

히스토그램 매칭에 기반한 적응적 히스토그램 균등화

민병석^{1*}

A Novel Adaptive Histogram Equalization based on Histogram Matching

Byong-Seok Min^{1*}

요약 영상의 화질을 개선하기 위한 많은 방법 중 비교적 간단하게 사용되는 방법 중 하나는 영상의 대비를 조절하는 것이다. 이러한 대비를 조절하는 방법 중 하나인 히스토그램 균등화는 영상 계조도 값의 분포를 균등 분포로 변환함으로써 화질을 개선한다. 그러나, 기존의 방법은 영상의 히스토그램 분포가 몇개의 계조도 값에 균집화되어 있다면 영상의 계조도가 과도하게 변하는 단점을 갖는다. 본 논문은 그레이스케일 영상에 대해 히스토그램의 형태를 고려해서 가우시안 함수에 기반한 히스토그램 매칭 방법을 제안한다. 제안된 방법은 영상이 과도하게 밝아지는 것을 제한하고 히스토그램의 분포가 몇 개의 계조도에 균집화되어 있는 영상에서의 에지 및 어두운 부분의 자세한 정보를 표현하는데 우수한 성능을 나타내었다.

Abstract The contrast control of images with narrow dynamic range is a simple method among enhancement methods for low intensity of image. Histogram equalization is the most common method for this purpose, which stretches the dynamic range of intensity. Conventional methods would fail to enhance images with extremely dark and bright regions, because of not considering the shape of histogram. In this paper, we propose a novel adaptive histogram equalization based on histogram matching with multiple Gaussian transformation function. As a result, output images with a couple of peaks of histogram could be improved and the details such as edges in dark regions could be appeared better than conventional method subjectively.

Key words : Histogram equalization, Histogram matching, Gaussian transform function

1. 서론

카메라, 캠코더, 스캐너, 천체 망원경, 현미경 영상 등 여러 응용 분야에서 사용되는 디지털 영상은 획득한 장비와 환경에 따라 그리고 사용 목적에 따라 화질을 개선할 필요가 있다. 일반적으로 화질은 촬영 소자 특성과 영상 객체의 밝기뿐만 아니라 촬영할 당시의 조명 강도에 의존한다. 촬영 대상 객체 자체가 극단적인 밝기를 갖거나, 조명이 너무 강하거나 너무 약한 경우, 저대비 영상이 생성될 수 있으며, 영상의 이러한 영상 내에는 주관적인 시각 정보를 얻기 어려운 부분이 발생할 수 있다. 그리고, 영상의 계조도 히스토그램이 전체적으로 어둡거나 밝은 부분에 집중적으

로 분포하는 경우, 영상의 다른 영역들의 자세한 텍스처는 시각적으로 파악하기 곤란하게 된다[5,6,10,11]

그레이스케일 영상의 동적 영역을 조절함으로써 대비를 향상시켜 화질을 개선하는 방법 중 널리 사용되는 방법은 기존의 계조도 값을 새로운 계조도 값으로 변환하는 방법이다. 히스토그램 균등화는 영상 계조도 값의 분포를 균일하게 분포하도록 동적 영역을 변환하여 화질을 개선하는 매핑 방법 중 가장 널리 사용되는 방법이며 크게 전역적 방식과 지역적 방식으로 구분할 수 있다. 전역적 방식에서는 영상의 모든 화소에 대해 하나의 변환 함수를 적용하는 방법이고, 지역적 방식에서는 각 화소의 근방의 특성을 반영해서 다수의 변환함수를 적용한다.

전역적 방식이든 지역적 방식이든 화질 개선은 최종 사용자의 요구에 적합해야 하기 때문에, 응용 분야 또는 영상의 특성에 따라 처리 방식을 선택하게 된다.

