

논문 2013-50-9-15

영역기반 가중치 맵을 이용한 멀티스펙트럼 플래시 영상 획득 (Multi-spectral Flash Imaging using Region-based Weight Map)

최 봉 석*, 김 대 철*, 이 철 희***, 하 영 호**

(Bong-Seok Choi[Ⓞ], Dae-Chul Kim, Cheol-Hee Lee, and Yeong-Ho Ha)

요 약

저조도 환경에서 카메라로 영상을 획득하기 위해 일반적으로 가시광 플래시를 사용하거나 장노출 기법을 사용하게 된다. 그러나 가시광 플래시를 사용할 때 플래시 광에 의한 색 왜곡이나 적목 현상, 눈부심에 의한 거부감을 발생시킨다. 또한 장노출을 사용하게 되면 물체의 움직임에 의한 흔들림 현상이 발생하게 된다. 따라서 최근에는 이러한 단점을 극복하고, 저조도 환경에서 고화질의 영상을 획득하기 위하여 멀티 스펙트럴 플래시(Multi-spectral flash image)를 이용하여 영상을 획득하는 방법이 소개되었다. 이 방법은 가시광과 UV/IR스펙트럼의 다섯 채널을 이용하여 가시광영상의 색 정보와 UV/IR 스펙트럼 영상의 세부정보를 최적화하여 영상을 획득하는 방법이다. 하지만, 픽셀 기반의 최적화 과정에 있어 색 왜곡과 다른 잡음을 발생시키게 된다. 따라서 본 논문에서는 이러한 색 왜곡과 잡음을 개선하기 위해 영역 기반의 가중치 맵을 최적화 방법에 적용하여 색 왜곡을 개선하는 알고리즘을 제안한다. 먼저, 영상에 대하여 Canny 에지 검출 방법을 사용하여 영상의 윤곽을 검출하였다. 이를 가중치 맵으로 최적화방법에 적용함으로써, 세부 영역에 대하여 UV/IR 플래시 영상의 정보에 가중치를 부여하고, 평탄한 영역에 대하여 가시광 영상의 색 정보를 가중치를 부여하여 색 왜곡을 개선하였다. 제안한 방법을 평가하기 위하여 실험을 통하여 제안한 방법과 이전방법을 비교하였고, 객관적 평가와 주관적 평가 모두 제안한 방법이 우수한 성능을 나타내었다.

Abstract

In order to acquire images in low-light environments, it is usually necessary to adopt long exposure times or resort to flash lights. However, flashes often induce color distortion, cause the red-eye effect and can be disturbing to subjects. On the other hand, long-exposure shots are susceptible to subject-motion, as well as motion-blur due to camera shake when performed hand-held. A recently introduced technique to overcome the limitations of traditional low-light photography is that of multi-spectral flash. Multi-spectral flash images are a combination of UV/IR and visible spectrum information. The general idea is that of retrieving details from the UV/IR spectrum and color from the visible spectrum. However, multi-spectral flash images themselves are subject to color distortion and noise. This work presents a method to compute multi-spectral flash images so that noise can be reduced and color accuracy improved. The proposed approach is a previously seen optimization method, improved by the introduction of a weight map used to discriminate uniform regions from detail regions. The weight map is generated by applying canny edge operator and it is applied to the optimization process for discriminating the weights in uniform region and edge. Accordingly, the weight of color information is increased in the uniform region and the detail region of weight is decreased in detail region. Therefore, the proposed method can be enhancing color reproduction and removing artifacts. The performance of the proposed method has been objectively evaluated using long-exposure shots as reference.

