일반논문-10-15-3-02

색채 항상성 방법과 경계 영역 기반 히스토그램 평활화 방법을 이용한 영상의 화질 향상 방법

조 동 찬[a], 강 형 섭[a], 김 회 율[a]‡

An Image Enhancement Algorithm based on Color Constancy and Histogram Equalization using Edge Region

Dong-Chan Cho[a], Hyung-Sub Kang[a], and Whoi-Yul Kim[a]‡

요 약

고선명 영상에 대한 수요가 증가하면서 다양한 방면에서 좀 더 선명하고 큰 영상을 보고 촬영하려는 요구가 늘어나고 있다. 특히 디스플레이 장치의 크기가 커지고 이에 따라 영상의 해상도가 커지면서 영상에서 나타나는 잡음이나 화질 저하가 이전에 비하여 더욱 더 눈에 띄게 나타나게 되었다. 본 논문에서 고선명 영상과 같이 해상도가 큰 영상의 색상과 명암 대비를 효과적이고 빠르게 개선하기 위한 방법을 제안한다. 고해상도 영상에서 처리 속도를 높이면서 효과적으로 화질 향상 방법을 적용하기 위해 고해상도 영상을 축소시킨 영상에서 화질 향상 방법에 필요한 변수를 추출해낸다. 영상의 색상을 향상시키기 위해 기존의 색채 항상성 방법을 개선시킨 방법을 적용하였고 명암 대비를 향상시키기 위해 경계 영역을 활용한 변형 히스토그램 평활화 방법을 적용하였다. 마지막으로 고해상도 영상을 촬영할 수 있는 디지털 캠코더를 이용하여 촬영한 실험 영상으로 제안하는 방법의 성능을 분석하였다.

Abstract

A unified image enhancement method is proposed for high-resolution image which based on color constancy and histogram equalization using edge region. To speed up the method, smaller image is used when parameters of color constancy and histogram equalization are determined. In the color constancy process, nth-derivative of gaussian is applied to x and y axis separately in order to estimate the color of the illumination rapidly. In the histogram equalization process, the histogram obtained from near-edge region is used for the histogram equalization. In the experiments, high-resolution images taken by digital camcorder are used for verifying the performance of the proposed method.

Keyword: Color Enhancement, Contrast Enhancement, Color Constancy, Histogram Equalization

Ⅰ. 서 론

영상의 화질을 향상시키기 위한 노력은 영상 장비가 처음 개발되었던 시기부터 계속되어 왔다. 이러한 과정 중에 하나로 영상 촬영 장비 자체를 발전시켜 좀 더 효과적이고 정확하게 영상을 촬영할 수 있도록 하는 노력이 하드웨어 분야에서 진행되어 왔다. 소프트웨어 분야에서는 영상 장비를 이용하여 촬영한 영상을 바탕으로 영상의 명암 대비를 향상시키고 색상을 보정하고 선예도를 향상시키는 방법

a) 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과
Hanyang University, Department of Electronics Computer Engineering
‡ 교신저자 : 김회율(wykim@hanyang.ac.kr)
· 접수일(2009년12월28일),수정일(2010년4월12일),게재확정일(2010년5월10일)

들이 개발되어 왔다. 영상의 화질을 향상시키는 것은 단순히 사람들이 보고 느끼기에 더 화사하고 선명한 영상을 만드는 과정으로 생각될 수 있지만 로봇비전 분야와 같은 영상처리의 고급 분야에서는 본 작업 이전에 전처리 과정으로 영상 화질을 향상시켜 성능 향상을 꾀하기도 한다.

영상의 화질을 결정하는 요소 중에 색상과 명암 대비가 가장 큰 역할을 하는 요소들 중 하나이다. 이는 동일한 장면을 사람의 눈으로 직접 본 것과 디지털 카메라와 같은 영상 장비를 이용하여 촬영하였을 때 색상과 명암 대비 관점에서 큰 차이를 보이기 때문이다. 색상의 관점에서 보면 물체의 색은 물체에 비치는 조명 파장 중에 물체가 반사하는 파장 성분이 사람의 눈이나 카메라의 센서에 들어오면서 물체의 색으로 인식되고 촬영된다. 이 때 반사되는 파장 성분은 조명의 파장에 영향을 받게 되는데 조명이 붉은 색일 경우 전반적으로 붉게 촬영되고 조명이 푸른색일 경우 전반적으로 푸르게 촬영된다. 일반적인 카메라의 경우 이러한 조명의 영향을 여과 없이 그대로 촬영하기 때문에 촬영된 사진이 붉거나 푸르게 나타난다. 반면 사람의 눈에는 색순응이라는 기능이 있어서 조명이 붉거나 푸르더라도 어느 정도 물체 본연의 색을 그대로 인식할 수 있게 해준다. 이러한 차이 때문에 조명이 과도하게 특정 파장으로 몰린 환경에서 촬영된 영상을 사람이 볼 경우 화질이 나쁘다고 느끼게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 색상 항상성(color constancy) 연구가 오랫동안 진행되어 왔고 이러한 연구의 결과를 토대로 디지털 카메라에 색상 항상성을 구현한 것이 자동 화이트밸런스(auto white balance)기능이다. 영상의 명암 대비는 색상과 더불어 영상의 화질을 결정하는 중요한 요소 중에 하나이다. 영상이 낮은 명암 대비를 가지는 데에는 여러 가지 이유가 있는데 낮은 성능의 영상 촬영 장비를 이용하거나 촬영 당시 주변 환경에 의해서도 영향을 받게 된다. 일반적으로 명암 대비가 낮은 영상의 경우 전체적으로 영상에 흐릿한 안개가 끼어있는 것과 같은 효과가 나타난다. 이러한 현상을 제거하여 보다 선명하고 색상이 잘 살아나는 영상을 만드는 것이 명암 대비 향상의 목적이다.

최근 들어 영상 촬영 및 표현 장비들이 첨단화 되면서 고선명(high-definition) 영상을 이용하는 제품들이 많이 발표되고 있다. 고선명 TV나 고선명 영상 촬영용 디지털 캠코더가 그러한 예인데 이러한 제품에서 기존의 영상처리 방법들을 그대로 적용하기에는 연산 시간이 많이 들기 때문에 연산량을 줄일 필요가 있다. 본 논문에서는 해상도가 큰 영상의 화질을 빠르게 개선하고 색상과 명암 대비를 향상시킬 수 있는 방법에 대하여 논할 것이다.

II. 연구 동향

1. 색채 항상성

색채 항상성을 구현하기 위한 방법으로 Gray-world방법과 max-RGB방법이 가장 널리 알려져 있다[1][2]. Gray-world방법은 영상에서 R, G, B채널 각각의 밝기 평균이 무채색을 이룬다는 가정을 이용하는 방법으로 콘텐츠가 복잡한 영상에서는 우수한 결과를 보여주지만 단일 물체가 영상 내에 많은 부분을 차지할 경우 해당 물체의 색상에 영향을 많이 받게 되어 올바르지 않은 결과를 보여준다. max- RGB 방법은 R, G, B채널 각각에서 가장 밝은 값이 조명 그 자체이거나 조명의 영향을 가장 많이 받은 부분이라고 가정하는 방법으로 가장 밝은 R, G, B값의 비율을 이용하여 영상을 보정한다. 이 방법의 경우 실제로 영상 내에 조명이 존재하는 경우 우수한 결과를 보여주지만 그렇지 않은 영상의 경우 좋은 결과를 기대하기 어렵다. 또한 R, G, B채널 모두에 밝기 값이 포화 상태인 픽셀이 존재할 경우 max-RGB방법으로는 처리가 불가능하다. 이 밖에도 좋은 결과를 보여주는 색채 항상성 방법에는 색역 사상(gamut mapping) 방법이 있다[3]. 이 방법은 기준이 되는 흰색 조명에서 나타날 수 있는 RGB값의 영역을 convex hull형태로 정의한 후 특정 조명에서 나타나는 RGB값의 convex hull 영역을 기준 조명의 convex hull로 변환하는 변환식을 계산해내는 방법이다. 최근에는 영상 밝기의 n차 미분값을 이용하여 조명의 색상을 파악하는 Grey-edge방법이 제안되었다[8].

