



광역 영상 재생을 위한 순응 밝기 특성 기반의 다중 광도 영상 합성 기법

이 성 학*

Multi-exposed Image Synthesis Based on the Property of Visual Adapted Brightness for Wide Dynamic Range Imaging

Sung-Hak Lee*

이 논문은 2017년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임
(NRF-2017R1D1A3B03032807)

요 약

HDR 영상 합성은 넓은 휘도 범위의 장면을 촬영하여 디스플레이에 실제 시각적인 장면을 재현하기 위한 방법이다. 일반적으로 HDR 영상은 다양한 카메라 노출 상태에서 영상을 촬영하고 여러 영상을 톤 합성하여 재생된다. 먼저 단일 HDR 영상을 구성하기 위해 각 다중 노출 영상을 방사 맵으로 변환한다. 이를 위해 여러 영상을 노출 비에 따라 혼합하거나 카메라 전달 함수를 유도하여 합성한다. 다음 합성된 방사 맵을 톤 맵핑 함수를 이용해 시각적인 HDR 영상으로 재생해낸다. 기존 방법은 CRF 조사를 위해 기준 표시 샘플과 다수의 노출 영상을 필요로 하고, 여러 계층의 합성 단계를 거침으로 인해 오류가 누적되는 단점을 보였다. 본 논문에서는 두 개의 노출 영상을 이용하는 시가 밝기 함수 기반의 HDR 영상 합성 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 기존 방법과 비교하여 경계부 오류 및 색 밸런스를 개선하고 또한 영상 혼합으로 인한 블러링 현상과 노이즈 증폭 현상을 개선하였다.

Abstract

HDR image synthesis is a method for reproducing an actual visual scene on a display by capturing a scene with a wide luminance range. Generally, HDR images are reproduced by captured images in various camera exposure conditions and synthesizing various images through blending. First, multiple exposure images are converted into a radiation map. Several images are mixed according to the exposure ratio or the camera transfer function. The radiation map is reproduced as a visual HDR image using a tone mapping function. The conventional method requires reference display samples and several exposure images for CRF calculation and has some errors accumulated due to various synthesis steps. In this paper, we proposed an HDR image synthesis algorithm based on visual brightness function using 2 exposed images. It improves boundary errors, color balance, blurring and noises due to blending as compared with other methods.

Keywords

high dynamic range, tone mapping, soft mixing, CRF, radiance map

* 경북대학교 IT대학 전자공학부
- ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1030-381X>

• Received: Aug. 09, 2018, Revised: Aug. 27, 2018, Accepted: Aug. 30, 2018
• Corresponding Author: Sung-Hak Lee
School of Electronics Engineering, Kyungpook National University, 80
Daehak-ro, Buk-gu, Daegu, 41566, Korea
Tel.: +82-53-950-7216, Email: shak2@ee.knu.co.kr

1. 서 론

HDR(High Dynamic Range) 영상 합성 및 재현 기술은 디지털 이미지 센서와 디스플레이 장치의 제한된 휘도 범위를 극복하고 시각적으로 실제 장면과 같은 영상을 재현하기 위하여 개발되었다[1]-[6]. 기존의 HDR 영상 합성 기법은 먼저 정확한 카메라 전달함수를 구하기 위해서 여러 가지 노출로 촬영된 영상을 필요로 한다[1]. 그러나 동일한 장면을 연속해서 촬영하는 것은 촬영 대상의 움직임 및 촬영 환경의 변화로 인하여 쉽지 않다. HDR 영상 합성을 위해서는 최소 두 장의 LDR(Low Dynamic Range) 영상이 필요하다. 여러 단계의 노출 대신 두 단계의 노출을 이용한 HDR 영상 취득에서 촬영 영상의 노출 차가 클수록 표현 대역이 커지지만, 합성 시 국부 포화로 인한 왜곡이 심해진다. 일반적인 디지털 이미지 센서의 동적 범위(약 60dB)는 실제 장면의 동적 범위(90dB 이상)보다 현저히 낮기 때문에 동적 범위 보안을 위해 임의의 과 노출과 부족 노출 상태로 촬영한다. 이론적으로 이미지 센서의 기준 노출 값에서 4배 및 1/4배 노출 차이로 촬영한 두 영상으로부터 90dB 대역 정도의 고감도 영상을 추출할 수 있다. 그러나 적정 기준 노출에서 벗어난 촬영으로 인하여 구간에는 밝은 영역, 그늘 영역 포화 현상을 또 구간에는 조명 주위의 포화 현상 및 블러링, 낮은 레벨 잡음, 탈채도, 색상 오류, 화이트 밸런스 왜곡 등 문제를 포함한다[7].

