번째로 밝기값 분포에서 급격한 증가나 높은 분포를 갖는 지역의 누적분포함수 특징을 보면 그 변화가 심해지는 것을 볼 수 있다. 따라서 재배치되는 픽셀들의 간격 역시 넓어지게 된다. 이 간격이 심하게 벌어지면 원본영상에서 작은 차이를 가져 연속적으로 보이던 부분이 밝기값에서 띄엄띄엄 넓은 간격을 갖게 재배치됨에 따라 결과영상에서 눈에 띄게 불연속적으로 보이며 영상을 훼손을 시킨다. 다음으로 높은 분포를 갖는 지역과 낮은 분포를 갖는 지역을 살펴보면 높은 분포의 지역이 평활화됨에 따라 넓은 영역에 걸쳐 재배치되고 따라서 넓게 낮은 분포를 가지던 영역들이 서로 뭉치게 되어 이들 낮은 분포를 갖는 지역의 정보를 잃어버리게 된다. 이러한 특성은 두 지역 간에 분포도 차이가 커짐에 따라 낮은 분포를 갖는 영역들의 정보를 많이 잃어버리게 되어 영상의 훼손이 심해진다.

따라서 평활화를 수행함에 따라 이러한 영상의 왜곡이 생기는 것을 막으며 낮은 분포를 갖는 지역의 대비도 또한 높이기 위해서는 위에서 말한 낮은 분포를 갖는 지역, 높은 분포를 갖는 지역, 그리고 급격한 변화를 갖는 지역을 분리하여 영역을 나누고 각각의 히스토그램영역에 대하여 평활화를 수행할 필요가 있다.

#### 1. 히스토그램 영역에서의 밀도 계산

높은 밀도의 분포를 갖는 지역과 낮은 밀도의 분포를

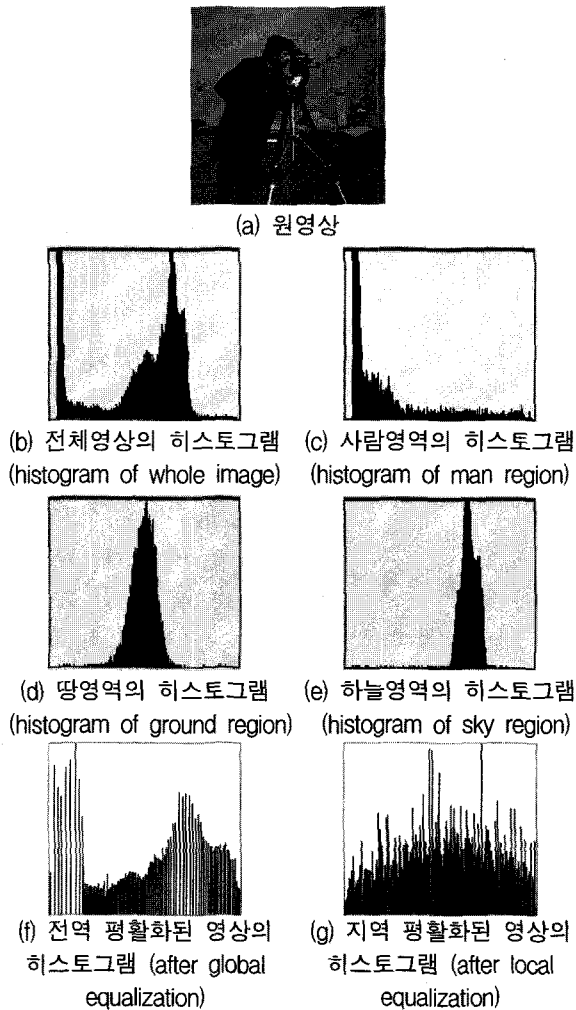


그림 4. (a) 원영상에 대한 부분별 히스토그램 및 전체 영상과 블록별로 히스토그램 평활화한 경우의 결과 히스토그램

Fig. 4. Histograms of the objects in the original image in (a).

갖는 지역을 구분하기 위해 식 (7)에 정의된 것과 같이 각 밝기값의 이웃한 윈도우 영역에 기반을 둔 분포량의 합을 사용한다. 이는 각 영역의 분포된 밀도를 측정하기 위해 한 지점에서 순간적인 밝기값에서 분포값이 아닌 주변 윈도우 크기만큼의 이웃한 밝기값 영역의 분포를 참조한다. 이렇게 주변 밝기값의 정보를 참조함으로써 순간적으로 급격히 변화하는 노이즈 영향 없이 전체 히스토그램 분포에서 높은 분포를 갖는 지역과 낮은 밀도를 갖는 지역을 분리할 수 있는 요소를 만들 수 있다.

$$D_m = \sum_{i=m-\frac{w}{2}}^{m+\frac{w}{2}} f(x_i) \quad (7)$$

위의 식 (7)에서  $D_m$ 은 주변 밀도를 참조하여 얻은 평균적인 밀도함수이며,  $w$ 는 윈도우 크기를 나타내며,  $m$ 은 정규화된 해당 밝기값을 나타내며 입력 영상의 밝기값이 정규화 되어  $\frac{w}{2 \times 255} \sim 1 - \frac{w}{2 \times 255}$  값을 가질 수 있다. 그리고  $f(x_i)$ 는 해당  $i$ 번째 밝기값의 빈도수를 나타내는 함수이다.