¹충청대학 디지털전자통신과

*교신저자: 민병석(min@ok.ac.kr)

일반적으로 전역적 방식은 입력 영상의 히스토그램을 분석해서 단일 변환 함수를 만들어 적용하므로 실시간 처리 속도가 요구되는 응용분야에서 적합하다. 반면, 지역적 방식은 영상을 특정한 기준으로 지역의 특징을 조사하는 전처리 과정과 영상의 전체적인 계조도를 균일하게 하는 후처리 과정이 필요하므로 비실시간 응용분야에서 많이 사용되고 있다[1,2,3].

일반적인 히스토그램 균등화는 히스토그램에서 계조도 값의 균일한 분포를 목적으로 변환하는 함수를 사용하기 때문에 계조도 값이 과도하게 변함으로써 화질을 개선하지 못하는 문제가 발생할 수 있다. 이러한 문제는 발생 빈도가 높은 부분에서는 기울기가 급격히 증가하고, 발생 빈도가 낮은 부분에서는 기울기가 급격히 감소하기 때문이다. 과도한 대비 향상 문제를 해결하기 위해 다양한 기법들이 제안되고 있다. BUBO(Bin Underflow and Bin Overflow) 방법과 CLAHE(Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization) 방법은 발생 빈도에 대해 상한과 하한을 설정함으로써 이 문제를 보완하였으나 한계값 부근에서 변환함수의 포화로 인해 영상의 세밀한 부분을 잘 나타내고 있지 못하다. AMH(Adaptively Modified Histogram) 방법과 등방성 가우시안 혼합모델 방법에서는 히스토그램을 가우시안 함수로 모델링을 하고 이를 변형시킴으로써 화질을 개선하였다[6,7,8,9]. 그러나, 히스토그램에서 발생빈도가 집중되어 있는 부분을 한개의 가우시안 함수로 모델링함으로써, 부차적인 발생빈도를 갖는 영역에서는 화질개선이 이루어지지 않는 단점이 있다[11,12].

본 논문에서는 히스토그램을 다중의 가우시안 함수의 가중합으로 모델링함으로써, 히스토그램 매칭에 기반한 히스토그램 균등화를 제안한다. 제안된 방법에서는 히스토그램에서 여러 피크(peak)들을 탐색하고 이 피크를 포함하는 가우시안 함수의 합으로 변환함수를 생성함으로써, 영상의 과도하거나 과소한 대비 현상을 억제해서 세밀한 부분까지도 잘 표현할 수 있는 방법을 제안한다. 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 일반적인 히스토그램 균등화를 요약해서 기술하고, 3장에서 적응적인 히스토그램 균등화에 제안하고, 4장에서 실험 결과를 기술하며 5장에서 결론을 맺는다.

2. 일반적인 히스토그램 균등화

영상의 계조도가 범위 $[1, 0]$ 로 정규화된 연속적

인 신호라고 할 때, $P_r(r)$ 은 영상 계조도의 확률밀도함수라고 하자. 또한, 입력 영상의 계조도에 식(1)의 변환을 수행해서 출력된 계조도를 s 라고 하자.

$$s = T(r) = \int_0^r P_r(w)dw \quad (1)$$

여기서 w 는 적분 매개변수이다. 이때, 변환된 계조도의 확률밀도함수는 식(2)와 같이 균등하다.

$$P_s(s) = \begin{cases} 1 & \text{for } 0 \leq s \leq 1 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

식(2)는 변환된 영상의 계조도의 확률이 범위 $[1, 0]$ 상에서 동일하다는 것을 의미하며 계조도의 동적범위가 늘어나 영상의 대비가 전체적으로 증가한다.