다중 노출 영상은 HDR 영상화를 위해 블렌딩 알고리즘을 통해 혼합된다[8][11]. 각 노출 영상은 노출 비율에 따라 보정되고, 저 노출 영상의 밝은 영역과 고 노출 영상의 어두운 영역이 표현되도록 결합하여 단일의 HDR 영상으로 합성된다. 혼합 알고리즘은 혼합 형태에 따라 하드 스위칭(Hard Switching) 방식과 소프트 믹싱(Soft Mixing) 방식으로 구분된다[8][9]. 하드 스위칭 방법은 과 노출 영상에서의 임계 레벨보다 낮은 레벨과 부족 노출 영상에서의 임계 레벨보다 높은 레벨의 값을 불연속적으로 조합한다. 소프트 믹싱 방법은 각 영상의 정의된 전환 영역에서 과 노출 영상과 부족 노출 영상을 혼합한다. 또 다른 LDR 영상 혼합 방법은 카

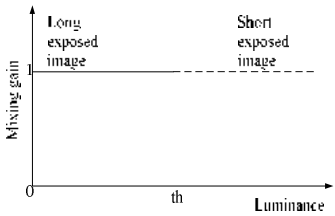
메라의 전달 함수(CRF, Camera Response Function)를 이용한다[10][11]. 일반적으로 카메라의 노출은 셔터 속도, 렌즈 조리개 및 ISO 레벨에 따라 종합적으로 결정된다. 영상의 밝기 수준은 감마 보정, Knee 제어 및 자동 화이트 밸런스와 같은 카메라 내부 처리 단계를 거치면서 카메라의 CRF는 비선형적 특성을 가지게 된다. 카메라의 특성은 주어진 입사광에 대한 카메라의 반응을 예측하는 데 필수적이지만, 다양한 시정 조건에 따라 카메라를 특성화하는 것은 어렵다[12][13]. 영상 기반의 카메라 응답 함수 예측은 다중 노출 영상만을 사용하기 때문에 값 비싼 하드웨어나 복잡한 실험 과정을 필요로 하지 않지만 카메라의 전달 함수를 정확하게 특성화하기 위해 여러 개의 다중 노출 이미지를 필요로 한다. 2장 노출 영상을 이용한 혼합 알고리즘들은 전환 영역에서 불연속성을 발생시킨다[7][11].

본 논문에서는 개선된 HDR 영상 합성 기법을 제안한다. 기존의 CRF 기반의 방사(Radiance) 맵을 작성하지 않고, 2 장의 노출 영상에 대한 시각의 상대적인 순응 밝기를 이용하여 톤 밸런스 보정 후 국부 포화도에 따라 영상을 합성한다. 먼저, 배경 영상으로 부터 순응 휘도 레벨에 따른 시각 밝기 함수를 기반으로 고 노출 영상은 톤다운(Tone-down), 저 노출 영상은 톤업(Tone-up) 처리를 하여 두 영상의 톤 밸런스를 맞춘다. 다음, 각 노출 영상의 국부 포화도 맵을 작성하여 촬영된 원 영상의 세부 정보를 유지하면서 자연스러운 합성이 되도록 영상 혼합 함수를 제안하였다. 제안한 알고리즘의 성능 평가를 위하여 기존의 휘도(혹은 방사) 맵 기반 톤 알고리즘과 비교하였고, 기존 알고리즘의 영상 왜곡 현상이 제안한 알고리즘에서 개선된 것을 확인하였다. 제안 방법은 기존의 톤 펄핑 알고리즘의 다중 노출 영상 합성으로 인한 색 왜곡, 경계 왜곡, 블러링 및 노이즈 문제를 효과적으로 개선한다. 시뮬레이션 결과 영상은 제안된 알고리즘이 기존의 알고리즘과 비교하여 문제들을 효과적으로 개선함을 보여준다.