Lambertian 표면에서 디지털 카메라와 같은 영상 장비를 이용하여 촬영된 영상 f는 조명의 색상 e(λ), 물체 표면의 반사율 s(x, λ), 그리고 카메라의 R, G, B채널별 민감도 함

수 c(λ)로 구성되어 다음과 같은 수식으로 표현할 수 있다[7].

$$\mathbf{f}(\mathbf{x}) = \int_w e(\lambda)\mathbf{c}(\lambda)s(\mathbf{x},\lambda)d\lambda$$

이 때 λ는 빛의 파장을 의미하고 x는 영상에서 각 픽셀의 좌표를 의미한다. 색채 항상성 방법의 최종 목표는 조명의 색상 e(λ)를 알아내거나 조명의 색상을 R, G, B채널별 민감도를 이용하여 표현한 e를 알아내는 것이다.

$$\mathbf{e}=\begin{pmatrix}R_e\\G_e\\B_e\end{pmatrix}=\int_w e(\lambda)\mathbf{c}(\lambda)d\lambda$$

하지만 우리가 알고 있는 정보는 촬영된 영상 정보 f만을 알고 있기 때문에 조명의 색상 e(λ)이나 물체 표면의 반사율 s(x, λ)를 직접적으로 알아낼 수 없다. Gray-world방법은 영상에서 물체 표면의 반사율 s(x, λ)의 평균이 동일하다고 가정하여 물체 표면의 반사율 s(x, λ)를 상수로 고정하고 영상 전체에서 R, G, B채널별 밝기 값의 평균이 조명의 색상 e(λ)의 비율과 동일하도록 만들어 조명의 색상을 알아낸다[1].

$$\frac{\int s(\mathbf{x},\lambda)d\mathbf{x}}{\int d\mathbf{x}}=k$$

$$\frac{\int \mathbf{f}(\mathbf{x})d\mathbf{x}}{\int d\mathbf{x}}=\frac{1}{\int d\mathbf{x}}\iint_w e(\lambda)s(\mathbf{x},\lambda)\mathbf{c}(\lambda)d\lambda d\mathbf{x}$$
$$=k\int_w e(\lambda)\mathbf{c}(\lambda)d\lambda=k\mathbf{e}$$

weijer는 Gray-world방법과는 다른 가정을 제안하였는데 물체 표면 반사율의 평균이 동일하다는 가정 대신에 반사율의 도함수의 평균이 동일하다는 가정을 사용하였다[8]. 이 방법을 Gray-Edge방법이라고 한다.

$$\frac{\int |s_{\mathbf{x}}(\mathbf{x},\lambda)|d\mathbf{x}}{\int d\mathbf{x}}=k$$

이 때 변수 s의 첨자 x는 반사율의 도함수를 의미한다. 이 방법은 실험적으로 Gray-world방법에 비하여 더 좋은 결과를 보여주었다. weijer는 또한 이전의 방법을 좀 더 확장하여 색채 항상성을 위한 통합 프레임워크를 제안하였다[9].

$$\left(\int\left|\frac{\partial^n \mathbf{f}^{\sigma}(\mathbf{x})}{\partial \mathbf{x}^n}\right|^p d\mathbf{x}\right)^{1/p}=k\mathbf{e}^{n,p,\sigma}$$

이 방법은 영상 밝기의 n차 미분값을 이용하여 조명의 색상을 알아내고 미분을 적용하기 전에 표준편차가 σ인 가우시안 커널을 적용하여 노이즈의 영향을 줄여주었다. p번째 Minkowski norm을 이용하는 것은 검증된 방법으로 이 역시 색채 항상성의 성능을 높여준다[10].

2. 명암대비 향상

명암 대비를 향상하기 위한 방법은 오랜 기간 동안 연구되어 왔다. 가장 오래 전부터 폭 넓게 사용되는 명암 대비 방법은 감마보정을 이용하는 방법으로 원본 밝기 값을 감마 곡선을 이용하여 특정 밝기 값으로 변환하는 방법이다. 이 방법은 연산이 간단한 장점이 있지만 영상마다 최적의 감마 변환 곡선을 찾아야하는 단점이 있다. 히스토그램 평활화 방법은 영상 히스토그램이 전체 밝기값 영역에서 골고루 분포하도록 변환하는 방법으로 간단하면서 영상마다 서로 다른 변환 곡선을 찾아내어 적응적으로 영상을 변환시킬 수 있는 장점이 있다[4]. 하지만 밝은 영역과 어두운 영역이 극명하게 나눠지는 영상에 히스토그램 평활화 방법을 적용할 경우 어두운 영역의 값들이 과도하게 밝아지면서 영상 잡음이 그대로 나타나는 단점이 있다. 이를 해결하기 위해 영상을 여러 영역으로 나눠서 각각 히스토그램 평활화를 적용하는 방법이 있다[5]. Retinex기반의 방법들은 이웃하는 픽셀간의 밝기 값의 비율을 이용하여 조명의 영향을 제거하고 물체 본연의 색을 찾아내는 방법으로 색채 항상성과 명암 대비를 동시에 구현할 수 있는 방법이지만 연산이 복잡하고 평탄한 영역이 넓은 경우 부자연스러운 결과를 얻게 된다[6].

히스토그램 평활화 방법은 입력 영상의 히스토그램을 이

용하여 변환 함수를 생성하는 방법으로 영상의 밝기 값이 어두운 영역부터 밝은 영역까지 골고루 퍼지도록 만든다. 하지만 입력 영상의 히스토그램을 그대로 이용할 경우 너무 과도하게 명암 대비가 커지는 현상이 발생할 수 있다. 이에 따라 다양한 수정된 히스토그램 평활화 방법이 제안되어 왔다. 최근 Arici는 원본 영상과 히스토그램 평활화 결과를 조합하여 새로운 히스토그램을 생성하고 이를 이용하여 영상의 명암대비를 개선하는 방법을 제안하다[11]. 이 방법에서는 입력 영상의 히스토그램과 균등분포 히스토그램의 조합을 이용하여 특정 히스토그램을 생성하고 이 히스토그램을 이용하여 히스토그램 평활화를 적용하는 방법으로 다음과 같은 식을 이용한다.

$$\tilde{\mathbf{h}}=\underset{h}{\arg\min} \| \mathbf{h}-\mathbf{h_i} \|_2^2+\lambda \| \mathbf{h}-\mathbf{u} \|_2^2$$

이 때 $\tilde{\mathbf{h}}$, h, hi, u∈R256x1이고 hi는 입력 영상의 히스토그램을 의미하고 u는 균등분포 히스토그램을 의미하고 $\tilde{\mathbf{h}}$는 수정된 히스토그램을 의미한다. 위 식의 수정된 히스토그램 $\tilde{\mathbf{h}}$는 변수 λ에 의하여 결정되는데 λ값이 0일 경우 입력 영상의 히스토그램 hi을 그대로 이용하여 히스토그램 평활화를 원본 영상에 적용하게 되고 λ값이 클 경우 균등분포 히스토그램 u을 이용하여 히스토그램 평활화를 원본 영상에 적용하게 되어 원본 영상과 동일한 영상이 결과로 나오게 된다.