이산적인 디지털 영상의 계조도에 적용하기 위해서, 영상의 히스토그램에서 이산적인 계조도값을 $j = 0, 1, \dots, L-1$ 라고 할 때, 계조도 r_j 의 확률 $p_r(r_j)$ 은 계조도 r_j 에 해당하는 화소 개수를 전체 화소 개수로 나눈 것과 동일하다. 이 불연속 값들에 대한 합산은 식(1)의 이산화에 대응되며, 균등화 변환함수 $T(\cdot)$ 는 식(3)과 같다.

$$\begin{aligned} s_k &= T(r_k) \\ &= \sum_{j=0}^k p_j(r_j) \\ &= \frac{1}{N} \sum_{j=0}^k n_j \end{aligned} \quad (3)$$

여기서, $k = 0, 1, \dots, L-1$ 이며, $P_j(r_j)$ 는 계조도 값 r_j 의 확률 밀도 함수이고, N 은 입력 영상의 전체 화소 개수이고, s_k 는 입력 영상의 계조도 값 r_k 에 대응하는 변환된 계조도 값이다[1].

그림 1은 히스토그램과 변환함수간의 관계를 나타내고 있다. 히스토그램에서 특정 계조도 값이 두 곳에서 집중되어 있고 다른 계조도는 대체로 분산되어 있다. 이 경우, 히스토그램 균등화를 수행해서 얻은 변환함수의 특성을 보면, 계조도가 집중되어 있는 부분에서는 변환함수의 기울기가 매우 크고 평탄한 영역에서는 변환함수의 기울기가 매우 작음을 알 수 있다. 이러한 경우, 영상은 과도한 계조도 변화가 발생하

로 화질개선의 효과를 기대하기 곤란하다.

3. 적응적인 히스토그램 균등화

히스토그램의 분포가 일반적인 가우시안 분포를 갖는 영상과 달리 몇 개의 계조도에 집중되어 이격되어 경우, 기존의 히스토그램 균등화는 히스토그램에서 계조도의 균일한 분포를 목적으로 변환 함수를 사용하기 때문에, 계조도가 과도하게 변함으로써 오히려 화질을 열화시키는 문제가 발생할 수 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서, 본 논문에서는 히스토그램 매칭 방법에 기반해서 히스토그램을 다중 가우시안 가중치 합으로 모델링함으로써 히스토그램의 분포형태를 유지하고, 이것을 이용한 변환함수를 제안한다.

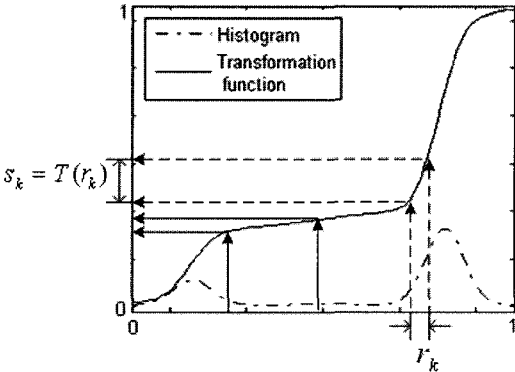


그림 1. 히스토그램과 변환함수

그림 2에 그레이스케일 값이 주로 어둡고 밝은 두 부분에 집중되어 있는 영상에 대해 히스토그램 균등화를 수행했을 때의 결과를 나타내었다. 히스토그램 균등화를 수행함으로써, 그레이스케일 값이 집중되어 있는 영역들이 중간 값 영역으로 변환되면서, 전반적으로 영상이 밝게 보인다. 그러나, 입력영상에 비해 히스토그램 균등화 영상은 주관적인 시각의 대비가 떨어지는 현상이 나타나서 화질을 개선하는 효과가 저하된다.

3.1 그레이스케일 영상의 히스토그램 생성

0 ~ 255의 값을 갖는 $N \times N$ 크기의 그레이스케일 입력 영상으로부터 0 ~ 1의 값을 갖는 정규화된 히스토그램을 생성한다. 일반적으로 영상의 히스토그램의 형태를 1차원 신호로 간주할 경우, 주요 신호에 잡음이 섞인 형태를 취하게 된다.

