

통계적 편차와 히스토그램 변형을 이용한 단일영상기반 고품질 영상 생성기법

송진선[†], 한규필^{**}, 박양우^{***}

Single Image Based HDR Algorithm Using Statistical Differencing and Histogram Manipulation

Jin-Sun Song[†], Kyu-Phil Han^{**}, Yang-Woo Park^{***}

ABSTRACT

In this paper, we propose a high-quality image acquisition algorithm using only a single image, which the high-quality image is normally referred as HDR ones. In order to acquire the HDR image, conventional methods need many images having different exposure values at the same scene and should delicately adjust the color values for a bit-expansion or an exposure fusion. Thus, they require considerable calculations and complex structures. Therefore, the proposed algorithm suggests a completely new approach using one image for the high-quality image acquisition by applying statistical difference and histogram manipulation, or histogram specification, techniques. The techniques could control the pixel's statistical distribution of the input image into the desired one through the local and the global modifications, respectively. As the result, the quality of the proposed algorithm is better than those of conventional methods implemented in commercial image editing softwares.

Key words: HDR, Bit Expansion, Exposure Fusion, Statistical Differencing, Histogram Manipulation, Histogram Specification

1. 서 론

최근 디스플레이 및 영상 취득 기술이 발달함에 따라 과거보다 더 섬세하고 선명한 영상을 접할 수 있게 되었다. 보통 카메라로 촬영된 영상은 뛰어난 해상도를 가지지만 영상 내에서 가장 밝은 부분도 사람의 눈으로 관측되는 실세계의 밝기와 비교하면 그 한계가 분명하다. 이는 카메라에 사용되는 CCD(charge coupled device) 또는 CMOS(comple-

mentary metal-oxide semiconductor) 센서의 동적 범위가 실제 환경의 동적범위보다 낮아서 장면이 가지는 밝기 범위를 모두 표현할 수 없다[1]. 따라서 카메라가 가지는 제한된 동적범위를 향상시켜 실세계의 장면과 유사하거나 더 뛰어난 영상을 얻기 위해서 HDR(high dynamic range) 영상 취득 기법이 연구되어 왔다[2]. HDR 영상을 취득하기 위한 가장 대표적인 방법은 8비트 화소 값의 동적 범위를 16비트 혹은 32비트로 확장시키는 것이며, 이는 기존 단계

※ Corresponding Author: Kyu-Phil Han, Address: (39177) 61 Daehak-ro, Gumi, Gyungbuk, Korea, TEL: +82-54-478-7525, FAX: +82-54-478-7539, E-mail: kphan@kumoh.ac.kr

Receipt date: May 5, 2018, Revision date: Jun. 22, 2018
Approval date: Jul. 4, 2018

[†] Dept. of Computer Engineering, Kumoh National Institute of Technology (E-mail: sj0392@naver.com)

^{**} Dept. of Computer Engineering, Kumoh National Institute of Technology

^{***} Dept. of Aeronautics & Software Engineering, Kyung-woon University
(E-mail: ywpark@ikw.ac.kr)

※ This paper was supported by Kumoh National Institute of Technology

사이에 추가적인 밝기 단계를 생성시켜 명암 차이를 더 크게 만드는 효과가 있다. 다른 방법으로는 입력 영상으로부터 가우시안 피라미드(Gaussian pyramid) 및 라플라시안(Laplacian) 피라미드 영상을 생성하여 융합하는 방법이 있는데[3], 이는 일반적인 HDR 영상 생성기법에 사용되는 휘도(luminance) 값 기반 톤 매핑(tone mapping) 과정을 거치지 않고 고해상도 영상을 취득할 수 있는 기법이다. 그러나, 이들 두 가지 HDR 영상 취득 방법은 공통적으로 서로 다른 노출 값으로 촬영된 다수의 영상이 필요하기 때문에 기존에 촬영된 단일 영상을 HDR영상으로 바꿀 수 없다는 단점이 있고, 사용되는 영상의 촬영 조건에 크게 의존하는 특성이 있다. 또한 HDR 영상은 필수적으로 영상의 생성 과정에서 부동 소수점을 사용하도록 색상의 비트 확장이 이루어져야하고 이런 섬세한 단계를 표현하려면 매우 고가의 디스플레이가 요구된다. 그러므로, 최근 HDR 기법은 일반적인 디스플레이가 지원하는 정수형 32비트 내에서 톤 매핑을 수행하여 HDR 영상에 최대한 근접한 LDR(low dynamic range) 영상을 얻는 기법이 주로 연구되고 있다[4].