그림 5(a)에 나타난 히스토그램을 예로 들어 보면 각 밝기값에서 윈도우 크기만큼의 이웃밝기값의 양을 더한 밀도를 계산하게 된다. 윈도우의 크기를 6으로 산정하면 주변 6개 밝기값의 분포값을 참조하게 되며, 그림

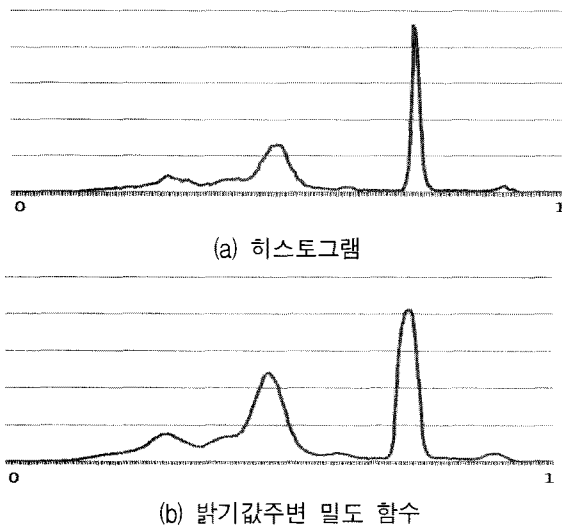


그림 5. (a)의 히스토그램을 기반으로 윈도우의 크기가 6인 경우 얻어진 (b) 밝기값 주변의 밀도함수  
 Fig. 5. (b) Density function acquired from (a) the example histogram using a window of size 6.

5(b)에서처럼 그림 5(a)에 비해 평탄해진 밀도 함수를 얻을 수 있다.

## 2. 밀도에 따른 영역의 분리

얻어진 밀도함수에서 밀도가 다른 지역들을 분리하기 위해 이웃된 밝기값에서의 밀도와 관계 고려하여 비슷한 밀도를 갖는 구역들을 하나의 영역으로 구분한다. 그리고 히스토그램 평활화에서 문제를 야기시키는 부분은 상대적으로 높은 밀도값을 갖는 영역들이므로 영역을 형성할 때 높은 밀도값을 갖는 지역을 중심으로 하여 우선적으로 영역을 형성해주고 나머지 남은 영역들을 밀도가 낮은 영역으로 구분하게 된다.

첫 번째로 높은 분포를 갖는 부분을 우선적으로 분리해내기 위해 계산된 각 밝기값에서 형성된 밀도를 기준으로 하여 높은 밀도순으로 밝기값들을 정렬시킨다.

두 번째로는 정렬된 높은 밀도를 갖는 지점에서 영역을 형성해주기 위해서 정렬된 높은 밀도를 나타내는 지점을 중심으로 이전 단계에서 참조한 영역크기를 기본 영역크기로 하여 영역을 확장해간다. 이는 이전단계에서 밀도 계산시 참조한 영역은 기본적으로 미리 정해진 크기의 윈도우 크기 범위에 위치한 이웃밝기값을 참조하였기 때문에 이 영역의 범위는 모든 히스토그램 분포에서 적합한 영역은 아니다. 따라서 각 히스토그램 분포에 적합한 영역 범위를 찾기 위해 기본적인 참조범위에 기반을 두어 영역을 확장하여 조정할 필요가 있다. 영역 범위 조정 방법은 그림 7에 흐름도를 참조하여 설명하겠다. 흐름도에서  $AD_i$ 는 기본적인 윈도우 크기에서  $i$ 만큼 윈도우 크기를 늘렸을때의 윈도우내 밀도함수의 누적된 밀도값을 정의하며,  $c$ 는 실험적으로 얻어진 가중치 상수값을 나타낸다. 영역의 범위를 조정하기 위해서는 윈도우 크기( $i$ )를 한 단계씩 늘려가며 이에 따른 분포의 평균변화량  $(\frac{Histo_{i-1} + Histo_{i+1}}{2} \times c)$ 과 해당윈

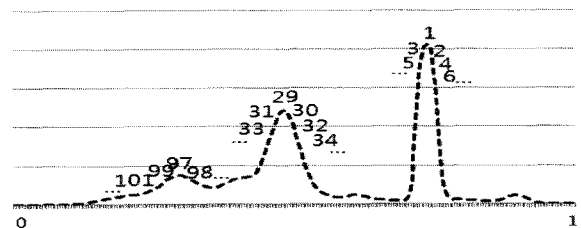


그림 6. 높은 밀도순으로 정렬되어 표시된 밝기값  
 Fig. 6. Labelling the intensity in a descending order.