이밖에도 원본 영상에서 얻은 히스토그램의 모양을 변경하여 히스토그램 평활화를 적용할 때 나타나는 단점을 보완하는 방법들이 있다. Park이 제안한 Dynamic Range Separate Histogram Equalization(DRSHE)방법은 원본 영상의 히스토그램을 n개의 영역으로 나눈 후 각 영역의 가중치에 따라 결과 히스토그램에서 차지하는 밝기값의 범위를 결정하여 히스토그램 평활화 적용 후 영상의 명암 대비가 과도하게 증가하는 것을 방지하였다.[14]

III. 제안 방식

본 논문에서는 영상의 화질을 향상시키기 위하여 색채 항상성과 명암대비 향상을 수행하는 통합 화질 향상 방법을 제안한다. 특히 이 방법에서는 해상도가 큰 영상에서 연산 속도를 높이기 위하여 축소 영상을 생성한 후 이 축소 영상에서 색상 항상성 방법과 명암 대비 향상 방법에서 필요로 하는 변수를 계산한다. 이렇게 계산된 변수를 이용하여 색상 항상성 과정을 원본 영상에 적용한 후 축소 영상에서 추출한 경계 영역을 이용하여 영상의 명암 대비 향상시켜 결과 영상을 얻는다. 이 때 색채 항상성 과정이 명암대비 향상 과정보다 선행되어 적용되는데 이는 조명에 의한 색 틀어짐이 존재하는 원본 영상에서 조명의 영향을 먼저 제거한 후 명암 대비를 향상시켜 영상의 색상과 명암 대비를 효과적으로 보정하기 위함이다. 특히 명암 대비 방법을 칼라 영상에 적용할 때 색상과 밝기값이 분리되어 있는 색공간에서 밝기값에만 적용하기 때문에 색채 항상성의 결과가 변경되지 않는다. 반대로 명암 대비 향상 과정을 먼저 시행한 후 색상 항상성 과정을 적용할 경우 명암 대비 향상 과정에서 영상의 밝기 값이 0이나 255에 가깝게 포화되면서 색상 항상성에서 조명의 밝기값을 측정할 때 오류가 발생할 수 있다.

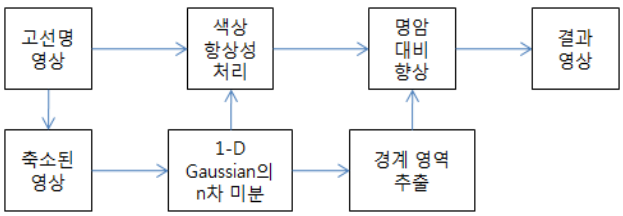


그림 1. 제안하는 화질 향상 알고리즘
Fig. 1. proposed method for image enhancement

1. 색채 항상성

고선명 영상과 같이 해상도가 큰 영상의 경우 기존의 영상처리 방법들에서 흔히 사용되었던 실험 영상들에 비하여 해상도가 크기 때문에 기존의 방법을 그대로 적용하였을 경우 처리 시간이 많이 걸리게 된다. 하지만, 고해상도 영상과 이 영상을 일정 크기로 줄인 저해상도 영상 간에 영상의 정보 차원에서 큰 차이점을 찾기는 힘들다. 오히려 고해상도 영상에는 저해상도 영상에 비하여 정보가 중복되는 영

영상 집합		평균 에러	영상 집합		평균 에러
실내	건물 입구 [그림8 (b)]	0.0217	실외	골목길 야경 [그림8 (k)]	0.1917
	붉은 조명1 [그림8 (h)]	0.0818		건물앞 야경 [그림8 (a)]	0.0751
	붉은 조명2 [그림8 (l)]	0.2064		맑은 날 [그림8 (d)]	0.0179
	지하철1 [그림8 (f)]	0.0189		버스 안 [그림8 (e)]	0.0425
	지하철2 [그림8 (g)]	0.0095		산 [그림8 (i)]	0.0077
	푸른 조명 [그림8 (j)]	0.1333		운동장 [그림8 (c)]	0.0393

표 1. 고해상도 영상과 저해상도 영상에서 측정한 조명 색상의 차이 에러
Table 1. the angular difference of the expected color of the light between the high resolution image and the low resolution image

역이 더 넓게 분포하게 된다.

표 1은 1920x1080크기의 고해상도 영상과 이 영상을 1/4 크기로 줄인 480x270영상에서 Gray-world방법을 이용하여 RGB색공간에서 조명의 색상을 각각 구한 후 색상간의 각도 에러의 평균을 구한 것이다. 표 1에 나열한 영상 집합 전체의 각도 에러의 평균은 0.0442이다. 일반적으로 성능이 좋은 색채 항상성 방법들의 각도 에러가 2-3정도인 것을 감안하면 영상 크기를 조정하면서 발생하는 각도 에러는 무시할 수 있을 정도이다. 앞의 결과를 토대로 하여 화질 향상 방법에 적용되는 변수를 알아내기 위하여 고해상도 영상을 그대로 사용하는 것이 아니라 해상도를 줄인 축소 영상을 사용한다.

색채 항상성을 구현하기 위해 실험적으로 결과가 가장 좋게 나타난 Gray-Edge 방법을 사용하였다. Gray-Edge방법은 잡음을 제거하고 색채 항상성의 결과를 향상시키기 위해 가우시안 형태의 필터를 영상에 먼저 적용하고 n차 미분 값을 계산하였다. 하지만 가우시안 필터를 영상에 그대로 적용할 경우 높은 계산량 때문에 하나의 영상을 처리하는데 시간이 오래 걸리게 된다. 제안하는 방법에서는 그림 2에서 보는 것과 같이 1차원 가우시안 함수의 n차 미분을 먼저 계산하여 필터를 만들어 놓고 해당 필터를 영상의 X축, Y축에 각각 적용하는 방법을 사용하였다.

원본 영상 f(x, c), c∈{R, G, B}를 축소한 영상을 fs(x, c)라고 하고 표준편차가 σ인 가우시안 함수를 n차 미분한 일차원 필터를 G(k), k=0, ..., 2m라고 하자. 이 때 일차원 필터 G(k)를 영상 fs(x, c)의 x축과 y축 방향으로 연산한 결과를 각각 pσ,n, qσ,n라고 하자.

$$p_{\sigma,n}(\mathbf{x},c) = \sum_{k=-m}^{m} f_s([x+k, y], c)\, G(k+m)$$

$$q_{\sigma,n}(\mathbf{x},c) = \sum_{k=-m}^{m} f_s([x, y+k], c)\, G(k+m)$$

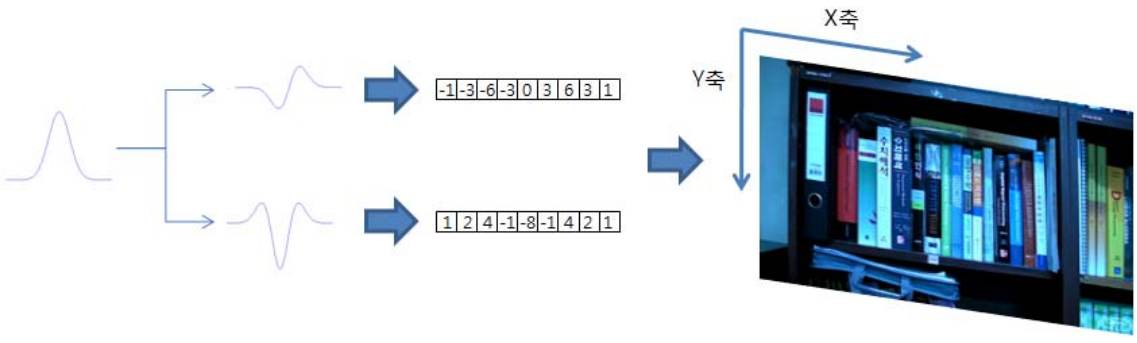


그림 2. 가우시안 함수의 n차 미분 필터를 적용
Fig. 2. applying n-th derivative filter of the gaussian function