본 논문에서는 다수의 영상을 요구하는 기존 HDR 방식의 문제를 개선하기 위해 단일 영상만을 사용하면서, 비트 확장의 수행시간이 많이 소요되므로 가상적으로 노출 영상을 다수 생성하여 융합하는 고품질 영상 취득 기법을 제안하고자 한다. 먼저 제안한 기법은 영상의 통계적 분포를 전역적으로 변경하는 히스토그램 명세화(specification)를 통해서 각기 다른 여러 노출 영상들로 생성하고, 각 영상의 화소 값을 국부적으로 조정 가능한 통계적 편차 방식으로 원하는 평균 밝기와 표준편차를 갖는 영상으로 변형시킨다. 최종적으로 이들 영상에 대해 노출 융합(exposure fusion)이 적용되어 우수한 HDR 결과 영상을

얻는다.

2. 관련 기술 및 연구

2.1 High Dynamic Range

사람의 눈은 최대 약 1,000,000:1이라는 매우 폭넓은 밝기 동적범위를 인지한다. 이는 눈이 인지하고 있는 장면이 밝은 곳에서 어두운 곳으로 변할 때 걸리는 약간의 지연과 화학적 변화에 따라 크게 영향을 받지만[2], 일반적으로 눈이 인지하는 평균 동적범위는 10,000:1 정도이며, 디스플레이 기술로 표현할 수 있는 밝기 동적범위인 500~1,000:1에 비하면 훨씬 큰 범위라고 할 수 있다[3]. Fig. 1은 인간시각시스템과 디스플레이 장치의 동적범위를 보여준다.

인간의 시각 체계에서 빛을 감지하는 세포는 간상세포(rod)와 원추세포(rod)가 있다. 간상세포에서는 명암을 감지하는 세포로 흑색에서 백색에 이르기까지의 색을 감지하며 어두운 곳에서 주로 활동한다. 원추세포는 세부 시각 및 색채를 감지하고 주로 밝은 곳에서 활동한다. 인간의 시각 체계가 가지는 동적 범위는 8비트 정수로 표현되는 카메라의 동적 범위보다 매우 넓기 때문에, HDR의 비트 확장을 통하면 간상체와 원추체로 하여금 더 넓은 동적 범위의 섬세한 영상을 감지하게 할 수 있다.

2.2 톤 매핑

톤 매핑은 HDR 영상이 생성될 때 비트 확장에 의해 넓은 범위로 확장된 화소의 밝기 값이 일반 디스플레이 장치에서 표현될 수 있도록 밝기 톤을 축소하는 기술이다[5]. 대표적으로 Reinhard 방식과 Filmic 방식이 있다. Reinhard가 제안한 방식은 영상 화면의 평균 휘도를

Moonless	Full Moon	Twilight	Indoor	Daylight		
Cones						
Rods						
32-bit floating point HDR displays						
8-bit displays						
1E-6	1E-4	1E-2	1E+0	1E+2	1E+4	1E+6

cd/m²

Fig. 1. Dynamic range of vision.

$$Lum_{avg} = \frac{1}{N} \exp\left(\sum_{x,y} \log(\delta + L(x,y))\right) \quad (1)$$

와 같이 계산한다. 여기서, N 은 영상 화소의 전체 개수이며 $L(x,y)$ 는 좌표 (x,y) 에서의 휘도 값, δ 는 $\log(0)$ 을 피하기 위한 아주 작은 값을 가지는 임의의 상수이다. 이 평균 휘도를 이용한 휘도 조정은 다음 식과 같다.