Keywords : Multispectral flash, Weight map, Optimization

* 학생회원, ** 평생회원, 경북대학교 IT 대학 전자공학부
(School of Electronics Engineering, Kyungpook National University)

*** 정회원, 안동대학교 컴퓨터 공학과
(Computer Engineering, Andong National University)

Ⓞ Corresponding Author(E-mail: bbongs114@ee.knu.ac.kr)

※ 이 논문은 2013년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임
(No. NRF-2013R1A2A2A01016105)

접수일자: 2013년5월16일, 수정완료일: 2013년8월27일

I. 서 론

카메라는 빛의 양을 조절하여 원하는 결과물을 촬영하는 이미지 획득 장치이다. 저조도의 환경에서 카메라를 통해 영상을 획득하기 위해서 빛의 조절이 필요하고 카메라 시스템에서 조리개, 셔터, 플래시가 이러한 역할을 한다. 먼저, 조리개는 카메라 렌즈를 통과하는 빛의 양을 조절하는 장치로 획득한 영상의 심도와 해상도를 조절하는 기능을 한다. 조리개를 닫을수록 심도(depth)는 깊어지고 해상도는 좋아지나, 반대로 조리개를 열수록 반대로 심도와 해상도는 낮아진다. 셔터는 셔터가 닫힐 때까지의 시간을 조절하여 빛을 양을 조절하는 역할을 한다. 이를 셔터 속도(shutter speed)라 하고, 빛의 양이 충분하지 않은 환경에선 느린 셔터 속도로 영상을 획득하게 된다. 저조도 환경에서 카메라를 이용하여 영상을 획득하기 위해선 조리개를 크게 열고 셔터 속도를 느리게 세팅하여 촬영하여야 한다. 하지만 이 방법에는 카메라의 노출시간(exposure time)을 늘림에 따라 카메라의 흔들림이나 피사체의 움직임으로 인해서 획득한 영상에서 흔들림 현상(blurring)이 발생하거나 카메라가 받는 빛의 양을 늘리고자 조리개를 개방 할수록 획득한 영상의 심도와 해상도 또한 떨어지게 된다. 이러한 장노출의 단점을 보완하기 위해 팬크로매틱 화소(panchromatic pixel)를 이용하여 영상의 흔들림 현상을 제거하거나 MAP 문제를 풀어 영상의 흔들림 현상을 제거하는 알고리즘이 제안되었다^[1-3]. 또 다른 방법으로 노출시간을 짧게 하되 외부광원인 가시광 플래시를 사용하여 영상을 획득하는 방법이 있다. 가시광 플래시를 사용한 방법은 저조도의 환경에서 영상 획득을 위해 외부광원을 이용하여 물체의 형태와 색을 표현할 수 있도록 한다. 그러나 카메라 플래시는 영상 획득 시 플래시의 번쩍이는 섬광으로 인한 사용자로 하여금 불쾌감을 가져옴과 동시에 장면의 분위기를 자연스럽게 표현하기 어렵고, 플래시로 인한 그림자나, 적목 현상(red-eye effect), 그리고 색의 변화와 같은 왜곡이 발생하게 된다. 이러한 플래시 왜곡현상을 제거하기 위해 저조도의 환경에서 플래시를 사용하지 않은 영상과 플래시를 사용하여 촬영한 두 장의 영상으로 하나의 고화질 영상을 획득하는 알고리즘이 제안되었다^[4-5]. 이는 장면에 대하여 플래시를 사용하지 않은 영상과 플래시를 사용하여 촬영한 두 장의 영상을 획득하여 장면에 대해 더 많은 정보를 갖고 한 장의 고화질 영상을 만드는 방법이다. 이 방법은 플래시를

사용하지 않은 영상의 색 정보와 플래시를 사용한 영상의 세부 정보를 양방향 필터(bilateral filter)를 이용하여 플래시를 사용하지 않은 영상의 세부정보(detail information)를 보존하면서 영상의 잡음을 제거한 후, 결합 양방향 필터(joint bilateral filter)로 두 영상의 세부정보와 색 정보를 결합하는 방법으로 플래시로 인한 적목 현상이나, 색 왜곡을 개선하는 알고리즘이 소개되었다^[6]. 하지만, 두 장의 영상획득 중에, 플래시를 사용하여 영상을 획득하게 되었을 때 플래시로 인한 사용자의 불쾌감은 해소할 수가 없다.