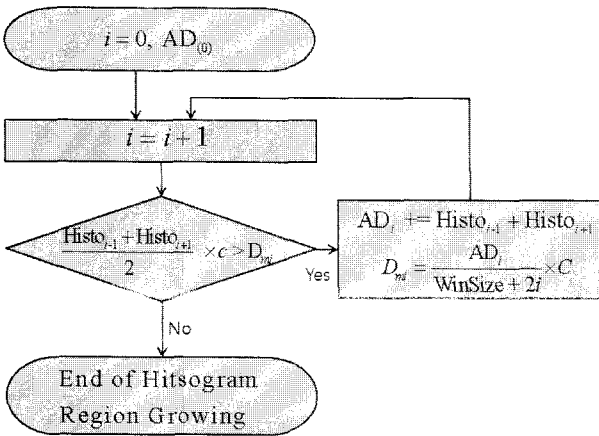


그림 7. 밀도영역 확대 알고리즘의 순서도  
Fig. 7. Flowchart of the density region expanding algorithm.

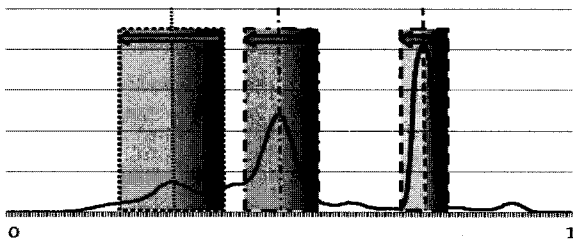


그림 8. 밀도함수의 분리 결과 얻어진 영역  
Fig. 8. Regions acquired as the result of applying the density region expanding algorithm.

도우 크기까지의 평균분포량( $D_{mi}$ )를 비교하였을 때 변화량이 분포량보다 클 경우 이는 해당 윈도우까지를 같은 영역으로 판단하고 영역을 넓혀 나간다. 반대로 변화량이 작아지는 부분에서는 히스토그램 영역확장을 중단한다.

그리고 마지막으로 참조 영역의 범위 조정은 높은 밀도를 갖는 지역순서로 수행되며 다음으로 높은 밀도를 갖는 영역의 범위를 수정할 때에는 이전 수정했던 영역과의 중복관계를 고려해야한다. 밀도순서로 영역들을 정렬하였을 때 밀도가 비슷한 지역이 대부분 밝기값에 대해서도 이웃한 위치에 분포하기 때문에 이들은 참조하는 영역들이 겹쳐지게 된다. 이와 같이 겹치는 영역들은 밀도기반에 영역을 구분할 때 같은 영역의 분포를 표현해주는 것이기에 해당영역에서 가장 높은 분포를 갖는 점의 정보만 사용하고 이외에 겹쳐지는 참조영역을 사용하는 점들은 제거해줄 필요가 있다. 이들 중복되는 지점의 제거를 통해 실제 같은 밀도를 나타내는 영역이 여러 영역으로 인식되는 문제를 해결할 수 있다.

그림 8은 높은 밀도값을 갖는 점들을 우선적으로 하여 이웃한 점들이 비슷한 밀도를 나타낼 경우 범위를 중복되지 않게 늘려가는 것을 보여 주게 된다.

#### IV. 분할된 영역별 히스토그램의 평활화

##### 1. 영역별 히스토그램 평활화의 범위 결정

히스토그램을 밀도구간에 대해 구분하고 나면 평활화를 수행할 때 적용할 최대 및 최소 한계 밝기값을 결정해야 한다. 여기서는 각 영역의 시작과 끝 경계값들을 평활화를 수행할 영역의 한계 밝기값 결정에 사용한다.

그림 8의 예를 보면 히스토그램에는 가장 큰 밀도를 갖는 3개 영역 만을 표현하였지만 이외에 이들 주변에 4개의 영역이 더 존재하여 총 7개의 영역으로 분할되고 각각의 영역에 대해 평활화가 수행된다. 영역별 밀도합수를 보면 높은 밀도를 나타내는 영역사이에 불필요한 낮은 밀도를 갖는 영역들이 존재한다. 이처럼 높은 밀도영역 사이에 낮은 밀도 영역이 분포함으로 과도한 평활화는 막아줄 수 있다. 하지만 이러한 낮은 밀도를 나타내는 지역은 주변 높은 밀도를 나타내는 지역의 변화하는 정도와 분포된 양에 따라서 결과영상에 왜곡을 주지 않고 제거될 수 있다. 그리고 영역의 수를 줄임으로써 평활화의 계산량과 메모리양을 줄일 수 있게 된다.