이 때 영상의 픽셀 위치 x에서 R, G, B채널별로 가우시안의 n차 미분 필터를 적용한 결과를 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$r_{\sigma,n}(\mathbf{x},c)=\sqrt{p_{\sigma,n}^2+q_{\sigma,n}^2}\approx p_{\sigma,n}+q_{\sigma,n},\quad c\in\{\mathrm{R},\mathrm{G},\mathrm{B}\}$$
$$\mathbf{r}_{\sigma,n}(\mathbf{x})=(r_{\sigma,n}(\mathbf{x},\mathrm{R}),r_{\sigma,n}(\mathbf{x},\mathrm{G}),r_{\sigma,n}(\mathbf{x},\mathrm{B}))$$

이를 Gray-Edge식에 대입하면 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\left(\int \mathbf{r}_{\sigma,n}(\mathbf{x})^p d\mathbf{x}\right)^{1/p}=k\mathbf{e}^{n,p,\sigma}$$

이렇게 구해진 조명의 밝기 en,p,σ를 이용하여 원본 영상 f(x, c)의 R, G, B채널 각각을 보정해주면 색채 항상성을 구현할 수 있다.

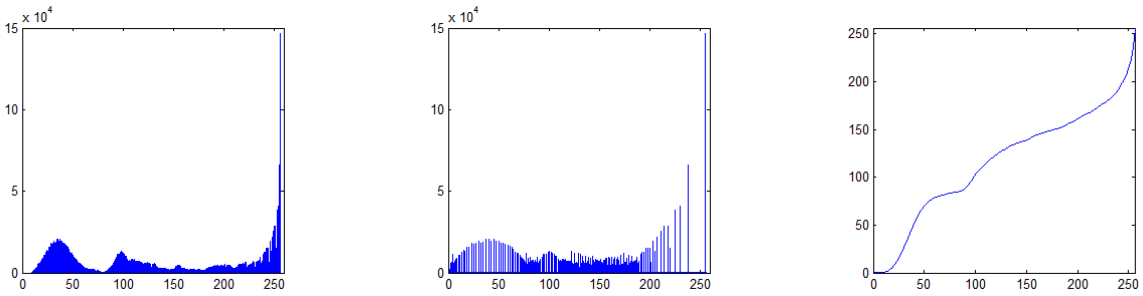
2. 명암 대비 향상

영상의 명암 대비 향상을 위해 가장 보편적으로 사용하는 방법으로 히스토그램 평활화 방법이 있다. 이 방법은 영상의 히스토그램을 생성하여 각 히스토그램의 빈에 균일한 개수의 픽셀이 할당되도록 밝기값을 보정해주는 방법으로 히스토그램이 어느 정도 고르게 분포하는 영상에서는 좋은 결과를 보여주지만 히스토그램이 어느 한 쪽으로 치우치는 영상에서는 좋지 않은 결과를 보여준다. 그림 3 (a) 영상은 디지털 카메라를 이용하여 촬영한 영상으로 하늘영역이 매우 밝고 산 영역이 어둡게 나타난다. 이 영상에 히스토그램 평활화 과정을 적용한 결과가 그림 3 (b)에 있는 그림으로 하늘 부분과 땅 영역 사이에 경계가 확연이 드러나는 것을 확인할 수 있다.

일반적으로 히스토그램 평활화 방법을 적용하였을 때 좋

(a) (b)

그림 3. 히스토그램 평활화 결과
Fig. 3. the result of histogram equalization



(a) (b) (c)

그림 4. 히스토그램 결과와 변환 곡선: (a) 원본 영상의 히스토그램 (b) 히스토그램 평활화를 적용한 영상의 히스토그램 (c) 원본 영상의 누적 분포 함수
Fig. 4. the result histogram and its transfer curve: (a) the histogram of the original image (b) the histogram of the result image (c) cumulative distribution function

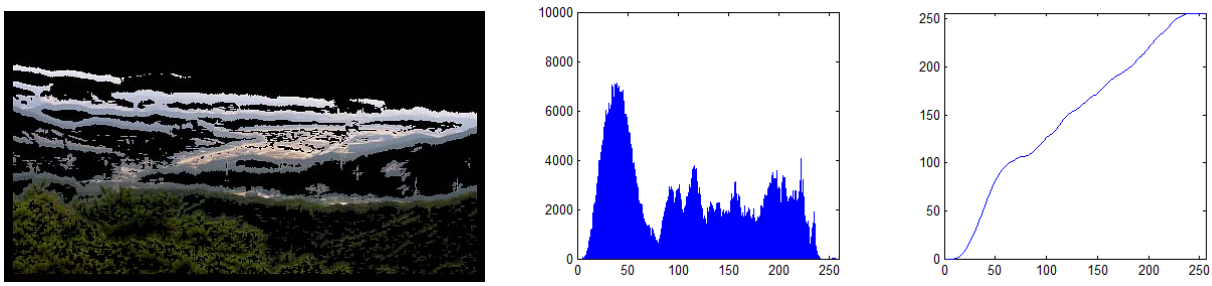
지 않은 결과를 보여주는 영상들의 히스토그램을 분석해 보면 너무 많은 픽셀들이 하나의 밝기 값에 집중되는 현상을 볼 수 있다. 앞에서 살펴본 그림 3 (a) 영상을 HSI색공간으로 변환한 후 밝기 채널의 히스토그램이 그림 4 (a)에 나타나 있다.

그림 4 (a)에 있는 히스토그램을 살펴보면 밝기값 255 근방에 픽셀이 몰려있는 것을 볼 수 있는데 이 히스토그램을 기반으로 하여 히스토그램 평활화를 그림 3 (a)에 적용하면 그림 3 (b)와 같은 결과를 얻게 되고 그림 4 (b)에 있는 히스토그램이 이 결과 영상의 히스토그램이다. 그림 4 (c)에 있는 곡선은 히스토그램 평활화 과정에서 사용한 누적 분포 함수로 원본 영상의 픽셀 중 밝기값 255근방의 값을 220-255사이의 값으로 확장하였다. 이 때 밝기 값 255를 가지는 영역과 255보다 조금 어두운 밝기 값을 가지는 영역 간의 변환 결과 값이 큰 차이를 보이기 때문에 그림 3 (b)에서 보는 것과 같이 하늘 영역과 땅 영역이 분리되는 형태의 부작용이 나타나게 된다.