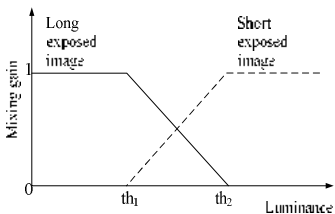
II. 다중 노출 영상 합성

두 가지 노출 영상을 한 영상으로 합성하는 방법은 일반적으로 노출시간 비율로 두 영상을 선형 보상한 후 레벨 구간 별로 합성하는 것이다. 그러나 이미지센서 출력의 비선형성(Gamma, Knee, White Balance 조정 등)때문에 고정된 노출시간 비율 적용은 두 영상 사이의 비연속적인 신호구간을 발생시키고 합성 시 영상 왜곡이 발생된다. 고 노출과 저 노출 영상의 포화 영역에서는 상대 노출 영상을 선택하도록 하고, 나머지 영역에 대해서는 두 노출 영상을 융합해야 한다. 고 노출과 저 노출의 영상 사이에는 일종의 천이(Cross-over) 구간이 존재하는데 이 구간에 대한 비선형적 믹싱이 필요하다.

영상 스위칭과 믹싱 방법을 그림 1에 나타내었다. 하드 스위칭 기법은 그림 1(a)에서처럼 경계 레벨(th)을 설정하고 그 이하는 고 노출 영상을 그 이상은 저 노출 영상을 선택한다. 그림 2(b)와 같이 낮은 휘도 레벨에서 선명도를 높일 수 있으나(표시된 벽 부분), 윤곽과 경계정보 왜곡이 심하고(표시된 건물 부분) 스위칭 포화문제 해결을 위한 별도의 수정회로가 필요하다.



(a) 하드 스위칭
(a) Hard switching



(b) 소프트 믹싱
(b) Soft mixing.

그림 1. 영상 합성 기법

Fig. 1. Image synthesis methods

따라서 그림 1(b)에서처럼 구현이 용이한 소프트 믹싱 기법이 일반적으로 사용되는데, 이 방법은 고 노출 영상의 낮은 휘도 레벨 영역과 저 노출 영역의 높은 휘도 레벨 영역을 보존하고 고-저 노출 스위칭 왜곡을 줄이기 위해 넓은 영역에 걸쳐서($th_1 \sim th_2$) 선형 보상된 믹싱방법을 사용한다.

소프트 믹싱 기법은 스위칭 오류와 디테일 문제를 상당부분 해결할 수 있으나, 고 노출 영상의 넓은 휘도 영역에 대해 비선형적인 포화현상이 분포하기 때문에 저 노출 영상과 합성 시 두 영상의 천이영역에서 왜곡이 발생된다. 구간 융합을 시행하기 때문에 경계정보 왜곡 및 색 왜곡(색 포화, 탈채도 현상 등) 그리고, 전반적인 선명도 저감과 블러(Blur) 확산 현상이 관찰된다(그림 2(c)).



(a) 입력 영상
(a) Input images



(b) 하드 스위칭
(b) Hard switching



(c) 소프트 믹싱
(c) Soft mixing

그림 2. 영상 합성 결과

Fig. 2. Image synthesis results

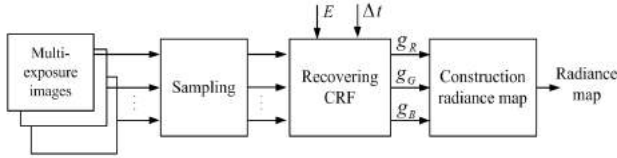


그림 3. Debevec의 방사맵 작성 방법
 Fig. 3. Block diagram of Debevec's radiance map construction.

그러나 이러한 단점을 개선하기 위해 믹싱 구간 (또는 천이구간)을 좁히게 되면 불규칙한 등고선 현상이 발생되고 더욱 어색한 결과 영상을 보이게 된다. 이와 같은 영상 합성 오류들은 카메라 센서의 비선형적인 광전(Photo-electronic) 변환 효과를 반영하지 않기 때문에 발생한다.

Debevec 등은 여러 장의(5장 이상) 서로 다른 노출 시간의 촬영 영상을 사용하여 HDR 방사 맵을 작성하는 방법을 제안하였다[10]. 다중 노출 영상을 이용한 HDR 방사 맵 예측 블록도를 그림 3에 간단히 나타내었다. 이 알고리즘은 이미징 시스템의 물리적 특성을 기반으로 한다. 첫 번째 과정은 입사광이 주어질 때 카메라 반응을 예측하는 데 사용되는 카메라 응답 함수(CRF)를 찾는 것이다.