이와 같이 높은 밀도영역들 사이에 위치한 낮은 밀도 지역을 제거하고 사이에 새로운 경계지점을 선택하기 위해 본 논문에서는 영역의 중앙값과 식 (8)에서 정의되는 분산값으로 표현되는 식 (9)와 같은 가우시안 함수를 이용하여 근사화한다.

$$\sigma_n^2 = \sum_{x=n_s}^{n_E} (x - \mu_n)^2 \times f'(x) \tag{8}$$

$$g_n(x) = \frac{1}{\sigma_n \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x - \mu_n)^2}{2\sigma_n^2}\right) \tag{9}$$

위 수식 (8)에서  $\sigma_n^2$ 은 선택된 높은 밀도를 갖는 영역들에서의 분산값으로 변화량을 나타내며,  $\mu_n$ 은 해당영역의 중심 지점으로  $\mu_n$ 을 중심으로 가우시안 분포가 형성되도록 한다. 두 수식을 선택된 영역들에 적용하면 그림 9와 같은 가우시안 근사화된 함수를 얻을 수 있다.

최종적으로 이와 같이 근사화된 가우시안 함수들끼리 만나는 지점은 평활화를 수행할 영역의 경계값으로 사용된다. 그림 9와 같이 근사화된 결과에서 영역은 그

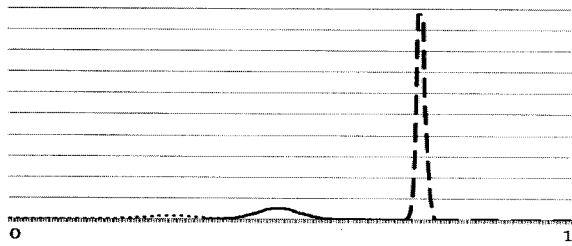
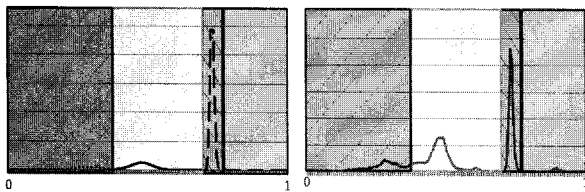


그림 9. 선택된 영역들만을 고려한 가우시안 근사화된 밀도함수

Fig. 9. The density function approximated by Gaussian function taking into account the selected regions.



(a) 근사화된 가우시안 함수로 재설정된 영역 (b) 히스토그램에서의 영역 재설정 결과

그림 10. (a) 근사화 된 가우시안 함수로 재설정된 영역을 이용하여 (b) 히스토그램에서의 영역 재설정 결과

Fig. 10. (a) region adjustment using approximated Gaussian functions and (b) its application to region adjustment in the histogram.

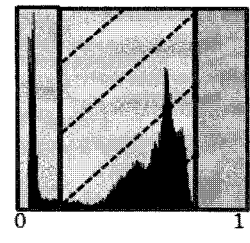
림 10과 같이 나뉜다. 그림 10(a)는 근사화된 가우시안영역에서 찾아진 영역을 표현하고 있고, 그림 10(b)는 근사화된 가우시안 영역에서 찾아진 영역을 히스토그램 분포에 적용한 그림을 보여준다.

## 2. 영역별 명암대비 개선된 영상의 결합

그림 11은 각 영역별 평활화를 해당 영역부분만 개별적으로 적용한 입시영상들이다. 그리고 입력영상에서 분할된 히스토그램 영역의 밝기값을 갖는 화소들만 영역별 평활화에 사용하고 이들 선택된 밝기값들을 해당 영역의 평활화 함수인 영역별 누적분포함수를 통해 영역별 평활화를 수행한다. 그리고 최종 결과 영상은 각 영역별 평활화의 수행 결과 얻어진 영역별 평활화 영상들의 합으로 결정한다. 그림 11을 보면 (b)에서 히스토그램 영역이 3개로 나뉜 것을 볼 수 있고 (c),(d),(e)들은 각각 정규화 하기 전에 0~46, 47~195, 196~255 사이에 밝기정보만을 사용하여 평활화를 수행한 영상들이다. 그리고 (c),(d),(e)의 영상들을 합쳐서 최종결과영상(f)를 얻어낸다.