$$Lum_{scl} = \frac{\alpha L(x,y)}{Lum_{avg}} \quad (2)$$

$$\alpha = 1.03 - \frac{2}{2 + \log_{10}(Lum_{avg} + 1)}$$

Reinhard는 α 를 scale된 휘도 값의 범위를 정의하는 key parameter라고 명명했다. α 값이 커지면 scale된 휘도 값이 더 큰 범위로 확장되어 영상이 더 밝은 출력을 가지게 된다. 휘도를 $[0, 1]$ 범위로 축소하기 위해서는 다음과 같은 식이 사용된다.

$$Lum_{cmp} = \frac{Lum_{scl}}{1 + Lum_{scl}} \quad (3)$$

조정된 휘도 값이 작을 경우, 식(3)은 휘도 값을 거의 압축하지 못하지만 값이 커지는 정도에 따라 압축 효율이 비례한다. Reinhard 톤 매핑은 고 휘도를 효과적으로 압축 할 수 있으며 Fig. 2와 같은 그래프를 그린다.

Reinhard에 의해 제안된 톤 매핑 방식은 log 함수 그래프를 그리며, 모든 색상에 대해 휘도를 적용할 수 있지만 1을 넘기지 않는다는 점이다. 그 결과, 고 휘도 부분이 약간 어두워지는 현상이 발생되며, 이 문제를 개선하기 위해서 특정 휘도를 기준으로 기준치 이상의 휘도 값을 최대로 강제시키는 White Point (Lum_{white})를 아래와 같이 적용한다.

$$Lum_{cmp} = \frac{Lum_{scl} \left(1 + \frac{Lum_{scl}}{L_{white}^2}\right)}{1 + Lum_{scl}} \quad (4)$$

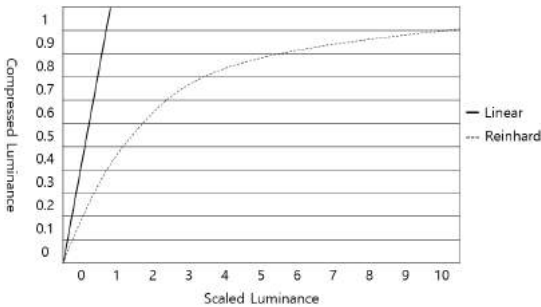


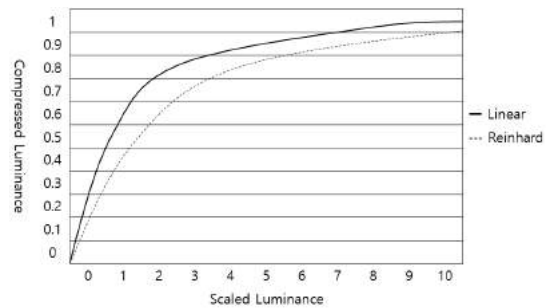
Fig. 2. Reinhard tone mapping graph.

John Hable에 의해 제안된 Filmic 기법은 색상에 따른 휘도 값이 Fig. 3(b)에서처럼 S자 형태의 그래프를 그리는 방식으로 일반적인 영역에서는 Reinhard 방식보다 더 밝게, 어두운 영역에서는 더 어둡게 표현하는 기법이다[6].

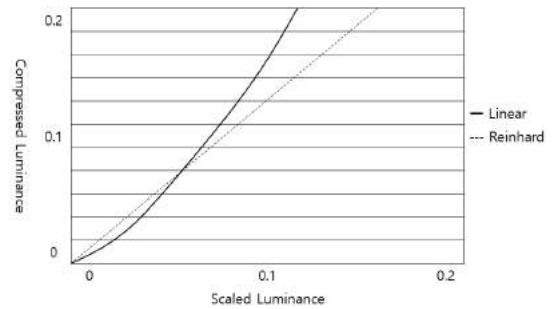
(b)는 (a)의 좌측 하부 영역을 확대한 그래프로 Filmic 톤 매핑의 그래프 곡선이 Reinhard의 그래프보다 아래쪽에 있음을 확인할 수 있다.