최근 저조도의 환경에서 영상 획득에 따른 흔들림 현상이나, 플래시로 인한 왜곡 현상, 플래시 섬광의 거부감을 개선하기 위한 알고리즘과 카메라 시스템에 대한 연구가 소개되고 있다. 카메라 시스템을 수정하여 CCD(charge coupled device)센서가 받아들일 수 있는 빛의 과장대를 일반적 카메라가 획득하는 가시광 과장 범위 밖의 광을 이용하여 영상 획득하는 방법으로 멀티스펙트럴 플래시(multi-spectral flash)를 이용하는 알고리즘이 있다. 이는 장면에 대해 각각 다른 조건으로 한 장 이상의 영상을 획득하여 장면에 대해 좀 더 많은 정보를 획득하여 고화질 영상을 만드는 방법이다. 이 방법은 카메라 시스템을 수정하여 CCD센서가 받아들일 수 있는 빛의 과장대를 일반적인 디지털 카메라가 획득하는 가시광 과장 범위 밖의 자외선(near infrared), 적외선(near ultraviolet)을 이용하여 영상을 획득하는 방법이다. 즉, 사람 눈에 보이지 않는 UV/IR 플래시를 사용하여 영상을 획득하고 이어서 일반 가시광을 이용하여 영상을 획득한다. 이는 UV/IR광의 물체의 반사율에 따라 물체의 형태를 인지하고 가시광(visible light)을 이용하여 색 정보를 획득한 영상에 대해 최적화(optimization)를 수행하여 고화질의 영상을 획득한다^[7-8]. 하지만 멀티스펙트럴 플래시 이미징의 최적화 방법을 적용하였을 때 픽셀단위의 최적화 수행으로 인하여 UV/IR 플래시 영상의 잡음이 결과영상에 그대로 나타나는 문제와 획득한 두 영상의 차이로 인해 정확한 색을 재현하는데 문제가 있다.

본 논문에서는 기존의 멀티스펙트럴 플래시 영상획득의 문제점을 개선하기 위해 픽셀단위의 최적화 과정을 수정한 알고리즘을 제안한다. 픽셀단위의 최적화 과정에서 발생하는 잡음과 색 재현의 문제를 개선하기 위하여 두 영상의 최적화를 수행할 때 윤곽영역과 평편한 영역을 구분하는 가중치 맵을 적용하여 픽셀단위의 최적화 방법에 지역정보(region information)를 사용하였

다. 색 왜곡과 잡음 개선을 위해 가중치 맵을 사용하여 최적화 과정에 평편한 영역과 윤곽 영역에 대해서 차별적 가중치 적용하여 색 왜곡을 줄이는 방법을 제안하였다. II절에서는 기존의 멀티 스펙트럴 영상의 획득 방법에 대해서 설명하고, 기존의 방법에서 나타나는 현상을 개선하기 위한 알고리즘은 III절에서 설명한다. IV절에서는 기존의 멀티스펙트럴 플래시 영상의 획득 방법과 제안한 방법의 실험 및 결과를 비교하며, V절에서 결론을 맺는다.

II. 기존의 방법의 및 문제점

1. 기존의 방법

저조도에서 고화질의 영상을 획득하기 위한 멀티스펙트럴 플래시 영상의 획득은 장면에 대해 5개의 스펙트럼, UV(370~400nm), IR(700~800nm)과 가시광인, B(400~500nm), G(500~600nm), R(600~700)에서 두 장의 영상을 획득하게 된다. 그리고 파장대역에 획득한 두 장의 영상의 세부정보와 색 정보를 최적화하여 획득하게 된다. 저조도 환경에서 멀티스펙트럴 플래시를 이용해 영상을 획득할 경우 저조도의 환경에서 영상 획득 시 발생하는 잡음, 흔들림 현상, 그리고 플래시의 섬광 인한 거부감 등의 문제점을 해결 할 수가 있다.