(a) 원영상



(b) 분할된 히스토그램



(c) 영역1 (0~46)



(d) 영역2 (47~195)



(e) 영역3 (196~255)



(f) 최종결과영상

그림 11. 원영상(a)을 히스토그램 영역별 분할한 결과(b)와 영역별 평활화한 결과 영상((c)~(e)) 및 최종결과영상(f)

Fig. 11. (a) original image, (b) segmented histogram, (c)~(e) result images of regional histogram equalization, (f) final result image.

## V. 실험

제안하는 기법은 Windows XP 운영체제를 갖는 PentiumIV PC에서 수행되었으며, Microsoft의 VC++ 개발환경에서 구현되었다. 실험에는 다양한 특성을 갖는 영상들을 대상으로 이루어졌고 여기에서는 관심있는 대상이 지역적인 특성과 전역적인 특성을 골고루 갖는 하늘배경의 비행기 영상과 건물 영상을 대상으로 한 실험 결과를 정리하였다. 제안하는 방법의 성능을 평가하기 위해 영상에 포함된 관심영역의 특성을 표현할 수 있는 에지가 얼마나 잘 검출되는지와 영상에 포함된 물체별 히스토그램의 개선효과를 기존의 방법과 비교하였다.

먼저, 명암대비 알고리즘의 에지 성능을 비교하기 위해 제안하는 방법과 기존의 방법들을 적용하여 관심영역의 에지를 동일하게 canny edge detector를 사용하여 검출하였고 그 결과를 평가하였다. 첫 번째로 비행기와



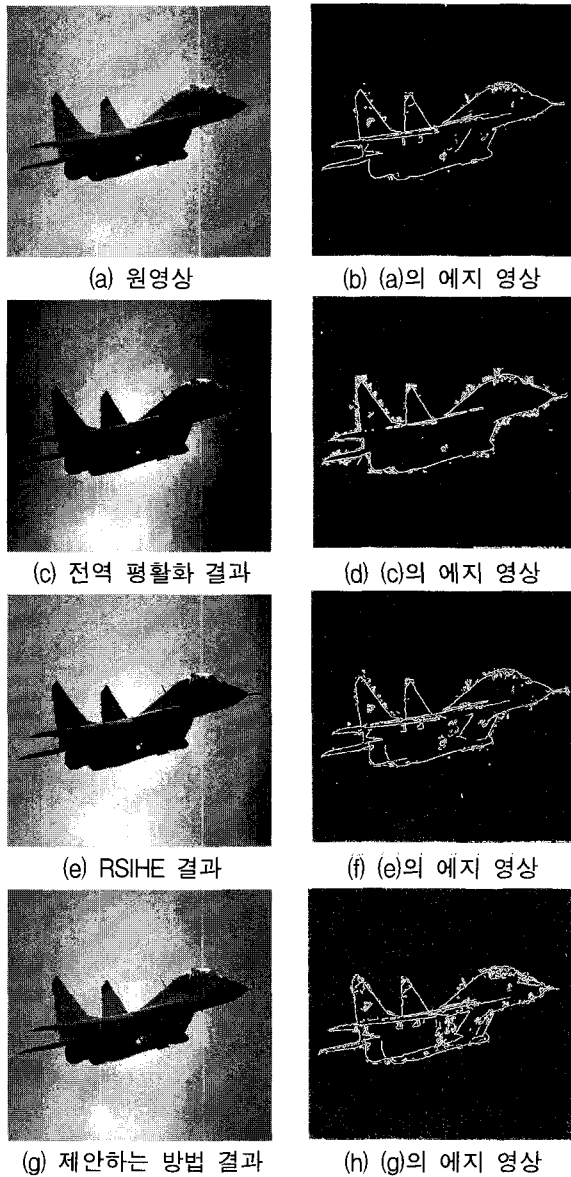


그림 12. 제안하는 방법을 기존의 방법과 에지특성을 비교하여 평가한 결과

Fig. 12. Performance comparison of the proposed algorithm with the conventional approaches based on edge features: (a) original image, (b) edge image of (a), (c) result of global histogram equalization, (d) edge image of (c), (e) result of RSHIE, (f) edge image of (e), (g) result of proposed method, (h) edge image of (g).