3.2 저역통과 필터링

생성된 히스토그램에서 주요한 계조도 성분을 중심으로 히스토그램을 단순화시키기 위해 저역통과 필터링을 수행한다. 히스토그램에서 인접한 계조도의 분포를 스무딩(smoothing)함으로써, 주요한 히스토그램 피크를 찾을 수 있게 하고 지역적인 피크를 감소시킬 수 있다[13].

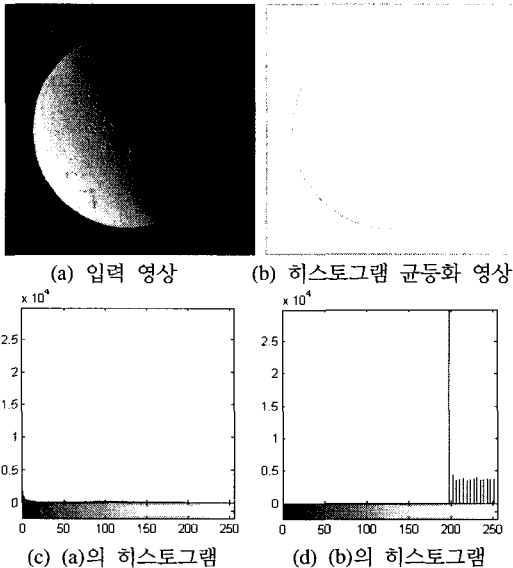
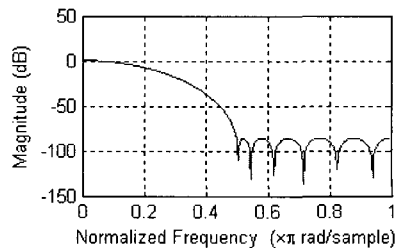


그림 2. 히스토그램 균등화의 과도한 계조도 변화

표 1. 저역통과 필터 계수($N=13$)

$h(0) = h(7) = 0.018$
$h(1) = h(8) = 0.018$
$h(2) = h(9) = 0.0352$
$h(3) = h(10) = 0.0794$
$h(4) = h(11) = 0.1364$
$h(5) = h(12) = 0.1861$
$h(13) = 0.2060$



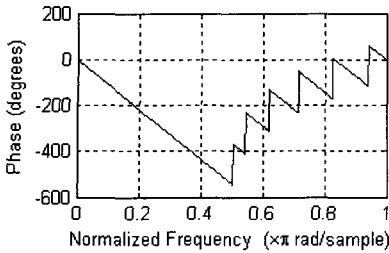
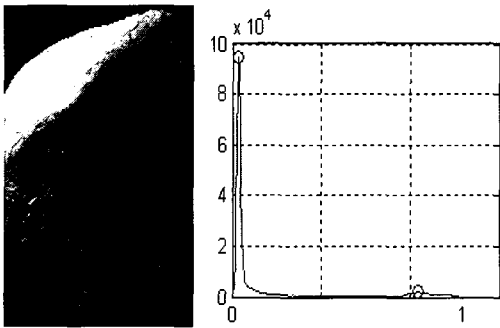


그림 3. 저역통과 필터의 주파수 응답

3.3 히스토그램에서의 피크 검출

히스토그램을 스무딩시켰지만 다수의 피크가 존재할 수 있는데, 인간 시각에서 평탄 지역에서는 화소의 계조도값이 크게 변하지 않을 경우, 이를 인식하지 못하므로 피크들간의 간격과 피크의 크기에 실험적으로 구한 문턱치($\Delta \leq 10$)를 두어 피크의 개수를 제한하였다. 또한, 피크가 많을수록 가우시안의 개수를 증가시키고 시스템의 효율을 떨어뜨린다. 히스토그램에서 피크검출은 기본적으로는 zero-crossing 방법을 이용하였고 이때 검출된 피크의 수를 감소시키기 위하여 영역성장법을 이용하였다[2].