Krishnan와 Fergus의 방법은 R,G,B 파장대로 이루어진 가시광 영상과 UV/IR 플래시를 사용하여 촬영 영상의 특성을 최적화함으로 저조도 환경에서의 고화질 영상을 획득하였다. 일반 디지털 카메라와 플래시를 이용하여 UV/IR 과 RGB 파장대역의 영상을 획득하기 위해 일반적인 카메라 시스템을 수정하였다. 일반 디지털 카메라의 CCD센서는 400nm~700nm의 가시광선만을 받아들이게 된다. UV와 IR파장을 획득하기 위하여 디지털 카메라의 CCD센서 앞에 부착되어 있는 적외선 차단 필터(IR-cut filter)를 제거하고, 카메라 렌즈 앞에 800nm이상의 자외선을 차단하는 적외선 차단필터를 부착함으로 IR 파장대역의 빛을 획득하게 된다. UV 파장대의 빛을 획득하기 위하여 일반 카메라의 플래시의 제논플래시램프(Xenon Flash Lamp)에서 나오는 UV광을 차단하는 UV광 흡수코팅을 제거한다. 또한, 플래시를 사용함으로 발생하는 섬광의 거부감을 없애기 위해 플래시의 앞부분에 가시광 차단 필터(visible light-cut filter)를 부착한다. 이 카메라 시스템으로 두 번의 연속 촬영을 통하여 가시광 영상과 UV/IR 플래시 영상을 획득하게 된다. 이와 같이 획득한 가시광 영상의 특성은



그림 1. 획득 된 멀티 스펙트럴 플래시 영상;
(a) 가시광 영상, (b) UV/IR 플래시 영상

Fig. 1. Multi-spectral flash images; (a) visible flash image (b) UV/IR flash image

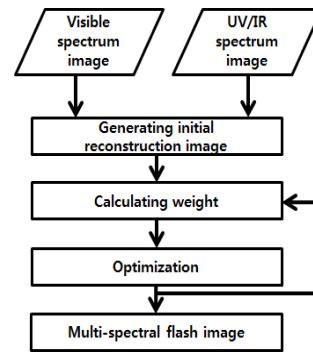


그림 2. Krishnan와 Fergus의 방법의 흐름도

Fig. 2. Flowchart of Krishnan and Fergus's method.

그림 1의 (a)과 같이 장면에 대해 색 정보는 포함하고 있으나, 흔들림을 없애기 위해 노출시간을 짧게 함으로 인해 발생하는 잡음이 포함되게 된다. 이와는 반대로, 그림 1의 (b)와 같이 UV/IR 플래시 영상에선 보이지 않는 플래시의 사용으로 인해 잡음을 포함하지 않은 영상의 풍부한 세부정보를 가지고 있다. 하지만, 가시광 외의 파장대를 사용함으로 장면의 색 정보는 담고 있지 않다. Krishnan와 Fergus는 이러한 두 장의 영상의 색 정보와 세부정보를 최적화 과정을 통하여 저조도의 환경에서 고화질의 영상을 획득하게 된다. 그림 2는 Krishnan와 Fergus 알고리즘의 전체 흐름도이다. 이는 저조도의 환경에서 가시광 영상과 UV/IR 플래시 영상을 두 번의 연속 촬영을 통하여 획득하게 되고, 이 획득한 가시광영상의 색 정보와 UV/IR 플래시 영상의 세부정보에 대해 최적화를 초기 결과영상을 포함하여 총 5회 반복수행하게 된다. 최적화의 목적함수는 4개의 항으로 구성되며, 크게 두 가지, 색 정보와 세부정보에 대한 항으로 나뉜다. 각 항은 색 유사도항, 공간적 유사도의 항, IR 스펙트럼항, UV 스펙트럼항으로 구성된다. 색 유사도의 항은 결과영상의 색 정보를 위해 획득한 가시광의 색과 결과영상의 색 정보를 최소화 하는 픽셀 값을 구하는 항이 되고, L2 norm을 사용한다. 공간적 유사도 항은 영상의 질(quality)을 보존하기 위해 이전

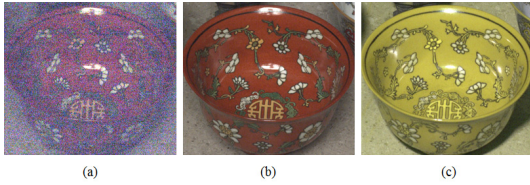


그림 3. 저조도에서 획득한 영상; (a) 단노출 영상, (b) 장노출 영상, (c) UV/IR 플래시 영상
 Fig. 3. Capturing image under low light environments: (a) short exposure image, (b) long exposure image, (c) UV/IR flash image