2.3 유사 HDR

과거 디스플레이 장치는 기술적인 한계로 인해 HDR 영상을 표현하는 것에 있어 어려움이 있었지만, 최근 HDR을 지원하는 TV 및 모니터가 공급되기 시작하면서 HDR영상과 유사한 의사 고화질(pseudo HDR) 영상을 취득하는 기법이 제안되고 있다[7]. 이들 유사 HDR 영상의 처리 방식을 간단하게 설명하면 실제 장면의 색역(color gamut)을 표현장치의 한계로 전부 표현하지 못하기 때문에, 휘도 값을 따로 저장 및 표현함으로써 더 많은 단계의 밝기를 표현하는 기법이다. 이러한 표현들은 영상의 명도와 대비 등을 조절하여 근사적으로 구현할 수 있으며, 실제계



(a)



(b)

Fig. 3. Reinhard, Filmic tone mapping comparison graph. (a) General graph (b) Lower left magnified graph.

에서 빛에 의해 발생하는 산란 효과 등은 눈의 착시를 이용하는 기법으로 표현할 수 있다. 그 결과, 이러한 방식들은 영상이 가지고 있는 색감이나 명도에 따라 다르게 적용되어야 하며 모든 파라미터 값들을 개별적으로 수정해야 하므로 많은 계산이 요구된다는 특징이 있지만, 비트 확장을 거치지 않고 LHR 영상에서 HDR 영상과 유사한 고품질 결과물을 얻을 수 있기 때문에, 컴퓨터 그래픽스 분야와 게임 및 영화 등의 분야에서 많이 이용된다[7].

3. 제안한 방법

3.1 제안한 알고리즘의 개요

기존 기법으로 HDR 영상을 생성하기 위해서는 노출이 다른 다수의 영상을 촬영해야만 한다. 이는 많은 영상을 촬영해야 한다는 번거로움과 기존에 촬영된 단일 영상에 대해서는 HDR 영상을 만들 수 없다는 단점이 있으므로 본 논문에서 제안하는 기법은 단일 영상에서 고품질의 HDR 영상을 생성할 수 있는 기법을 제안한다. Fig. 4는 제안한 기법의 블록도를 보여주며, 입력된 영상의 색상 포맷이 HSV 형식으로 먼저 변환된 후, 명도 채널이 히스토그램 명세화를 통해 3가지 다른 노출 영상으로 변형된다. 그 다음 통계적 편차 방식으로 이상적인 고품질 영상의 밝기의 분포로 변경되고 이 때 발생하는 미세한 몽롱화 현상을 보상하기 위해 선명화처리가 적용되며, 최

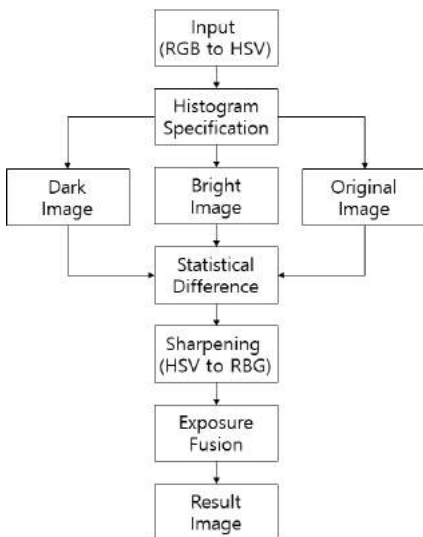


Fig. 4. The proposed algorithm using a single image.

종적으로 노출 융합을 수행하여 HDR 결과 영상을 취득한다.

3.2 다수 노출 영상 생성

영상의 히스토그램을 변형하여 사용자가 원하는 형태의 분포를 갖는 전역적 변형 기법을 히스토그램 명세화라고 한다[8]. 기존 HDR 방식에서는 노출 값이 다르게 획득된 다수의 영상을 이용하여 노출융합을 이용하였지만, 본 논문에서는 단일 영상을 사용하기 때문에 가상적으로 노출 값이 다른 영상을 생성해야 한다. 히스토그램 상에서 분포형태가 왼쪽 영역에 밀집된 어두운 영상과 오른쪽에 치우친 밝은 영상을 히스토그램 명세화를 통해 취득할 수 있다.