(a) 입력영상 (b) 피크위치

그림 4. 히스토그램과 피크 위치

3.4 다중 가우시안 모델링과 히스토그램 매칭

히스토그램에서 피크의 위치와 개수가 결정되면 Matlab의 normfit 함수와 식(4)를 이용해서 0 ~ 255의 선형 계조도값을 다중 가우시안에 기반한 변환함수로 변환시킨다. 이 변환 과정은 Matlab의 histeq 함수를 사용하였다[4,5].

$$f = \sum_{i=1}^N \frac{w_i}{\sqrt{2\pi\sigma_i^2}} \exp \frac{-(x_i - m_i)^2}{2\sigma_i^2} + c \quad (4)$$

여기서, N 은 피크의 개수이고, a_i 는 가중치, c 는 상수이다. 그리고, x_i 는 0 ~ 255의 선형 계조도값, m_i 는 가우시안의 평균으로 히스토그램에서 피크의 위치, σ_i 는 해당 가우시안의 분산값이다. 계조도값을 조절하는 가중치 w_i 는 피크값의 크기에 따라 지수적으로 감소시켰다. 상수 c 는 바이어스로 영상이 전체적으로 너무 어두워지거나 너무 밝아지는 것을 조절하기 위해 최대 피크치의 위치에 따라 조절하였다.

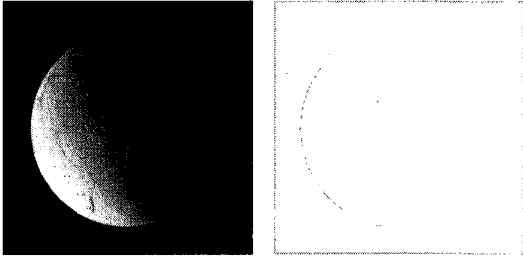
4. 실험결과

실험 영상으로는 토성의 위성 영상인 Half-lit Enceladus 영상[10], tire 영상[4] 및 직접 촬영한 green house 영상을 사용했으며, Half-lit Enceladus 영상의 히스토그램은 자연적인 영상과 달리 히스토그램이 극단적으로 분포해 있고, tire 영상은 어두운 영역에서의 자세한 질감이 나타나지 않고 있으며, green house 영상은 온실 내에서 촬영을 했기 때문에 전체적으로 어두운 특징을 갖고 있다.

세 영상에 대해 기존의 방법을 적용하면 어두운 곳에 집중되어 있는 계조도 값의 분포가 과도하게 밝은 영역으로 이동함으로써 영상들이 전체적으로 밝아져 화질의 성능개선이 잘 이루어지지 않음을 나타내고 있다. Half-lit Enceladus 영상에서는 피크가 2개로 검출되었으며, tire 영상에서는 피크가 5개로 검출되었으며, greenhouse 영상에서는 1개의 피크가 검출되었다. 해당 가우시안 분포로 히스토그램을 적용시킴으로써 극도로 어두운 부분과 밝은 부분 모두 적절한 영역에서 히스토그램이 분포하도록 변환할 수 있었다.

Half-lit Enceladus 영상에서와 같이 계조도 값이 극단적으로 분포하면 기존의 방법은 그림 5(b)에 나타난 것과 같이 히스토그램 균등화를 수행하는 의미가 없을 정도로 화질이 떨어진다. 그림 5(d)의 Tire 영상은 자연적인 영상이지만 조명의 불균형으로 어두운 부분이 드러나지 않고 있으며, 기존의 방법을 적용하면 그림 5(e)의 결과에서 보여지듯 과도한 예지나 작은 영역들이 나타나 주관적 화질이 떨어진다. 그림 5(j) green house 영상은 온실에서 낮은 조도의 환경에서 촬영한 것으로 히스토그램은 일반적인 가우시안 분포를 나타내고 있으며, 기존의 방법에서는 그림 5(h)에서 나타난 것과 같이 과도한 대비를 갖는 영상처럼 결과가 나타나 부자연스러운 화질을 나타내었다. 다만, 자연 영상인 green house 영상은 피크가 1개를 검출되

있기 때문에 히스토그램을 모델링 하는 가중치에 크게 의존하는 단점이 있다.