본 논문에서는 이러한 부작용을 방지하기 위하여 두 가지 방법을 사용하였다. 첫 번째 방법은 원본 영상의 히스토그램을 구성할 때 영역을 한정하는 방법으로 비슷한 밝기의 영역이 넓게 분포할 때 해당 영역의 픽셀을 모두 사용하는 것이 아니라 경계부근의 영역만 사용하여 히스토그램을 생성하였다. 이 방법을 통해 비슷한 밝기 값을 가지는 넓은 영역의 픽셀들이 히스토그램을 구할 때 배제되기 때문에 결과 영상의 히스토그램이 특정 밝기값에 몰리는 것을 막을 수 있다. 원본 영상에서 경계 영역을 분리하기 위해 색채 항상성 과정에서 사용한 영상의 n차 미분 값을 활용하여 n차 미분값이 경계치 이상인 경우에만 사용하였다. 이 과정을 통하여 그림 3 (a)의 경계 영역을 구한 결과를 그림 5 (a)에서 볼 수 있다. 이 때 검정색 영역은 히스토그램을 생성할 때 제외된 영역이다. 그림 5 (a)에서 경계 영역 부근의 밝기값만을 이용하여 생성한 히스토그램이 그림 5 (b)에 나와 있다. 그리고 이 히스토그램을 이용하여 구한 변환 곡선은 그림 5 (c)에 나와 있다. 그림 5 (b)를 살펴보면 밝기값 255 근방의 히스토그램 값이 그림 4 (a)에 비하여 많이 줄어든 것을 알 수 있다. 이에 따라 그림 5 (c)에서 보는 것과 같이 변환 곡선에서 밝기값 255 근방의 값에 변화가 생긴 것을 확인할 수 있다.

제안하는 방법을 이용하여 구한 그림 5 (c)의 누적 분포 함수를 이용하여 그림 3 (a)의 원본 영상에 히스토그램 평활화 방법을 적용한 결과 영상을 그림 6에서 볼 수 있다. 이 결과 영상을 보면 하늘 영역에 경계 현상이 발생하지 않으면서 녹색의 숲 영역의 색이 더 진하게 되어 명암 대비가 향상된 것을 확인할 수 있다.

그림 6. 수정 히스토그램을 이용하여 히스토그램 평활화 방법을 적용한 결과 영상
Fig. 6. result image using histogram equalization with modified histogram



(a) (b) (c)

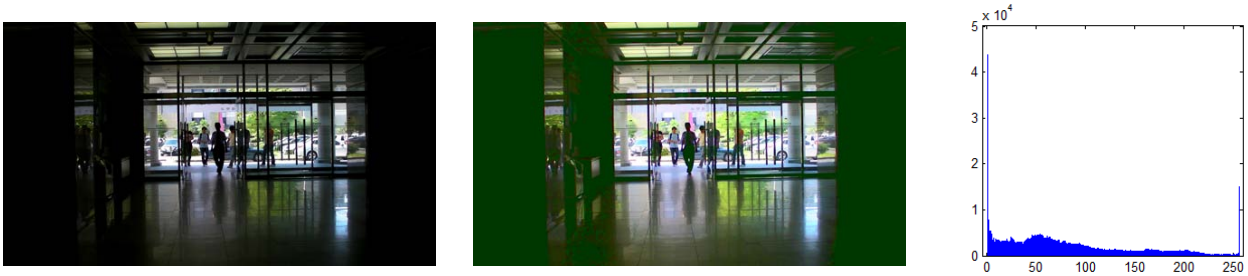
그림 5. 경계 영역을 이용하여 구한 히스토그램과 변환 곡선: (a) 경계 영역 (b) 히스토그램 평활화에 적용할 수정 히스토그램 (c) 누적 분포 함수
Fig. 5. the result histogram using near-edge region and it's transfer curve: (a) edge region (b) modified histogram (c) cumulative distribution function

그림 5 (b)의 수정 히스토그램처럼 히스토그램의 값이 효과적으로 줄어든 경우 그림 6에서 보는 것과 같이 효과적으로 명암대비가 향상되는 것을 확인할 수 있다. 하지만 제안하는 방법을 그림 7 (a)에 적용할 경우 그림 7 (b)에서 보는 것과 같이 영상이 전반적으로 밝아지면서 어두운 영역내에 존재하던 잡음이 강조되고 영상이 전반적으로 흐릿해지는 현상이 발생하였다. 이는 그림 7 (c)의 수정 히스토그램에서 보듯이 앞에서 제안한 방법을 이용해서 히스토그램이 치우치는 현상을 효과적으로 제한하지 못하여 밝기값 0부근에 값이 몰리면서 히스토그램 평활화 방법을 적용하였을 영상이 전반적으로 밝아지는 현상이 발생하였다.

이와 같이 경계 영역 근방의 밝기 값만을 이용하여 히스토그램을 생성하는 방법으로 효과적으로 명암 대비 향상이 이루어지지 않는 단점을 해결하기 위하여 히스토그램의 값이 일정 경계값 범위 이내에 들어오지 않을 경우 히스토그램의 값을 경계값 이내로 들어오도록 변경하는 방법을 추가하였다.. 이 방법을 이용하게 되면 경계값 영역을 벗어나는 히스토그램의 값을 경계값 이내로 변경함으로서 그림 7 (c)와 같이 히스토그램의 값이 과도하게 특정값에 몰리는 현상을 막을 수 있다. 이 때 변경된 히스토그램 $\tilde{\mathbf{h}}$의 값의 범위는 다음과 같이 정의된다.

$$\tilde{h}[i]=\begin{cases} h[i] & \alpha u \le h[i] \le \beta u \\ \alpha u & h[i] < \alpha u \\ \beta u & h[i] > \beta u \end{cases} \qquad i=0,\ldots,255, \alpha \le 1, \beta > 1$$

여기서 h는 입력 히스토그램, $\tilde{h}$는 결과 히스토그램을 의미하고 u는 균등 분포 히스토그램의 값을 의미한다. α는 경계 영역의 하한 경계를 결정하는 변수로 원본 영상의 영향을 높이고 싶으면 1에 가까운 값을 할당하고 히스토그램 평활화의 결과를 많이 반영하고 싶으면 0에 가까운 값을



(a) (b) (c)

그림 7. 영상의 명암대비가 효과적으로 향상되지 않은 결과: (a) 원본 영상 (b) 제안하는 방법을 적용한 결과 영상 (c) 제안하는 방법을 이용하여 얻은 수정 히스토그램

Fig. 7. ineffective result using proposed method: (a) original image (b) result image (c) modified histogram using proposed method

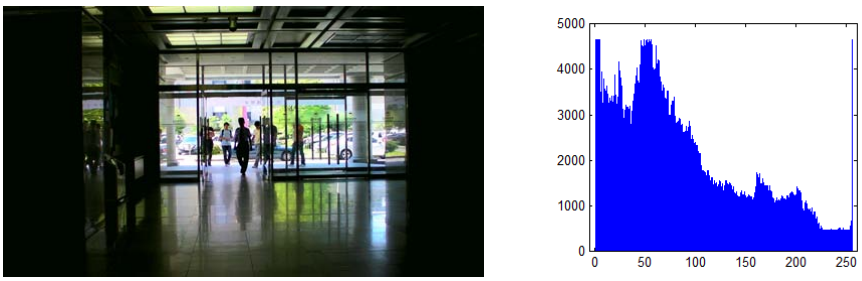


그림 8. 히스토그램 값의 범위를 한정지어서 나온 결과

Fig. 8. the result using restricting the range of the histogram value

할당한다. β는 경계 영역의 상한 경계를 결정하는 변수로 1에서 멀어질수록 히스토그램 평활화의 결과가 많이 반영된다.

그림 8에는 히스토그램의 범위를 한정짓는 방법에 의해 그림 7 (c)에 나온 히스토그램이 변경된 결과를 보여주고 있다. 그림 8의 히스토그램을 보면 밝기값 0과 255 근방의 히스토그램 값이 많이 줄어든 것을 확인할 수 있다. 이에 따라 그림 8의 영상에서 보는 것과 같이 영상의 명암 대비가 효과적으로 향상되었다.