하늘 배경으로 이루어진 원본영상에 대해 전역평활화 기법, RSHIE, 그리고 제안한 방법을 적용하여 얻어진 결과 영상과 그 영상에 대해 에지를 검출하여 특성을 비교한 결과 영상이 그림 12에 제시되어 있다. 그림 12(a)의 입력영상에서 비행기 내부는 대비가 좋지 않아 비행기 곁에 쓰인 글씨가 흐릿하게 보이고 비행기의 부분도

구분이 어렵다. 이는 그림 12(b)에 주어진 원영상의 에지 특성을 보면 분명하게 나타나는데 비행기 내부의 특징들은 전혀 잡지 못한 채 하늘과 비행기 사이의 에지 특성만 찾는 것을 볼 수 있다. 이를 전역 평활화한 그림 12(c)의 결과영상에서는 상대적으로 어두운 비행기영역과 밝은 하늘영역을 과도하게 평활화 하여 비행기 내부가 이전보다 어두워지고 히스토그램 분포가 집중되어 대비가 낮아지는 현상이 발생하였다. 이로 인하여 비행기 내부는 거의 비슷한 밝기값을 가지게 되었고 그림 12(d)에서 보는 바와 같이 에지특징이 모두 사라지고, 오히려 원본영상에서의 잡음으로 나타난 비행기와 하늘 배경 사이에 링 현상만 더 증폭되었다. 그림 12(e)는 히스토그램의 영역을 나누어 평활화하는 방법인 RSHIE를 반복횟수를 2회로 정하여 총 4개의 영역으로 나눠서 평활화한 결과 영상을 보여준다. 그림 12(e)의 결과영상을 보면 급격한 평활화를 완전하게 방지하지는 못해 오른쪽 하늘영역에서 블록화현상이 나타났다. 그리고 그림 12(f)의 에지영상을 살펴보면 원영상 보다는 향상됐지만 비행기 내부에서 미세한 부분의 특징까지는 잡아 내지 못하는 것을 알 수 있다. 이들과 비교하여 그림 12(g)에 주어진 제안한 방법으로 얻어진 영상에서는 평활화 수행시 문제가 되는 높은 밀도를 갖는 지역을 잘 구분하여 분리하였고, 이를 각각 평활화 함으로써 과도하게 평활화 되는 현상을 방지하였음을 알 수 있다. 또한 그림 12(h)에서 볼 수 있듯이 나머지 영역에서 고른 분포를 나타나게 하여 낮은 밀도를 나타내던 비행기 내부의 자세한 부분의 에지특성도 검출하는 결과를 얻을 수 있었다. 비행기 내 연결부분들과 숫자부분들을 비교해 보면 제안한 방법에서 비행기의 영상의 특징을 나타낼 수 있는 에지특성이 가장 분명하게 표현되었음을 알 수 있다.

다음으로는 히스토그램 분석을 통해 기존의 명암대비 향상기법들과 제안하는 방법의 성능을 비교 평가하였다. 실험에 사용된 영상은 그림 13(a)와 같이 복잡한 구조를 가지는 건물의 영상으로 히스토그램 분포는 그림 13(b)와 같다. 하늘영역의 명암값은 거의 유사하게 210~230 사이에 분포한다. 그리고 건물 외부 영역의 밝기는 전체적으로 골고루 분포하게 된다. 이러한 영상을 전역 평활화를 하였을 때는 그림 13(d)에서 보듯이 영상의 대부분을 차지하는 하늘영역의 히스토그램이 넓게 펼쳐져 중요하지 않은 하늘영역이 과도하게 평활화되어 결과적으로 건물영역이 전체적으로 어두워지고