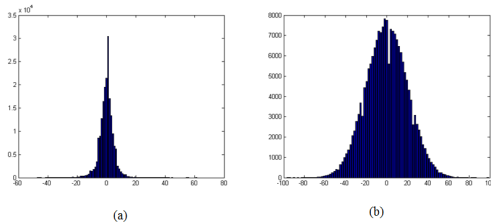


그림 4. 잡음이 있는 영상과 없는 영상간의 차이값의 분포도; (a) 그림3 (a)와 (b)에 대한 변화량의 차이 값의 분포, (b) 그림 3 (c)와 (b)에 대한 변화량의 차이 값의 분포
 Fig. 4. Distribution of difference between noisy image and reference image and difference between clear image and reference image

결과영상과 현재 결과영상의 세부정보 차이를 최소화하게 된다. 마지막으로, IR,UV 스펙트럼항은 결과영상의 세부정보과 잡음을 제거하기 위하여 사용한다. 이는 UV/IR 플래시 영상의 R채널인 IR 스펙트럼 영상과 B 채널인 UV 스펙트럼 영상의 변화량과 결과영상의 변화량의 차이를 최소화할 함으로 영상의 세부정보 포함시키게 되고, 잡음을 제거하게 된다. 이는 그림 3과 4에서와 같이 한 장면에 대해서 잡음이 없는 장노출 영상의 변화량과 잡음이 있는 영상 단노출 영상의 변화량의 차이 값의 분포는 산발적으로 많은 값을 갖게 되지만, 잡음이 없는 영상간의 변화량의 차이 값은 거의 0으로 분포함을 이용하였다. 즉, IR 스펙트럼항과 UV 스펙트럼항은 UV/IR 플래시영상이 잡음이 없는 깨끗한 영상으로 가정하고, 결과영상이 UV/IR 플래시 영상의 R채널과 B채널의 변화량의 최소화를 수행한다. 최적화 목적함수는 식 (1)과 같이 나타내고 각 채널별, 픽셀단위로 최적화^[7]를 한다.

$$\arg \min_{R_j} \sum_p \left[\begin{aligned} & \mu_j m(p) (R_j(p) - A_j(p))^2 \\ & + \kappa m(p) |\nabla R_j(p)|^\alpha \\ & + |\nabla R_j(p) - \nabla F_1(p)|^\alpha \\ & + |\nabla R_j(p) - \nabla F_3(p)|^\alpha \end{aligned} \right] \quad (1)$$

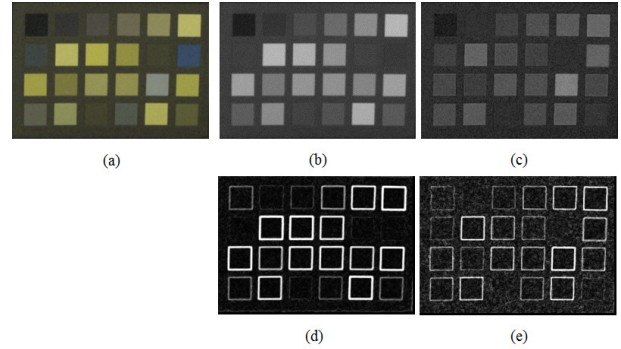


그림 5. UV/IR 플래시 영상과 윤곽영상; (a) UV/IR 플래시 영상, (b) UV/IR 플래시 영상의 R 채널, (c) UV/IR 플래시 영상의 B 채널, (d) (b)의 윤곽영상, (e) (c)의 윤곽영상.

Fig. 5. UV/IR flash image and edge map; (a) UV/IR flash image, (b) R channel of UV/IR flash image, (c) B channel of UV/IR flash image, (d) edge map of (b), (e) edge map of (c)

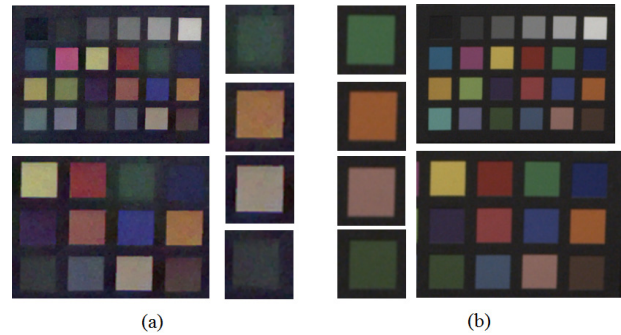


그림 6. Krishnan와 Fergus의 방법과 장노출 영상과의 비교; (a) Krishnan와 Fergus의 방법, (b) 장노출 영상
 Fig. 6. Comparison between Krishnan와 Fergus's method and long-exposure image; (a) Krishnan와 Fergus's method, (b) Long-posure image