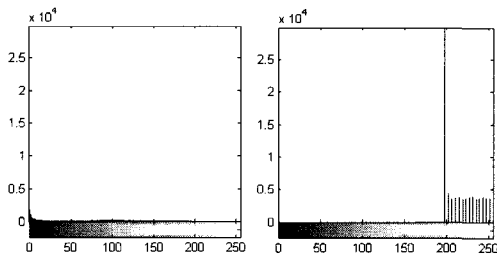


(a) 입력영상

(b) 기존 방법

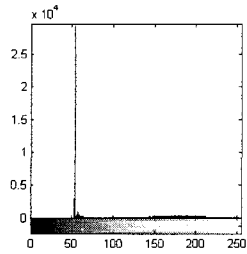


(c) 제안하는 방법

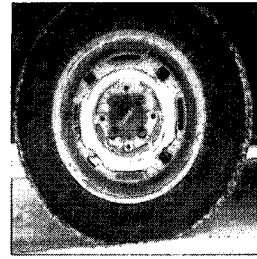


(d)(a)의 히스토그램

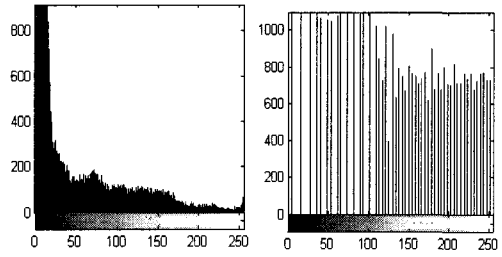
(e)(b)의 히스토그램



(f)(c)의 히스토그램

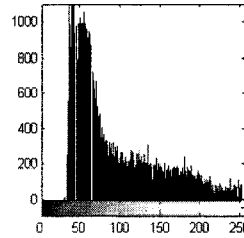


(f) 제안하는 방법



(g)(d)의 히스토그램

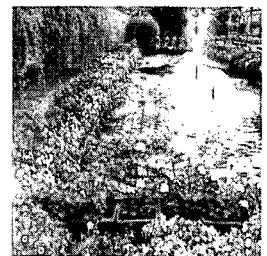
(h)(e)의 히스토그램



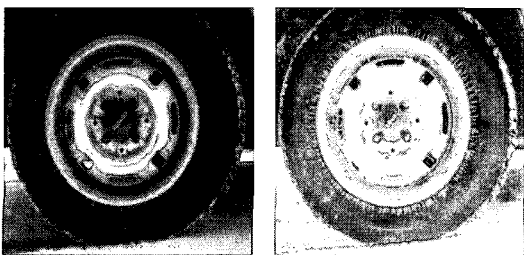
(i)(f)의 히스토그램



(j) 입력영상

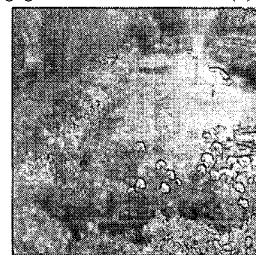


(k) 기존 방법



(d) 입력영상

(e) 기존 방법



(l) 제안하는 방법

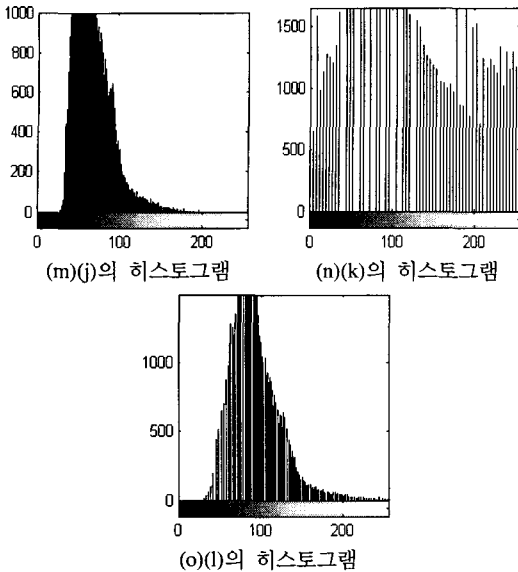


그림 5. 실험결과

5. 결론

본 논문에서는 기존의 히스토그램 균등화에서 발생하는 과도한 대비향상의 문제점을 해결하기 위해서, 변환함수를 히스토그램에 적용하는 방법을 제안하였다. 제안하는 방법은 히스토그램 매칭 방법에 기반하며, 히스토그램을 저역통과 필터링한 후, 집중화된 형태를 다중 가우시안 함수의 가중합으로 근사화시켜 표현함으로써 계조도 값의 동적영역을 조정하여 영상의 대비 향상을 가져왔다. 다양한 영상에 대한 실험 결과를 통해 일반적인 히스토그램 균등화 보다 화질이 우수한 영상을 획득하였다. 특히, Half-lit Enceladus 영상과 같이 극단적인 히스토그램의 분포를 갖는 영상에 대해 우수한 결과를 나타내었다. 추후, 제안된 방법을 컬러 영상에도 적용할 수 있도록 확장된 방법에 대한 연구가 필요하다고 사료된다.

참고문헌

[1] R. C. Gonzalez, et al., "Digital Image Processing", Prentice Hall, 2nd ed., 2002.
 [2] R. E. Woods, et al., "Digital Image Processing", Prentice Hall, 2nd ed., 2001.
 [3] A. K. Jain, "Fundamentals of Digital Image

Processing", Prentice Hall, 1989.
 [4] The Mathworks, "Image Processing Toolbox Ver. 5.1", 2005.
 [5] A. Leon-Garcia, "Probability and Random Processes for Electrical Engineering", 2nd ed., Addison-Wesley, Reading, MA, 1994.