아래의 수식에서처럼 입력 밝기 값을 u 라 할 때, u 의 통계적 확률밀도함수(probability density function) $p_u(u)$ 를 적분하여 누적분포함수(cumulative distribution function) $F_u(u)$ 를 얻는다. v 는 사용자가 원하는 영상의 밝기 값 변수라고 할 때, $p_v(v)$ 는 원하는 분포의 확률밀도함수(desired pdf)이고 이를 적분하여 $F_v(v)$ 를 얻고 역함수를 취한다. 얻어진 역함수에 입력 값의 적분 함수를 적용하여 지정 값 v 를 재배치하면 원하는 분포로 영상을 변형시킬 수 있다.

$$F_u(u) = \int_0^u p_u(x)dx$$

$$F_v(v) = \int_0^v p_v(y)dy \tag{5}$$

$$v = F_v^{-1}(w) = F_v^{-1}(F_u(u))$$

Fig. 5는 본 논문에서 사용된 어두운 영상과 밝은 영상 생성에 사용된 desired 확률밀도함수이고 Fig. 6은 히스토그램 명세화가 적용된 영상의 예이다.

3.3 통계적 편차기법

일반적으로 영상편집 소프트웨어에서 지원하는

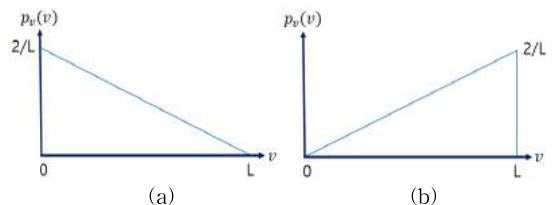


Fig. 5. Two desired probability functions. (a) Dark (b) Bright.



Fig. 6. Histogram specified images. (a) Original (b) Dark (c) Bright.

HDR 영상 생성기법은 영상이 가지는 전체적인 색감에 따라 세부 파라미터 값을 매번 다르게 수동으로 설정하기 때문에 세세한 조절을 할 수 있는 장점이 있지만, 작업이 매우 불편하다. 그러나 본 논문에서 제안하는 기법은 아래의 수식과 같이 Kruskal Wallis에 의해 제안된 통계적 편차 계산 방식을 사용하여 영상의 화소 값을 사용자가 지정하는 평균과 표준편차 값이 되도록 국부적으로 변경할 수 있다[9].

$$v(i, j) = \frac{\sigma_d}{\sigma + \alpha\sigma_d} [u(i, j) - m] + [\beta m_d + (1 - \beta)m] \quad (6)$$

여기서, σ 와 m 은 화소 (i, j) 에서 국부 창(local window)에 속한 입력영상의 표준편차와 평균이며, $u(i, j)$ 는 입력 화소 값, σ_d 와 m_d 는 희망하는 출력영상의 표준편차와 평균, α 는 표준편차 값이 작을 때의 너무 큰 값의 출력을 방지하는 gain factor, β 는 배경 강도에 대해 edge 비율을 제어하는 controlling factor를 각각 나타낸다. 본 논문에서는 Wallis가 제안한 이상적인 영상의 σ_d , m_d , α , β 인 8.5, 128, 1/6, 0.1을 사용하였으며, Fig. 7은 상용 소프트웨어 Photomatrix pro를 이용하여 작업한 HDR영상과 제안한 기법인 식(6)의 통계적 편차기법을 적용한 결과의 비교인데, 평균적으로 채도가 증가한 것을 확인할 수 있다.

3.4 노출 융합

노출 융합은 HDR 영상을 취득하는 과정 중에 수

행되는 처리로써 비트 확장을 거치지 않고 노출이 다른 영상을 융합하여 고품질 영상으로 만드는 기법이며, 본 논문에서 사용된 노출 융합법은 Tom Mertens 등이 제안한 기법을 이용하였다[10]. 사용된 명도기반 exposedness 가중치(E)는 아래의 Gaussian curve에 의해 융합 가중치를 결정받게 된다.

$$E(x) = \exp\left(-\frac{(x-0.5)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (7)$$