여기서, R_j 는 최적화 결과영상이고, A_j 는 가시광영상의 각 채널, F_1 과 F_3 는 UV/IR 플래시 영상의 R 채널과 B채널을 나타내고, 이들 각각은 IR스펙트럼과 UV스펙트럼의 영상을 말한다.

1. 기존의 방법의 문제점

멀티스펙트럴 플래시 영상은 가시광 대역을 이용하여 획득한 영상과 UV스펙트럼과 IR 스펙트럼 대역을 사용하여 획득한 영상에 대해 최적화를 수행하는 방법으로 저조도의 환경에서 고화질의 영상을 얻는 방법이다. 이는 가시광 영상의 색 정보와 UV/IR 플래시를 이용하여 획득한 영상의 세부정보를 최적화하는 목적함수를 통해 각 채널별, 픽셀단위로 최적화 문제를 풀어 고화질의 영상을 만들게 된다.

기존의 멀티스펙트럴 플래시 영상의 최적화 방법은 UV/IR 플래시 영상은 잡음이 없고 장면의 풍부한 세부 정보를 가지고 있는 영상임을 가정하고 있고, 결과영상의 세부정보는 UI/IR 플래시영상의 세부정보를 따르게 된다. 하지만, 기존의 가정이 그림 5에서 볼 수 있듯이 세부정보를 담고 있는 UV 채널과 IR 채널의 잡음이 존재하게 되고, 이를 그림 5의 윤곽영상에서 확인 할 수가 있다. 또한, UV/IR 플래시 영상은 장면에 대해 풍부한 세부정보를 포함하고 있어야 하나 그림 5의 (d)와 (e)에서도 볼 수 있듯이 영상의 세부정보가 완전 포함 되어 있지 않다. 기존의 픽셀단위의 최적화 방법에선 UV/IR 플래시 영상은 잡음이 없고, 세부정보가 풍부한 영상으로 가정하고 최적화를 수행하므로 UV/IR 플래시 영상의 잡음과 세부정보가 없는 부분을 고려하지 않은 최적화가 수행된다. 그 결과, IR/UV 플래시 영상의 잡음이 영상의 세부정보로 사용되고 그로 인한 최적화 수행과정에 윤곽영역이 아닌 평편한 영역에서도 세부정보를 고려하게 되며, 그림 6에서와 같이 세부정보가 없거나 평편한 영역 중 잡음이 있는 부분에 대해서 결과 영상 전체의 색 변화와 왜곡이 발생하게 된다. 즉, 색 정보를 많이 받아야 할 평편한 영역에서 UV/IR 플래시 영상의 잡음으로 인해 평편한 영역이 윤곽영역의 정보를 많이 포함하게 되어 결과영상의 평편한 영역의 색 변화와 왜곡현상에 발생하게 되고, 세부영역이 포함되어야 할 영역에 세부영역의 정보가 없는 경우 평편한 영역으로 계산되어 결과 영상의 색 번짐과 같은 왜곡현상을 발생시킨다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하고자 한다.

III. 제안한 방법

기존의 멀티스펙트럴 플래시 영상 획득에 있어 픽셀 단위의 최적화 방법으로 인해 발생하는 왜곡과 색 재현을 개선하기 위해 기존의 픽셀단위의 최적화 방법을 가중치 맵을 이용한 영역기반의 최적화 방법을 사용한다. 기존의 픽셀단위의 문제점은 평편한 영역에서 UV/IR 플래시 영상의 잡음으로 인해 평편한 영역이 윤곽영역의 정보를 많이 포함하게 되어 결과영상의 평편한 영역의 색 변화와 왜곡현상에 발생하게 되고, 세부정보가 포함되어야 할 영역에 세부정보가 없는 경우 평편한 영역으로 계산되어 결과 영상의 색 번짐과 같은 왜곡현상을 발생시킨다. 영역기반의 최적화를 위해 장면에 대해 평편한 영역과 윤곽영역을 구분하는 가중치 맵을 획득