그림 3에서 다중 노출 영상의 샘플링된 입력은 노출 시간 Δt 와 이에 대응되는 조도(E)를 이용해 이미지 센서와 RGB 영상 사이의 관계인 CRF를 예측한다. 다음 과정은 카메라 전달 함수를 거친 RGB 출력(g_R, g_G, g_B)으로부터 HDR 휘도 맵을 복원한다. 이 방법은 정확한 CRF 계산을 위해 정지 장면에 대해 다양한 노출 영상이 필요하지만, 틸팅(Tilting), 시프팅(Sifting) 및 움직이는 물체와 같은 촬영 조건의 변화로 인해 동일한 장면의 영상을 여러 장 캡처하는 것은 매우 어렵다. 따라서 적은 수의 이미지를 사용하는 효과적인 방법이 필요하다. HDR 영상을 합성할 수 있는 최소의 LDR 영상은 2장이며, 이 둘의 노출 차이는 크기 때문에 상대적으로 많은 포화 영역을 극복할 수 있는 영상 합성 기법이 필요하다.

III. 시각의 순응 밝기 특성

일반적으로 인간 시각 계의 밝기 순응 정도는 시야 내의 평균 휘도와 관계가 있다[14]. 인간 시각은 밝기 감지 특성에 따라 다른 디스플레이 환경에서 휘도가 다르게 느껴진다. Bartleson-Breneman의 밝기 함수는 복합 영상 자극에 대해 순응 휘도에 따른 시각 밝기의 변화를 정량적으로 표현한다[15]. 실험에 따르면, 어두운 주변 환경의 효과는 영상을 상대적으로 밝게 보이게 하고 명암 대비를 줄이며 영상의 감마를 증가시켜 보상해야 한다. 반대로, 밝은 환경은 영상을 상대적으로 어둡게 보이게 하고 큰 시각적 명암 비를 가지므로 영상 감마를 감소시켜 보상해야 한다.

Bartleson-Breneman의 밝기 함수를 분석 할 때 중요한 요소는 물리적 휘도가 아니라 영상의 명암 대비이다. 인간의 시력은 휘도의 절대 수준보다 휘도의 변화 또는 차이에 반응한다. 시각적 명암을 결정하는 세 가지 주요 요인은 임계 휘도, 백색 최대 휘도 및 시각 감마이다[16]. 임계 휘도는 검출 가능한 가장 작은 휘도 레벨이고, 백색 최대 휘도는 적절한 휘도 피크(Peak)에 대응하는 레벨이고, 시각 감마는 휘도-밝기 관계에서 log-log 축 상의 톤 재생 경사도를 나타낸다. 이러한 인자는 식 (1)-(6)에서처럼 시각적으로 충분한 밝기 범위(0.1bril에서 10bril) 내에서 제한된 이러한 요소들을 포함하는 단순화 된 밝기 함수로 표현될 수 있다[16].

$$\log L_{\min} = 6.84 \exp(0.12 \log L_a) - 8.36 \quad (1)$$

$$\log L_{\max} = 1.88 \exp(0.23 \log L_a) - 0.12 \quad (2)$$

$$\gamma_a = 0.173 \exp(0.31 \log L_a) - 0.329 \quad (3)$$

$$B(L) = \Delta B \left(\frac{L - L_{\min}}{\Delta L} \right)^{\gamma_e} + B_{\min} \quad (4)$$

$$\Delta L = L_{\max} - L_{\min} \quad (5)$$

$$\Delta B = B_{\max} - B_{\min} = 10 - 0.1 \quad (6)$$

여기서 L_{\min} 은 인간 시각 특성상 충분한 블랙으로 인지하는 블랙 휘도이고, L_{\max} 는 순응 휘도 레벨에 따라 인간 시각 특성상 편안한 화이트로 인지하는 화이트 휘도, L_a 는 눈의 순응 휘도, γ_e 는 시각 감마이다. 그림 4는 배경 휘도에 따른 휘도(cd/m²)-밝기 관계를 보여준다.

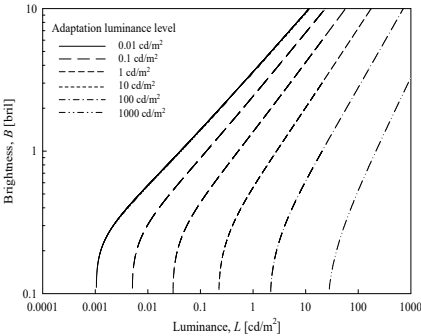


그림 4. 순응 휘도 레벨에 따른 시각 밝기 함수 곡선
Fig. 4. Brightness function curves as a function of adaptation luminance levels.