여기서 σ 는 0.2를 사용하였으며, [0,1]사이의 명도 x 값이 0.5에 가까운 정도에 따라 융합에 크게 기여하게 된다. 최종 영상의 가중치는

$$W_{i,j,k} = (C_{i,j,k})^{\omega_c} \times (S_{i,j,k})^{\omega_s} \times (E_{i,j,k})^{\omega_e} \quad (8)$$

이며, C 는 대조, S 는 채도를 의미하며 E 는 명도 값에 식(7)이 적용된 값이다. 첨자 i, j, k 는 k 번째 노출영상의 i, j 픽셀을 의미하며, 지수 계수 ω 는 해당 계수가 0이 될 때, 그 항목이 1이 되므로, 해당 항목을 고려하지 않는다는 의미이다. 예를 들어, 채도의 지수 계수인 $\omega_s=0$ 이면, 채도 항목이 1이 되므로 채도를 반영하지 않는다는 뜻이다. 최종적으로 노출 융합 영상의 화소 값은 식(8)의 가중치에 의해 k 개의 영상이 융합하게 된다.

4. 실험 결과 및 고찰

4.1 실험 절차



Fig. 7. HDR and statistical differenced images. (a) Photomatrix pro (b) The statistical differencing used in the proposed algorithm.

Table. 1. Test image setting

Parameter \ Image	Test image #1			Test image #2		
	EV 0	EV -1	EV +1	EV 0	EV -2	EV +2
Exposure Compensation	EV 0	EV -1	EV +1	EV 0	EV -2	EV +2
Aperture	f/5.0			f/8.0		
Shutter	13s	8s	30s	0.3s	0.08s	1.3s
ISO	500			100		
Resolution	4500 × 3000			2048 × 1365		

실험에서는 단일 영상을 이용하는 제안한 기법과 노출 값이 다른 여러 영상을 이용하는 Adobe Photoshop의 HDR Pro 및 HDRsoft의 Photomatrix Pro를 사용한 결과 영상을 비교하였다. Table 1은 실험에 사용된 영상의 환경변수이고 야간과 주간에 촬영된 영상을 실험영상으로 사용하였으며, 기존의 HDR 영상 취득 방식을 위해 노출이 다른 3장의 영상을 이용하였다. 제안한 방법의 입력 영상으로는 EV 0 영상만을 사용하였다.

Fig. 8과 9의 (b)는 Photoshop (c)는 Photomatrix로 생성된 영상이다. 이 결과에서 주관적 평가를 하면, (b)영상은 배경의 어두운 영역이 개선됨을 확인할 수 있고 (c)영상에서는 밝기와 대조가 향상되어 객체의 선명도가 개선되었으나, 전체적으로 어두워진 것을 확인할 수 있다. 제안된 방법의 결과 영상에서는 밝

기와 선명도 및 채도가 향상되어 영상의 전체적인 가시성이 증가된 것을 볼 수 있다. 객관적인 비교를 위해 Table 2에 명도와 채도 값 및 수행 시간을 비교하였다. Fig. 8과 9의 결과 영상에서 확인한 것과 같이 Photoshop으로 생성한 영상에서는 전체 밝기가 향상되었고, Photomatrix의 영상은 객체의 선명도는 개선되었지만 영상의 전체적인 밝기가 어두워졌음을 수치로도 확인할 수 있다. 제안된 기법의 영상은 어두운 영역의 밝기를 개선하고 채도의 향상으로 대나무의 시인성이 더 좋아졌음이 확인된다. 알고리즘 수행 속도에서 기존방식은 여러 장의 영상을 융합한다면 되므로 비교적 일정한 시간이 소요되지만, 제안한 방식은 1번 실험영상처럼 큰 해상도의 영상에서는 기존 기법보다 느린 속도를 보이나 작은 해상도를 가진 2번 영상에서는 더 빠른 속도를 보였다.