Ⅳ. 실 험

본 논문에서는 제안하는 방법의 결과를 검증하기 위하여 Sanyo Xacti HD2000으로 촬영된 1920x1080(1080p) 해상도의 동영상에서 정지 영상을 추출하여 사용하였다. 그림 9는 실험에 사용된 영상들로 다양한 환경에서 촬영된 영상들로 구성되어 있다.

그림 9에 있는 영상들을 본 논문에서 제안하는 방법을 이용하여 색채 항상성과 명암 대비 향상을 적용한 결과를

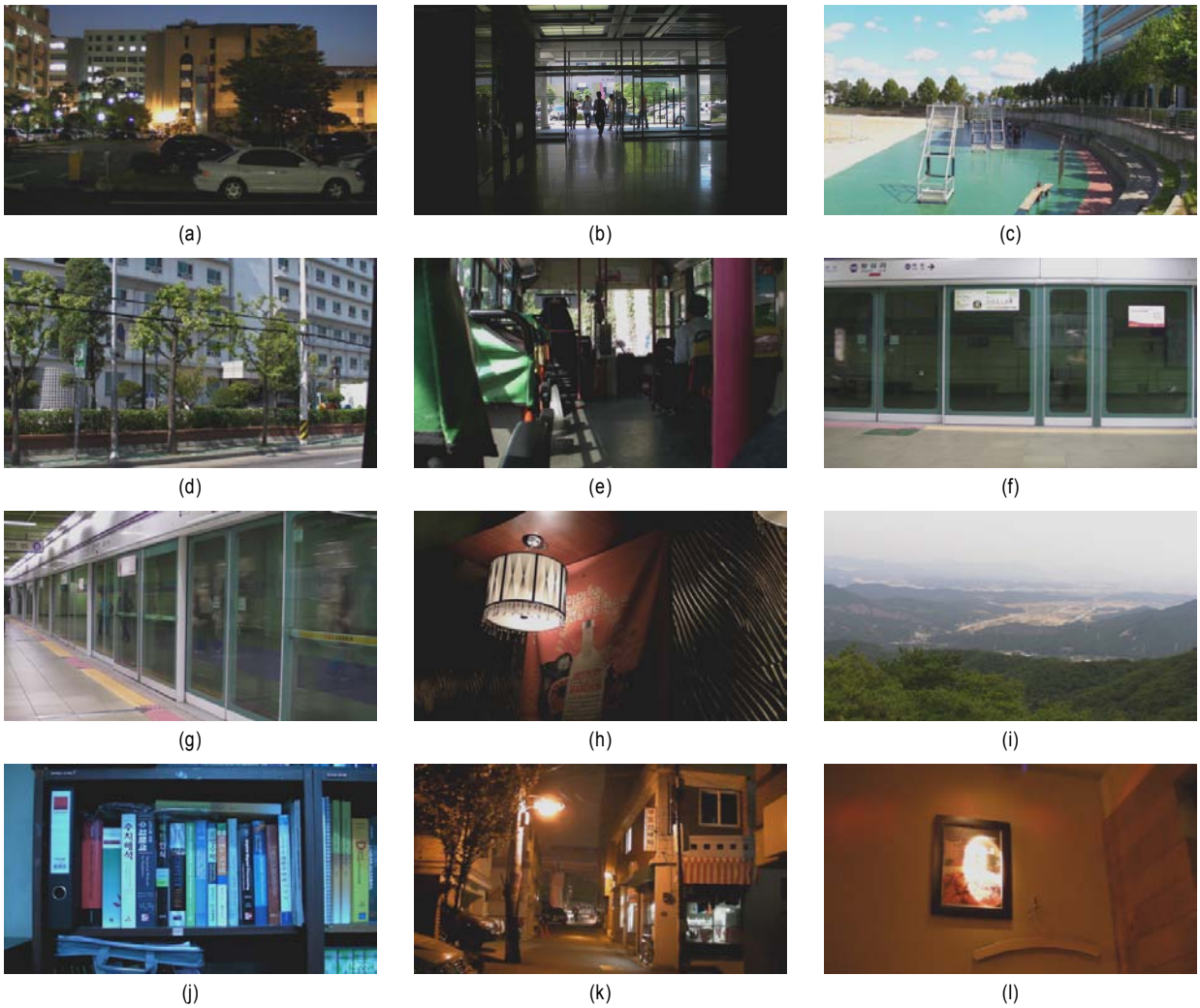


그림 9. 실험에 사용된 고해상도 영상
Fig. 9. high-definition images used in the experiment

그림 10에서 확인할 수 있다. 특히 그림 9 (a)(h)(j)(k)(l)과 같이 조명에 의해 색상이 틀어진 영상의 경우 색채 항상성 과정을 통하여 조명의 영향을 줄일 수 있었다. 또한 다양한 환경에서 촬영된 영상들에서 제안하는 방법이 효과적으로 영상의 색상을 보정하고 명암 대비를 향상시키는 것을 확인할 수 있었다.

본 논문에서 제안한 명암 대비 향상 방법의 결과를 검증하기 위하여 Histogram Equalization(HE), Bright preserving Bi-Histogram Equalization(BBHE)[12], Weighted Thresholded Histogram Equalization(WTHE)[13], DRSHE[14], Multiscale Retinex with Color Restoration(MSRCR)[15], Global Contrast Enhancement(GCE)[11] 방법들과 비교한 결과가 그림 11에 나와 있다. 이 결과들을 보면 다른 명암 대비 향상 방법에 비하여 제안하는 명암대비 향상 방법이 효과가 좋은 것을 확인할 수 있다. 그림 11 (b)의 히스토그램 평활화 방법의 경우 어두운 영역을 과도하게 밝게 만들면