IV. 다중 광도 영상을 이용한 HDR 영상 합성

HDR 영상은 정적 장면에 대해 서로 다른 노출 시간을 갖는 두 장 이상의 LDR 영상을 사용하여 구성 할 수 있다. 고 노출 영상은 어두운 영역에서 좋은 세부 정보를 가지지만 밝은 영역에서는 화이트 포화가 넓게 분포한다. 반면, 저 노출 영상은 밝은 영역에서 좋은 세부 정보를 갖지만 어두운 영역에서는 블랙 포화가 넓게 발생한다. 다중 노출 이미지는 높은 휘도 범위를 갖는 단일 HDR 영상으로 결합 될 수 있지만, 이처럼 HDR 영상 합성을 위한 상이한 노광량을 갖는 LDR 영상들은 평균적인 밝

기 수준이 편중되어 있고 국부적으로 과포화 혹은 부족 포화 영역이 많아서 시각적으로 매우 어색한 상태이다. 따라서 본 연구에서는 HDR 영상 합성 전 각 LDR 영상에 대해 상대 순응 밝기를 이용하여 국부적으로 밝기 범위를 압축하였다. 식 (7)은 국부 배경 맵(Surround Map)을 이용한 LDR 영상 L 에 대한 시각 밝기 함수 기반의 톤 조정 함수이다.

$$f_{TS}(L, L_a) = B_c(L_a) \times L \quad (7)$$

if Tone-down scaling:

$$B_c(L_a) = (1 - L_{am}) + L_{am} (B(L_{amin}) / B(L_a)) \quad (8)$$

if Tone-up scaling:

$$B_c(L_a) = L_{am} + (1 - L_{am}) (B(L_{amax}) / B(L_a)) \quad (9)$$

여기서 L_a 는 각 LDR 영상의 국부 순응 휘도를 나타내며 L 을 저역통과필터링(LPF)하여 얻는다. 최대 순응 휘도는 평균적인 외광 순응 휘도인 1000cd/m²가 되도록 설정하였다. L_{amax} 와 L_{amin} 은 각각 L_a 의 최대, 최소 값, L_{am} 은 L_a 의 정규화된 영상을 나타낸다. B_c 는 상관 밝기 함수로서 고 노출 LDR 영상에 대한 톤 다운 조정의 경우 국부적으로 어두울수록 1에 가깝게 하여 영상의 세부영역이 잘 보존되도록 한다. 반대로 저 노출 LDR 영상에 대한 톤 업 조정의 경우 국부적으로 밝을수록 1에 가깝게 하여 세부영역을 보존 시킨다. 나머지 영역에 대해서는 상대 순응 밝기에 따라 범위가 압축된다.

다음 단계로, 다중 노출 영상의 톤 맵핑의 단점인 고스트(Ghost) 현상과 노이즈 문제를 줄이기 위한 국부 포화도 맵을 이용한 영상 혼합 기법을 제안하였다. 서라운드 맵은 국부 톤 맵핑 알고리즘에서 각 픽셀에 적용되는 맵핑 가중치의 기반이 되는 영상이다. 후광 효과를 줄이기 위하여 밝기의 차이가 강한 경계 주위에서 인접한 어두운 영역과 밝은 영역의 영향을 최소화하여야 한다.

먼저, 식 (10)과 같이 두 노출 영상의 L_{am} 맵을 사용하여 국부 포화영역을 파악하고, 포화 영역에

대해 상대편 노출 영상의 세부 영역이 포화도에 비례하여 선택되도록 하였다. 이는 다중 노출 영상의 합성으로 인한 경계 주위 영역 간의 간섭을 최소화할 수 있다.

식 (11)에서 고 노출 영상의 포화 영역은 톤 업 조정된 L_{low} 영상 선택에 사용되고, 저 노출 영상의 포화영역은 톤 다운 조정된 L_{high} 영상 선택에 비례적으로 사용된다. 이 때, 제안된 영상 합성의 휘도 및 색 분리 처리를 위해 색 공간 변환(CSC, Color Space Conversion)이 사용된다. RGB 채널 간의 간섭을 줄이고 휘도(luminance)와 채도(Chrominance)의 분리가 가능한 CIELAB 색 공간을 사용하였다. 두 톤 처리 영상의 휘도 성분 합성에 선행하여 RGB에서 Lab로 색 변환한다. 이는 톤 처리 및 합성 시 발생하는 색 왜곡을 방지하고, 각 노출 영상의 최적 색 상태를 보존해 주기 위함이다. 그리고 채도 및 색상의 보존을 위하여 톤 맵핑은 휘도 채널에서만 처리하고, 채도는 톤 맵핑 전후 영상의 휘도 비율을 사용하여 보상하였다(식 (12) 및 식 (13)).