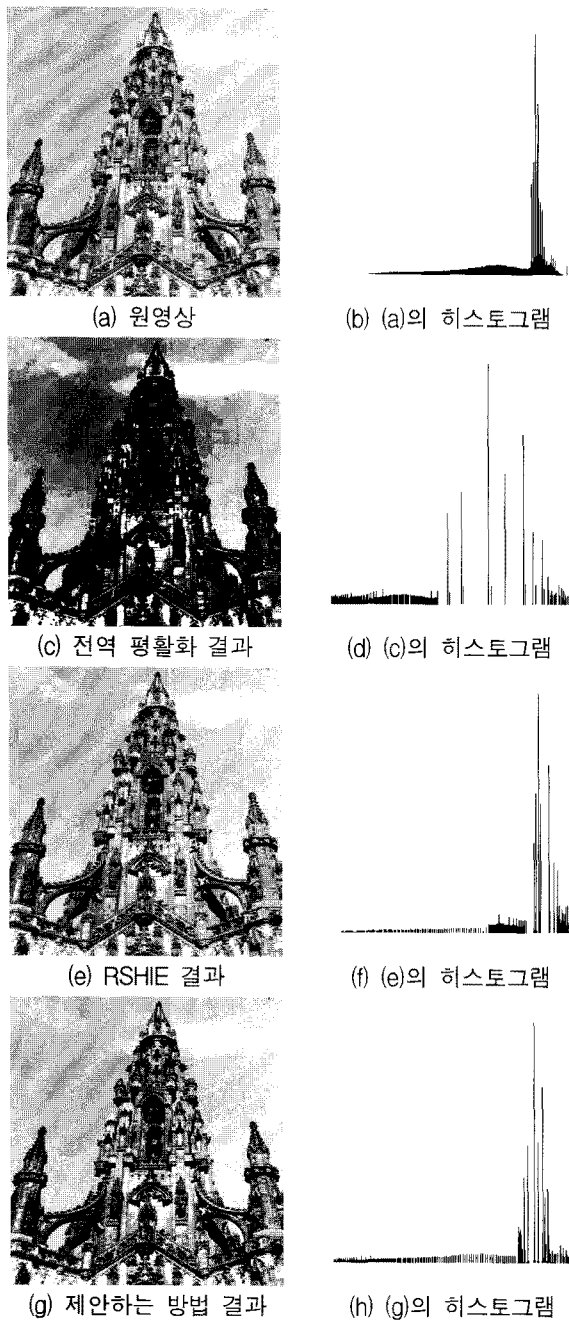


그림 13. 제안하는 방법을 기존의 방법과 히스토그램 분포를 분석하여 평가한 결과

Fig. 13. Performance comparison of the proposed algorithm with the conventional approaches based on histogram analysis: (a) original image, (b) edge image of (a), (c) result of global histogram equalization, (d) edge image of (c), (e) result of RSHIE, (f) edge image of (e), (g) result of proposed method, (h) edge image of (g).

복잡해짐을 그림 13(c)에서 볼 수 있다. 또한 건물영역 내 명암도 대비 차이가 감소하였으며 전체영상에서의 평균 밝기값도 감소된 모습을 보임을 알 수 있고 하늘

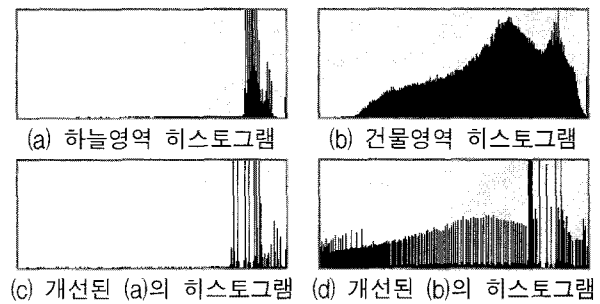


그림 14. 그림 13(a)의 영역별 히스토그램 분포 및 개선 결과

Fig. 14. Histograms of the regions of interest in Fig. 13(a) and their enhanced ones: (a) sky region, (b) temple region, (c) improved one of (a), improved one of (b).

영역의 과도한 평활화로 인해 블록화만 증가한 모습을 볼 수 있다. 그리고 2번의 반복과정을 거쳐 4개영역에서 평활화를 수행한 RSHIE방법을 사용하였을 때는 그림 13(f)에서 볼 수 있듯이 여러 구역으로 나뉘어 평활화를 진행함으로써 어느 정도의 과도한 평활화를 막고 평균 밝기값을 유지하는 특성을 보였으나, 그림 13(e)에 주어진 결과 영상의 건물내부를 그림 13(a)의 원영상과 비교해 보면 큰 평활화 효과를 얻지는 못한 것을 확인할 수 있다.

제안한 방법에서는 3개의 히스토그램 구간을 구하였을 때 그림 14에서 확인 할 수 있듯이, 유사한 밝기값으로 영상의 대부분을 차지하는 하늘영역이 하나의 히스토그램 구간 안에 들어가게 함으로써 이 영역의 평활화는 최대한 막고 나머지 영역에서만 평활화가 수행되어 건물 내의 낮은 분포도를 가지며 대비가 적었던 부분들이 강조되는 결과를 얻어낼 수 있었다.

## VI. 결 론

본 논문에서는 히스토그램의 영역별 평활화를 통한 영상의 지역별 명암대비 향상 기법을 제안하였다. 전역 평활화 함수의 가장 중요한 문제점은 좁은 영역에 높은 분포의 히스토그램을 갖는 영상에서 과도한 평활화를 수행함에 따라 영상에서의 넓고 낮은 영역에 값들을 갖는 픽셀들의 정보 훼손되는 것이다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 입력영상의 누적히스토그램 기반 하에 다양한 영역으로 등분하고 과도한 평활화를 막기 위해 재구성된 영역별로 평활화 함수를 얻어 해당 영역별로 평활화를 수행하였다. 제안하는 알고리즘은 좁고 높은

분포를 갖는 히스토그램 영역을 누적히스토그램 기반 하에 좁게, 여러 개의 영역으로 나눠 평활화가 적게 진행되도록 유도하고 나머지 영역에서 정상적으로 평활화를 수행하여 영상의 넓고 낮은 값을 갖는 작은 부분까지 특징을 살리는 결과 영상을 찾았고 다양한 실험을 통해 확인하였다. 향후, 최대 명암대비를 갖는 영역의 수를 추정하는 방법을 찾아 알고리즘의 수행속도를 개선할 예정이며, 영상의 부분특징 강조를 필요로 하는 다양한 영상기기에 응용할 계획이다.