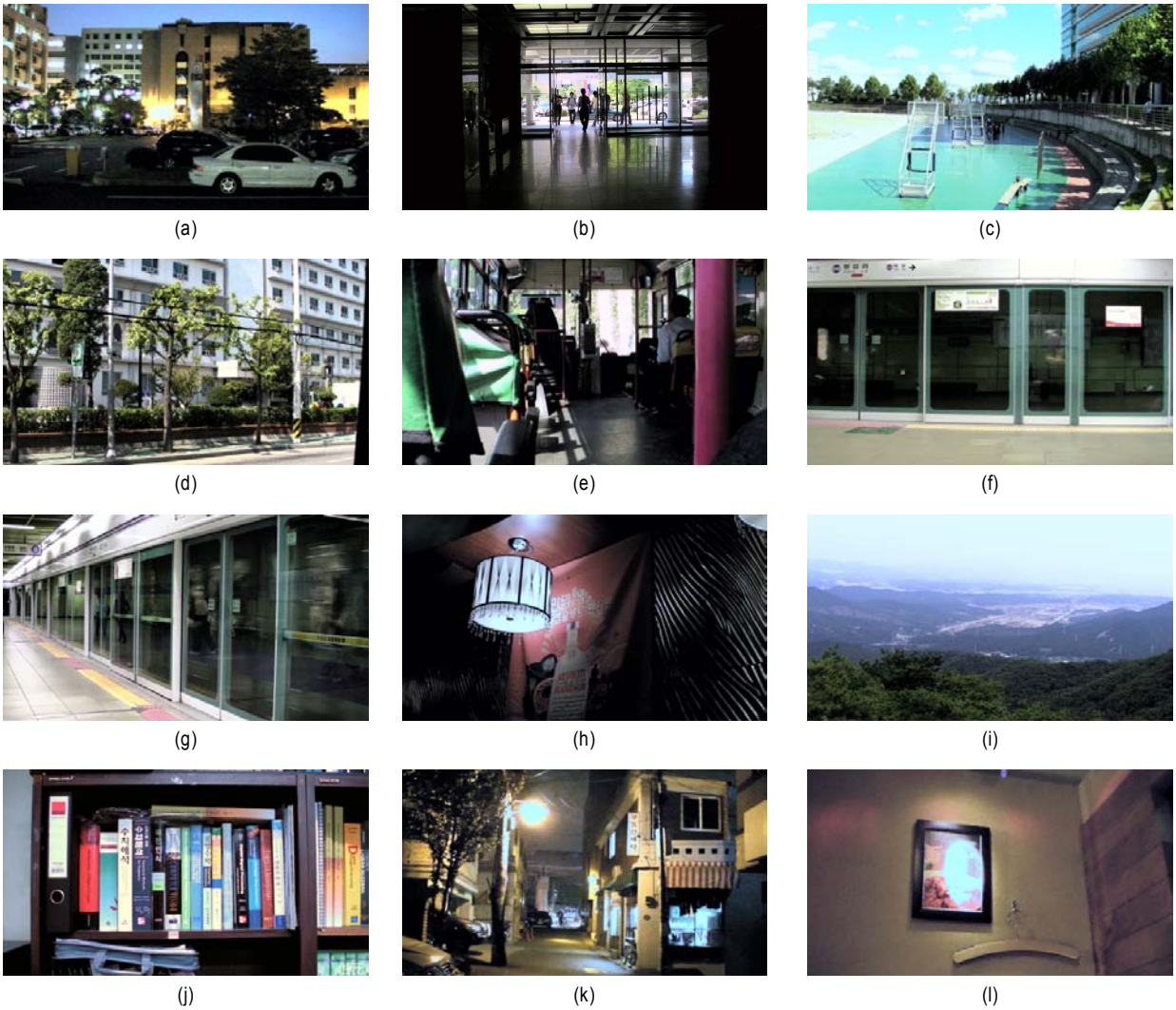


그림 10. 제안하는 방법으로 화질 향상을 한 결과 영상
Fig. 10. result images applied the proposed method

서 잡음이 증가하고 영상 전체에 회색톤이 도는 것을 확인할 수 있다. 그 외에 WTHE, DRSHE방법의 경우 너무 과도하게 명암 대비가 강조되어 영상이 흑백 영상에 가깝게 외곡된 것을 확인할 수 있다. MSRCR방법의 경우 [15]에 나와 있는 변수 설정을 그대로 사용하였을 경우 그림 11 (f)에서 보는 것과 같이 검정색 영역이 하얗게 변하는 현상이 발생하였다. 이는 MSRCR방법에서 사용하는 가우시안 필터의 분산값이 작기 때문에 발생하는 현상인데 고해상도

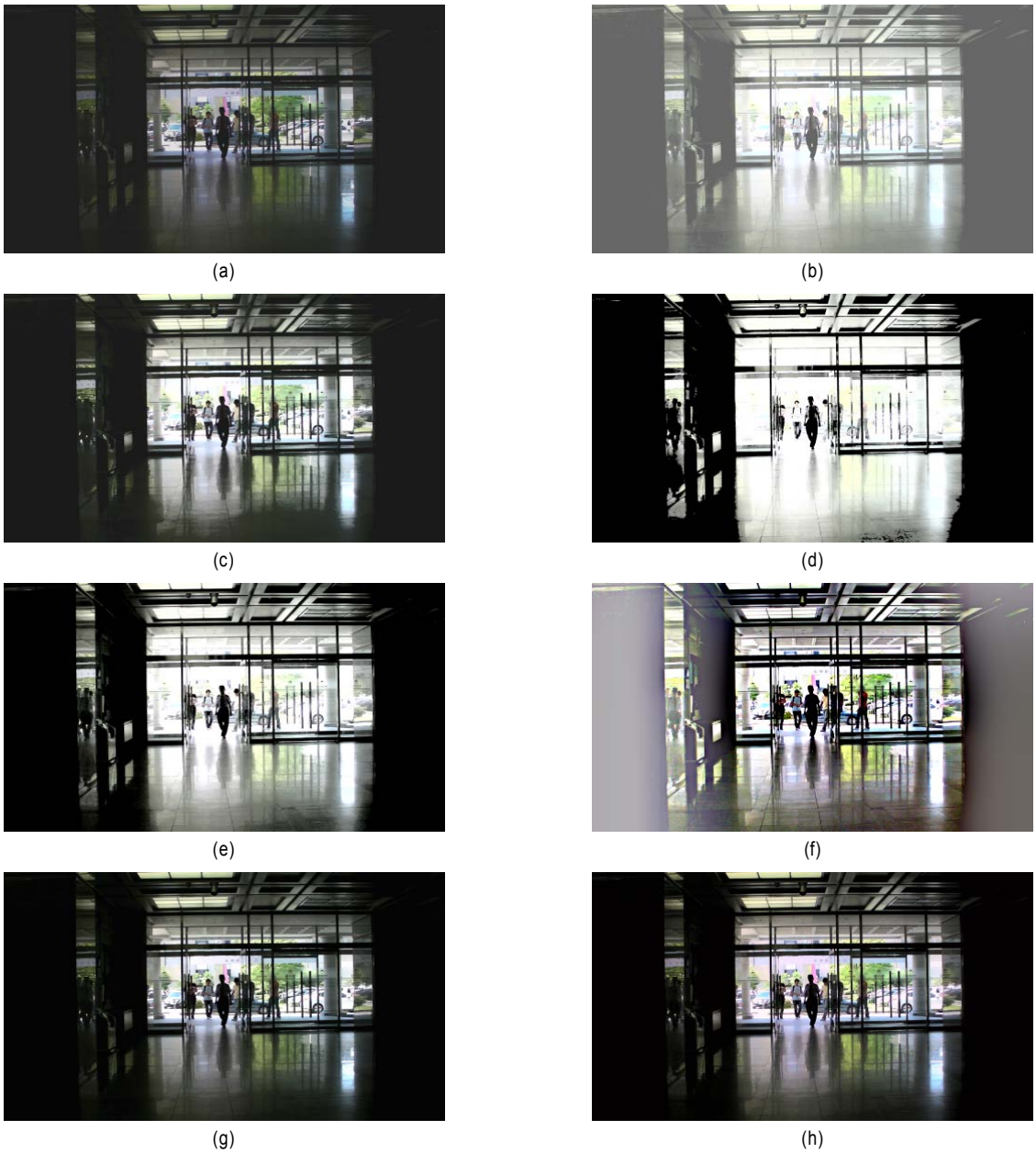


그림 11. 다른 명암 대비 향상 방법과의 비교: (a) 원본 영상 (b) HE (c) BBHE (d) WTHE (e) DRSHE (f) MSRCR (g) GCE (h) 제안하는 방법
Fig. 11. comparison of contrast enhancement methods: (a) original image (b) HE (c) BBHE (d) WTHE (e) DRSHE (f) MSRCR (g) GCE (h) proposed method

영상에 적합하도록 가우시안 필터 분산값을 키울 경우 처리 시간이 과도하게 증가하는 문제가 발생한다.