$$Map_T = 1 - L_{an}(low) + L_{an}(high) \tag{10}$$

$$L_b = \left(\frac{L_{an}(high)}{Map_T} \right) L_{low} + \left(\frac{(1 - L_{an}(low))}{Map_T} \right) L_{high} \tag{11}$$

$$a_b = \left(\frac{L_{an}(high)}{Map_T} \right) \left(\frac{L_b}{L_{low}} \right) a_{low} + \left(\frac{(1 - L_{an}(low))}{Map_T} \right) \left(\frac{L_b}{L_{high}} \right) a_{high} \tag{12}$$

$$b_b = \left(\frac{L_{an}(high)}{Map_T} \right) \left(\frac{L_b}{L_{low}} \right) b_{low} + \left(\frac{(1 - L_{an}(low))}{Map_T} \right) \left(\frac{L_b}{L_{high}} \right) b_{high} \tag{13}$$

여기서 L_{low} 및 L_{high} 는 각각 톤 업과 톤 다운 맵핑된 영상을 의미한다. 고 노출 및 저 노출 영상의 색 채널인 a_{high} , b_{high} , a_{low} , b_{low} 는 톤 처리에 영향을 받지 않는다. 본 연구에서 제안된 전체 톤 합성 알고리즘의 블록도를 그림 5에 보였다.

V. 실험 결과 및 분석

제안한 HDR 영상 합성 기법의 성능을 평가하기 위하여 휘도 차가 극명한 다중 노출 영상들을 사용하였고, 색 표현성, 선에도, 경계 부분 렌더링을 비교할 수 있도록 조명, 그늘, Macbeth 컬러 패턴을 포함한 영상이 실험에 사용되었다. 기존의 소프트 블렌딩 및 CRF 추정 방법과 제안 방법을 비교하기 위해 소프트 믹싱을 채택한 Monobe의 영상 합성 기법[9]과 CRF를 통해 생성된 휘도 맵을 iCAM06으로 후 처리하는 기법[11]을 사용하였다. 제시된 방법들은 HDR 영상 합성을 위해 두 장의 LDR 영상만을 사용한다.

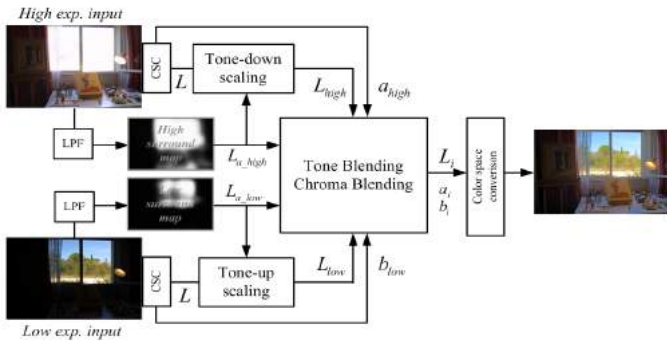


그림 5. 제안한 알고리즘의 블록도
Fig. 5. Block diagram of the proposed algorithm



(a) 고 노출 입력영상
(a) High exposed images



(b) 저 노출 입력영상
(b) Low exposed images



(c) Monobel(소프트 믹싱) 기법
(c) Monobel(soft mixing) method

(d) Debevec(CRF) 기법
(d) Debevec(CRF) method

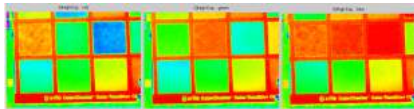
(e) 제안한 기법
(e) Proposed method

그림 6. HDR 영상 합성 결과 영상 비교
Fig. 6. Comparisons among the HDR imaging results

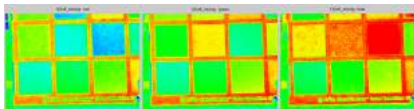
그림 6(a) 및 6(b)의 고-저 노출 영상으로부터 합성된 영상을 그림 6(c), 6(d), 6(e)에 보였다. 소프트 믹싱 방식은 레벨을 기준으로 한 융합 방식이다. 이 때문에 상대 노출 영상의 포화 영역이 간섭되고 이로 인해 블러링 현상 및 명암비와 채도가 부족해진다. CRF를 이용하는 경우 다중 노출 영상 수의 부족으로 카메라 전달 함수가 정확하지 않고 결과적으로 색도와 화이트 밸런스 왜곡이 크게 눈에 띈다.