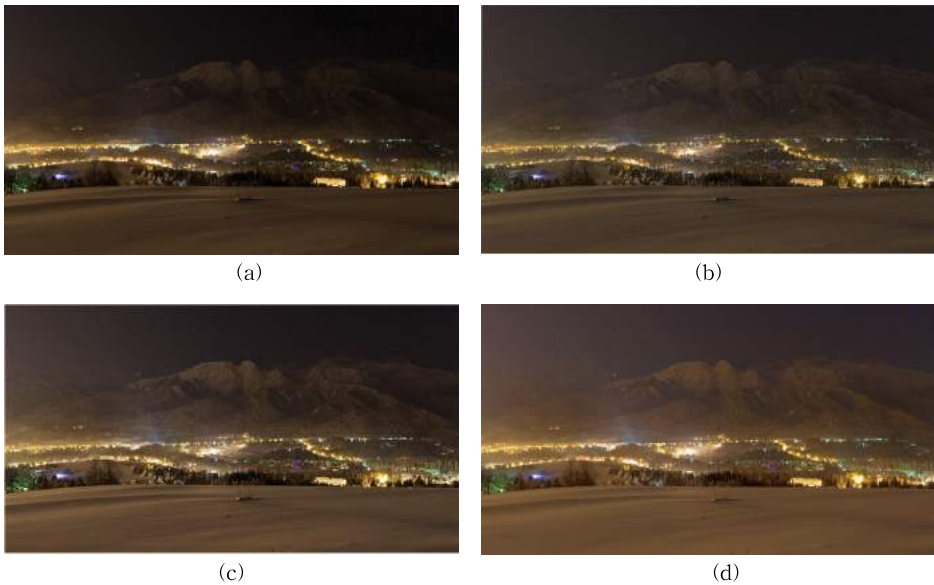


Fig. 8. Results of test image #1. (a) LDR image with Ev 0 (b) HDR Pro (c) Photomatrix Pro (d) The proposed.

Table. 2. Image parameter and computation time comparison

	HDR Pro		Photomatrix Pro		The proposed	
	#1	#2	#1	#2	#1	#2
Brightness (avg)	52	128	65	85	73	110
Saturation (avg)	54	114	66	109	74	150
Time (sec)	6.16	6.43	5.45	4.52	13.68	3.82

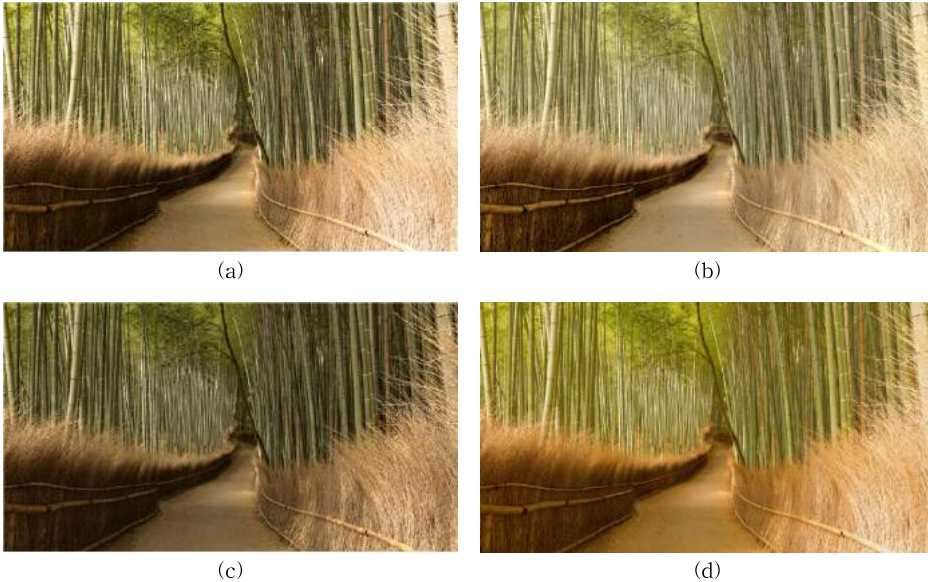


Fig. 9. Results of test image #2. (a) LDR image with Ev 0 (b) HDR Pro (c) Photomatrix Pro (d) The proposed.