고해상도 영상에서 제안하는 방법을 적용하였을 때 축소 영상을 이용함에 따른 처리 속도 이득을 계산한 것이 표 2에 나와 있다. 이 실험은 Intel i5-750, 4G 메모리 환경에서 진행되었다. 동일한 환경에서 축소 영상을 사용한 방법의 경우 축소 영상을 사용하지 않은 방법보다 2배 이상의 속도 향상을 보이는 것을 확인할 수 있다. 따라서 고해상도 영상에서 색채 항상성 방법과 명암 대비 향상 방법에 필요한 변수를 계산하기 위하여 원본 영상을 그대로 사용하지 않고 축소 영상을 사용하였을 때 속도 면에서 이점이 있다는 것을 알 수 있고 표 1에서 확인한 것처럼 추출한 변수의 정확도면에서도 큰 차이가 없음을 확인할 수 있다.

표 2. 축소 영상을 사용하는 방법과 사용하지 않은 방법의 처리 시간
Table. 2 the computation time of the proposed method with or without small size image

	제안하는 방법	축소 영상 없이 처리한 방법
처리 시간	471ms	1002ms

본 논문에서 제안하는 방법과 다른 명암 대비 향상 방법들을 비교하기 위하여 주관적 화질 평가를 수행하였다. 평가에 사용된 영상은 그림 9에 나와 있는 12장의 영상을 포함한 총 13장의 영상을 사용하였다. 총 15명이 실험에 참여하였고 고해상도 영상을 왜곡 없이 표현할 수 있는 두 대의 23인치 LCD모니터를 형광등 조명하에 나란히 배치한 후 모니터에서 1m이상을 떨어져서 앉도록 하였다. 실험에서는 원본 영상, HE, BBHE, MSRCR, GCE, 제안하는 방법을 적용한 영상을 사용하였다. 두 대의 LCD모니터에 원본 영상을 포함하여 각각의 명암 대비 향상 방법을 적용한 결과 영상을 임의의 순서대로 보여주고 두 영상중 하나의 영상을 선택하거나 두 영상 모두 화질이 좋지 않을 경우 선택하지 않도록 하였다. 이에 따라 한명의 실험자마다 총 195번의 선택을 하였고 그 결과가 표 3에 있다. 표 3의 결과를 살펴보면 GCE, 제안하는 방법, 원본 영상 순으로 화질이 좋은 것을 확인할 수 있다. 따라서 제안하는 방법이 GCE방법과 비슷한 성능을 보이고 다른 명암 대비 향상 방법에 비하여 우수한 것을 확인할 수 있다.

Ⅴ. 결 론

본 논문에서는 영상에서 효과적으로 색상과 명암대비를 개선하는 방법을 제안하였고 고해상도 영상에서 연산 속도를 향상시키기 위해 고해상도 영상을 축소시킨 영상에서 색상과 명암대비 방법에서 필요로 하는 변수들을 계산하였다. 색상을 개선하기 위해서 색채 항상성 방법을 적용하였는데 결과 영상에서 보면 효과적으로 조명의 효과가 제거되었음을 확인할 수 있다. 명암 대비 개선을 위해서는 경계 영역 근방의 밝기 값만을 이용하여 히스토그램을 생성하는 방법을 이용하여 과도하게 명암 대비가 강조되는 히스토그램 평활화 방법의 단점을 보완하면서 효과적으로 명암 대

표 3. 주관적 화질 평가 결과
Table 3. the result of subjective image quality assessment

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	전체
원본 영상	22	27	32	36	18	38	22	38	40	34	29	37	23	39	43	478
HE	9	24	11	17	23	5	12	4	10	20	11	19	6	11	10	192
BBHE	24	34	17	34	32	19	24	21	20	30	17	26	13	23	27	361
MSRCR	0	10	16	0	24	7	3	5	3	8	3	3	1	0	0	83
GCE	44	45	26	52	40	42	32	40	40	47	31	45	30	52	48	614
제안하는 방법	39	52	30	45	30	35	35	40	33	41	31	50	24	47	45	577
선택 안함	57	3	63	11	28	49	67	47	49	15	73	15	98	23	22	620
	195	195	195	195	195	195	195	195	195	195	195	195	195	195	195	2925

비를 향상시킬 수 있었다. 다양한 환경에서 촬영된 고해상도 영상에 제안하는 방법을 적용하였을 때 효과적으로 색상과 명암 대비를 향상시킬 수 있었음을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

[1] G. Buchsbaum, "A spatial processor model for object colour perception," J. Frank. Inst., vol. 310, 1980

[2] E. H. Land, "The retinex theory of color vision," Sci. Amer., vol. 237, no. 6, pp. 108-120, 122, 123, 126, 128, 1977

[3] D. Forsyth, "A novel algorithm for color constancy," Int. J. Comput. Vis., vol. 5, no. 1, pp. 5-36, 1990

[4] R. C. Gonzalez and R. E.Woods, Digital Image Processing, 2nd ed. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 2002

[5] J.-Y. Kim, L.-S. Kim, and S.-H. Hwang, "An advanced contrast enhancement using partially overlapped sub-block histogram equalization," IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol, vol. 11, no. 4, pp. 475-484, Apr. 2001

[6] E. Land, ''Recent advances in retinex theory,'' Vision Res. 26(1), 7-21, 1986

[7] B. Phong, "Illumination for computer generated pictures," Commun. ACM, Vol. 18, pp. 311-317, 1975

[8] J. van de Weijer, T. Gevers, "Color constancy based on the grey-edge hypothesis," International Conference on Image Processing, Genua, Italy, 2005

[9] J. van de Weijer, T. Gevers, A. Gijsenij, "Edge-Based Color Constancy," IEEE Transactions on Image Processing, Vol. 16, No. 9, Sep, 2007

[10] G.D. Finlayson, E. Trezzi,"Shades of gray and colour constancy," IS&T/SID Twelfth Color Imageing Conference, pages 37–1, 2004

[11] T. Arici, S. Dikbas, Y. Altunbasak, "A Histogram Modification Framework and Its Application for Image Contrast Enhancement," IEEE Transactions on Image Processing, Vol. 18, No. 9, Sep. 2009

[12] Y. T. Kim, "Contrast Enhancement Using Brightness Preserving Bi-Histogram Equalization," IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 43, Issue 1, pp.1-8, Feb. 1997

[13] Q. Wing and R. K. Ward, "Fast image/video contrast enhancement based on weighted thresholded histogram equalization," IEEE Trans. Consum. Electron., vol. 53, no. 2, pp. 757-764, May 2007

[14] G. H. Park, H. H. Cho, and M. R. Choi, "A contrast enhancement method using dynamic range separate histogram equalization," IEEE Trans. Consum. Electron. vol. 54, no. 4, pp.1981-1987, Nov. 2008

[15] D. J. Jobson, Z. Rahman, and G. A. Woodell, "A multiscale retinex for bridging the gap between color images and the human observation of scenes," IEEE Trans. Image Processing, vol. 6, no. 7, pp. 965–976, July 1997

저 자 소 개

조 동 찬

- 2007년 2월 : 한양대학교 전자통신컴퓨터공학부 공학사
- 2007년 3월 ~ 현재 : 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 석박사과정
- 주관심분야 : 화질향상, 객체 인식, 머신 비전

강 형 섭

- 2006년 2월 : 경희대학교 컴퓨터공학과 공학사
- 2009년 3월 ~ 현재 : 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 석사과정
- 주관심분야 : 화질향상, 객체 인식, 머신 비전

저 자 소 개

김 회 율

- 1980년 : 한양대학교 전자공학과 공학사
- 1983년 : Pensylvania State University 전자공학과 공학석사
- 1989년 : Purdue University 전자공하과 공학박사
- 1989년 ~ 1994년 : University of Texas 조교수
- 1994년 ~ 현재 : 한양대학교 전자통신컴퓨터공학부 정교수
- 주관심분야 : 영상처리, 컴퓨터비전, 패턴인식, 머신비전, MPEG-7