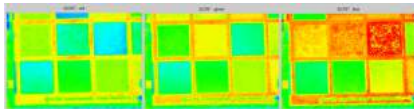
(a) 기준 영상
(a) Reference image



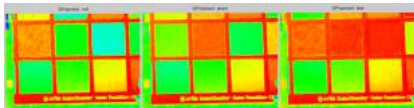
(b) 고 노출 영상
(b) High exposed images



(c) Monobel(소프트 믹싱) 기법
(c) Monobel(soft mixing) method



(d) Debevec(CRF) 기법
(d) Debevec(CRF) method



(e) 제안한 기법
(e) Proposed method

그림 7. 결과 영상의 컬러 맵 영상 비교
Fig. 7. Comparisons among the color map for HDR imaging results

또한 기존 방식은 레벨 융합 방식이기 때문에 두 번째, 네 번째 실내 영상에서 커튼 부분 및 컬러 패치 부분에 촬영 이동으로 발생된 고스트가 확인된다. 반면 제안한 방법의 결과에서는 신호 대 잡음비, 명암도, 색 표현력이 향상되었으며, 포화도를 이용한 영역 융합 방식으로 인해 경계부의 오류가 개선된 것이 확인된다.

그림 7은 색 표현성과 노이즈 개선 성능을 평가하기 위해 각 RGB 채널 별 컬러 맵을 비교 도시하였다. 그림 7(a)에 표시된 기준 영역에 대한 컬러 맵 비교에서 그림 7(b)의 고 노출 영상의 컬러 맵과 비교했을 때 그림 7(c)의 제안 방법 결과가 가장 근접한 결과를 보여준다. 특히 기존 방법인 그림 7(c), 7(d)의 경우 B 채널에서 잡음 성분이 큰 것이 확인된다. 경계 혼인에 의한 왜곡 현상을 확인하기 위해 그림 7의 그레이 패턴에 대한 라인 스캔결과를 그림 8에 나타내었다. R 채널의 원으로 표시된 부분(BG 채널 동일)에서 기존 방법들은 레벨이 높거나 왜곡된 경계선 결과를 나타낸다. 특히 CRF 방식에서는 피사체 이동으로 발생된 2중 경계 현상이 확인된다.

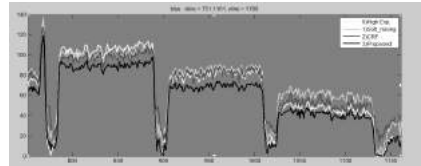
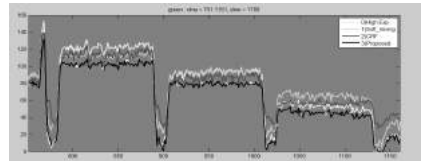
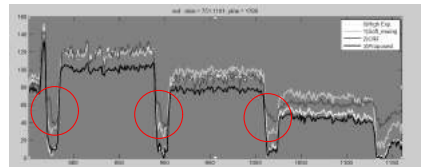


그림 8. 그레이 스텝에 대한 RGB 채널 스캔 비교
Fig. 8. Comparison of RGB channel's scans for grey steps

VI. 결 론

본 논문에서는 두 노출 영상을 이용한 시각 순응 밝기 기반의 HDR 영상 융합 기법을 제안하였다. 제안 방법은 기존 방법과 비교하여 영상 혼합으로 인한 블러링 현상과 노이즈 확산을 줄이고 경계부 오류 및 색 밸런스를 개선하였다. 시뮬레이션 결과 영상은 기존 알고리즘과 비교하여 문제들을 효과적으로 개선함을 보여준다. 기존의 소프트 믹싱 및 CRF 기법은 각 노출 영상의 세부 정보 영역에 상대 노출의 포화 영역 신호가 혼합되는 단점을 가지고 있었다. 특히 촬영 이동으로 경계가 일치하지 않는 경우 경계 왜곡이 심하게 관찰된다. 이에 반해 제안 방법은 영역 분리도가 높아 고-저 노출의 선명도가 높은 영역에 영상 혼합을 줄어들었고, 결과적으로 세부 영상의 블러링과 어두운 영역에 노이즈 간섭이 줄어들었다. 단, 제안 방법은 포화영역에서의 신호 분리도는 높으나 천이 영역에서의 신호 간섭을 줄이는 데 한계를 보이는 단점이 있다.