### 참 고 문 헌

- [1] A. K. Jain, Fundamentals of Digital Image Processing, Prentice-Hall, 1989.
- [2] J. Y. Kim, L. S. Kim, S. H. Hwang, "An Advanced Contrast Enhancement Using Partially Overlapped Sub-Block Histogram Equalization," IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, Vol. 11, No. 4, pp.475-484, April 2001.
- [3] C. C. Sun, S. J. Ruan, M. C. Shie, T. W. Pai, "Dynamic Contrast Enhancement based on Histogram Specification," IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 51, No. 4, pp.1300-1305, November 2005.
- [4] J. A. Stark, "Adaptive Image Contrast Enhancement Using Generalizations of Histogram Equalization," IEEE Transactions on Image Processing, Vol. 9, No. 5, pp.889-896, May 2000.
- [5] Y. T. Kim, "Contrast Enhancement Using Brightness Preserving Bi-Histogram Equalization," IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 43, Issue 1, pp.1-8, February 1997.
- [6] Y. Wan, Q. Chen, B.-M. Zhang, "Image enhancement based on equal area dualistic sub-image histogram equalization method", IEEE Trans. Consum. Electron. 45 (1) (1999) 68-75.
- [7] S. D. Chen, A. Rahman Ramli, "Contrast Enhancement using Recursive Mean-Separate Histogram Equalization for Scalable Brightness Preservation," IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 49, No. 4, pp.1301-1309, November 2003.
- [8] S. D. Chen, A. Rahman Ramli, "Minimum Mean Brightness Error Bi-Histogram Equalization in Contrast Enhancement," IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 49, No. 4, pp.1310-1319, November 2003.
- [9] Soong-Der Chen, Abd. Rahman Ramli, "Preserving brightness in histogram equalization based contrast enhancement techniques," Digital Signal Processing, Vol. 12, Issue 5, pp.413-428, September 2004.
- [10] Chao Wang and Zhongfu Ye, "Brightness Preserving Histogram Equalization with Maximum Entropy: A Variational Perspective," IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 51, No. 4, pp.1326-1334, Nov 2005.
- [11] K. S. Sim, C. P. Tso, and Y. Y. Tan, "Recursive sub-image histogram equalization applied to gray scale images", Pattern Recognition Letters, vol. 28, no. 10, pp. 1209-1221, 2007.
- [12] Z. Chen, B. R. Abidi, D. L. Page, M. A. Abidi, "Gray-Level Grouping(GLG) : An Automatic Method for Optimized Image Contrast Enhancement-Part I : The Basic Method," IEEE Transactions on Image Processing, Vol. 15, No. 8, pp.2290-2302, August 2006.
- [13] S. M. Pizer, E. P. Amburn, J. D. Austin, R. Cromartie, A. Geselowitz, T. Greer, B. H. Romeny, J. B. Zimmerman, K. Zuiderveld, "Adaptive Histogram Equalization and Its Variations," Computer Vision Graphics and Image Processing, Vol. 39, pp.355 - 368, 1987.
- [14] F. Lamberti, B. Montrucchio, A. Sanna, "CMBFHE\_a novel contrast enhancement technique based on cascaded multistep binomial filtering histogram equalization," IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 52, No. 3, pp.966-974, August 2006.
- [15] Z. Q. Wu, J. A. Ware, I. D. Wilson, J. Zhang, "Mechanism analysis of highly overlapped interpolation contrast enhancement," IEEE Proceedings Vision, Image & Signal Processing, Vol. 153, No. 4, pp.512-520, August 2006.

저 자 소 개



윤 현 섭(학생회원)  
 2008년 숭실대학교 정보통신전자  
 공학부 학사 졸업.  
 2008년~현재 숭실대학교  
 전자공학과 석사과정.  
 <주관심분야 : 영상처리, 컴퓨터  
 비전>



한 영 준(정회원)  
 1996년 숭실대학교 전자공학과  
 학사 졸업.  
 1998년 숭실대학교 전자공학과  
 석사 졸업.  
 2003년 숭실대학교 전자공학과  
 박사 졸업.

2003년~현재 숭실대학교 정보통신전자공학부  
 조교수.

<주관심분야 : 로봇트 비전, 영상처리, 비주얼서  
 보잉>

한 현 수(정회원)  
 대한전자공학회 논문지  
 제38권 SP편 제 6호 참조.