5. 결 론

본 논문에서는 기존 HDR 기법들이 여러 영상을 이용하여야 한다는 단점을 극복하기 위해 단일 영상만을 이용하여 HDR 영상을 취득하는 방법을 제시하였다. 제안한 방식은 단일 영상으로부터 히스토그램 명세화 방식을 채택하여 입력 영상의 분포를 전역적으로 수정한 후, 노출이 다르게 촬영된 영상을 가상적으로 만들고, 화소 값의 국부적 변형이 가능한 통계적 편차법으로 최적의 화소 분포가 되도록 미세 조정하는 전략을 사용하였다. 그 결과, 여러 장의 영상 촬영이 필요하지 않으며 기존 촬영된 한 장의 영상에서도 HDR 영상을 획득할 수 있었고, 기존 상용 소프트웨어인 Photoshop의 HDR Pro와 HDRsoft의 Photomatrix Pro와 비교하여 채도가 높으면서 명도가 적절한 결과를 보여주었다. 또한, 크기가 작은 영상에서는 기존 방식보다 빠른 결과를 나타내었다. 향

후에는 통계적 편차 방식에 의해 영상이 블러링되는 현상을 최소화하고 4K급 이상 영상에서 급격히 느려지는 속도를 개선하기 위한 연구가 필요할 것으로 보인다.

REFERENCE

- [1] T.J. Park and I.K. Park, "HDR Image Acquisition from Two LDR Images," *The Korea Institute of Broadcast and Media Engineers*, Vol. 16, Issue 2, pp. 247-257, 2011.
- [2] P.E. Debevec and J. Malik, "Recovering High Dynamic Range Radiance Maps from Photographs," *Proceeding of Special Interest Group on GRAPHICS and Interactive Techniques*, pp. 369-378, 1997.
- [3] T. Mertens, J. Kautz, and F.V. Reeth,

“Exposure Fusion,” *Proceedings of 15th Pacific Conference on Computer Graphics and Applications, IEEE Computer Graphics and Applications*, pp. 382-390, 2007.

[4] E. Reinhard, G. Ward, P. Debevec and S. Pattanaik, *High Dynamic Range Imaging: Acquisition, Display, and Image-based Lighting 2nd Edition*, Morgan Kaufmann Publishers, San Francisco, 2010.

[5] P. Debevec and S. Gibson, “A Tone Mapping Algorithm for High Contrast Images,” *Proceedings of 13th Eurographics Workshop on Rendering: Pisa, Italy, Association for Computing Machinery*, pp. 1-11, 2002.

[6] Filmic Tonemapping Operators, Filmic Games, <http://filmicworlds.com/blog/-filmic-tonemapping-operators/> (accessed May., 5, 2010).

[7] J.S. Song and K.P. Han, “HDR Image Acquisition Technique Using Statistical Differencing and Sharpening,” *Proceeding of 2017 Summer Conference of Institute of Electronics and Information Engineers*, pp. 1206-1207, 2017.

[8] W.W Daniel, *Applied Nonparametric Statistics*, Cengage Publisher, Boston, 2000.

[9] R.C. Gonzalez and R.E. Woods, *Digital Image Processing*, Addison Wesley Publisher, Boston, 1992.

[10] T. Mertens, J. Kautz, and F.V. Reeth, “Exposure Fusion,” *Proceeding of 15th Pacific Conference on Computer Graphics and Applications*, pp. 382-390, 2017.



송진선

2016년 금오공과대학교 전자공학과 공학사
 2018년 금오공과대학교 컴퓨터공학과 공학석사
 2018년 6월 ~현재 ㈜맥사이언스 연구원 근무

관심분야: 컴퓨터비전, 영상처리, 머신 러닝 등



한규필

1993년 경북대학교 전자공학과 공학사
 1995년 경북대학교 전자공학과 공학석사
 1999년 경북대학교 전자공학과 공학박사

2000년 3월 ~현재 금오공과대학교 컴퓨터공학과 교수
 관심분야: 컴퓨터비전, 영상처리, 컴퓨터그래픽스, 증강 및 가상현실



박양우

1988년 경북대학교 전자공학과 공학사
 1990년 경북대학교 전자공학과 공학석사
 2000년 경북대학교 전자공학과 공학박사

1997년 3월 ~현재 경운대학교 항공소프트웨어공학과 교수
 관심분야: 컴퓨터비전, 영상처리, 신호처리 등