References

- [1] E. Reinhard, G. Ward, G. Pattanaik, and P. Debevec, "High dynamic range image: Acquisition, display, and image-based lighting", San Francisco: Morgan Kaufmann Press, 2005.
- [2] G. Johnson and M. Fairchild, "Rendering HDR images", in: IS&T/SID 11th Color Imaging Conference, pp. 36-41, 2003.
- [3] M. D. Fairchild and G. M. Johnson, "The iCAM framework for image appearance, image difference, and image quality", J. Electron. Imaging, Vol. 13, 126-138, Jan. 2004.
- [4] J. Kuang, G. M. Johnson, and M. D. Fairchild, "iCAM06: A refined image appearance model for HDR image rendering", J. Vis. Commun. Image R., Vol. 18, No. 5, pp. 406-414, Oct. 2007.
- [5] F. Banterle, A. Artusi, K. Debattista, and A. Chalmers, "Advanced High Dynamic Range Imaging: Theory and Practice", second ed., Massachusetts: CRC Press, 2017.
- [6] R. Boitard, M. T. Pouzarad, P. Nasiopoulos, and J. Slevinsky, "Demystifying high-dynamic-range technology", IEEE Consumer Electronics Magazine, Vol. 4, No. 4, pp. 72-86, Oct. 2015.
- [7] H. J. Kwon, S. H. Lee, G. Y. Lee, and K. I. Sohng, "Radiance map construction based on spatial and intensity correlations between LE and SE images for HDR imaging", J. Vis. Commun. Image R., Vol. 38, pp. 695-703, Jul. 2016.
- [8] S. Cvetkovic, J. Kljin, and P. de With, "Tone-mapping functions and multiple-exposure techniques for high dynamic-range images", IEEE Trans. on Consumer Electronics, Vol. 54, No. 2, pp. 904-911, Jul. 2008.
- [9] Y. Monobe, H. Yamashita, T. Kurosawa, and H. Kotera, "Dynamic range compression preserving local image contrast for digital video camera", IEEE Tans. on Consumer Electronics, Vol. 51, No. 1, pp. 1-10, Mar. 2005.
- [10] P. Debevec and J. Malik, "Recovering high dynamic range radiance maps from photographs", in: The 24th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, pp. 369-378, Aug. 1997.
- [11] H. J. Kwon, S. H. Lee, G. Y. Lee, and K. I. Sohng, "HDR Reproduction Algorithm Using the Radiance Map Considering Weighted Intensities of Multi Exposure Images", Journal of KIIT, Vol. 13, No. 10, pp. 137-144, Oct. 2015.
- [12] M. D. Grossberg and S. K. Nayar, "What is the space of camera response functions?", IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Vol. 2, II-602-9, Jun. 2003.
- [13] G. Hong, M. Luo, P. and Rhodes, "A study of digital camera colorimetric characterization based on polynomial modeling", Color Res. Appl. Vol. 26, No. 1, pp. 76-84, Dec. 2000.
- [14] J. C. Stevens and S. S. Stevens, "Brightness function: effects of adaptation", J. Opt. Soc.

Am., Vol. 53, No. 3, pp. 375-385, Mar. 1963.

[15] C. J. Bartleson and E. J. Breneman, "Brightness perception in complex fields", J. Opt. Soc. Am., Vol. 57, pp. 953-957, Jul. 1967.

[16] S. H. Lee, S. W. Jang, E. S. Kim, and K. I. Sohng, "The quantitative model for optimal threshold and gamma of display using brightness function", IEICE Trans. Fund. Electr., Vol. E89-A, No. 6, pp. 1720-1723, Jun. 2006.

저자소개

이 성 학 (Sung-Hak Lee)



1997년 2월 : 경북대학교
전자공학과(공학사)
1999년 2월 : 경북대학교
전자공학과(공학석사)
1999년 2월 ~ 2004년 6월 : LG
전자 영상제품연구소 선임연구원
2008년 2월 : 경북대학교

전자공학과(공학박사)

2009년 8월 ~ 2017년 7월 : 경북대학교 IT대학
전자공학부 연구초빙교수

2018년 3월 ~ 현재 : 경북대학교 IT대학 전자공학부 교수
관심분야 : Color Image Processing, Color Appearance
Model, Color Management, HDR 영상처리, 영상융합