 [6] S. Chen, et al., "Minimum Mean Brightness Error Bi-Histogram Equalization in Contrast Enhancement", IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 49, No. 4, pp.1310-1319, November, 2003.
 [7] S. J. Yang, et al., "Contrast Enhancement using Histogram Equalization with Bin Underflow and Bin Overflow", Proc. of International Conference on Image Processing, pp. 881-884, September, 2003.
 [8] Y. T. Kim, "Contrast Enhancement using Brightness Preserving Bi-Histogram Equalization", IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 43, No. 1, pp.1-8, February, 1977.
 [9] T. K. Kim, et al., "Contrast enhancement system using spatially adaptive histogram equalization with temporal filtering", IEEE Trans. on Consumer Electronics, vol. 44, no. 1, pp.82-86, February, 1998.
 [10] <http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA08286>
 [11] 윤병우, 송우진, "일반화된 히스토그램을 이용한 적응 대비향상 기법", 제18회 신초처리합동학술대회 논문집, 제18권 1호, pp. 1-4, 2005.
 [12] 김태민, 양현승, "동방성 가우시안 혼합모델의 균등분포 최소화승적합을 이용한 히스토그램 균등화의 다차원 확장에 관한 연구", 제 18회영상처리 및 이해에 관한 워크샵 발표 논문집, pp. 151-161, February, 2006.
 [13] T. W. Parks, et al., "Digital Filter Design", John Wiley & Sons, Inc., 1987.

민 병 석(Byong-Seok Mim)

[정회원]



- 1990년 2월 : 한양대학교 전자통신공학과 (공학사)
- 1992년 8월 : 한양대학교 전자통신공학과 (공학석사)
- 2003년 2월 : 한양대학교 전자통신공학과(공학박사)
- 2003년 7월 ~ 2004년 7월 : 캐나다 알버타대학교 전자 및 컴퓨터공학과 박사후 연구
- 1995년 3월 ~ 현재 : 충청대학 디지털전자통신과 부교수

<관심분야>
 영상처리, 영상통신, 멀티미디어통신