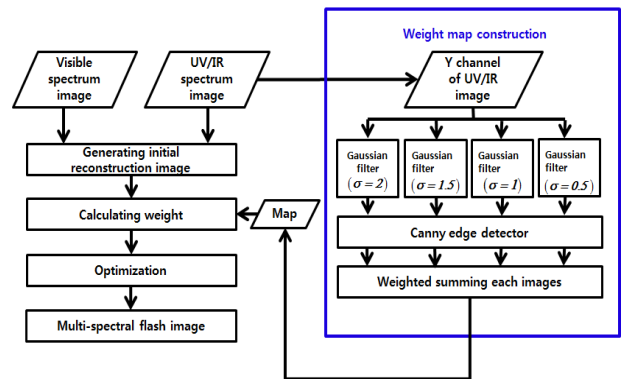


그림 7. 제안한 영역기반의 최적화 방법의 흐름도
Fig. 7. Flow chart of proposed region based optimization method.

하게 되고, 이 가중치 맵을 최적화 과정에서 평편한 영역과 윤곽영역을 구분하는 가중치를 줌으로 UV/IR 플래시 영상의 평편한 영역에 포함되는 잡음의 영향을 줄임과 동시에 세부정보의 손실을 개선하였다. 그림 7은 제안한 방법의 흐름도이다.

1. 가중치 맵의 획득

가중치 맵을 획득함에 있어 가중치 맵은 입력영상에 있는 잡음의 최소화와 강한 에지를 찾음으로 평편한 영역과 윤곽 영역을 구함에 목적이 있다. 일반적으로 영상의 윤곽영역과 평편한 영역을 나누는 방법으로 Sobel 나 Roberts 에지 검출 방법 등이 있다. 하지만 이러한 에지 검출 알고리즘은 영상의 잡음으로 인해 윤곽의 오검출이 발생하므로 윤곽과 평편한 영역을 나누는 정보를 가지고 있어야하는 가중치 맵으로써의 성능이 낮아진다. 본 논문에서는 가중치 맵을 구성함에 있어 잡음이 대해 윤곽의 낮은 오검출율을 보이고, 정확한 에지 점들의 위치와 단일 에지를 추출할 수 있는 canny edge operator를 사용하게 된다. 가중치 맵의 획득 방법은 입력영상 Y채널에 대해 4개의 스케일로 가우시안 평활화(gaussian smoothing)을 한 4개의 영상을 Canny 에지 연산자(Canny edge operator)를 통해 영상의 윤곽과 평편한 영역을 구분하고, Canny 에지 연산자를 통해 나온 4개의 영상을 가우시안 평활화 정도에 따라 가중치 합으로 하나의 가중치 맵을 만들게 된다. 가중치 맵은 영상 세부정보가 잘 나타나고, 잡음이 비교적 적은 UV/IR 플래시 영상의 휘도(Luminance)채널을 사용하게 되며, 이는 식(2)를 통해 YCbCr 색 공간으로 변환한 후 Y 채널을 가중치 맵의 입력영상으로 사용한다. 다음 수식은 RGB 색 공간을 YCbCr 색 공간으로의 변환 수식이다.

$$\begin{bmatrix} Y \\ C_b \\ C_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.2126 & 0.7152 & 0.0722 \\ -0.1146 & -0.3854 & 0.5 \\ 0.5 & -0.4542 & -0.0458 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (2)$$

가중치 맵을 만들기 위해 입력영상인 UV/IR 플래시 영상의 Y채널에 대해 4개의 다른 크기의 가우시안필터를 통하여 영상을 평활화를 하였다. 평활화에 사용한 가우시안 함수는 식(3)과 같고, $\sigma = 0.5, 1, 1.5, 2.0$ 로 평활화를 수행하였다.

$$C(x,y) = G(x,y,\sigma) * f(x,y) \quad (3)$$

$$G(x,y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}\right) \quad (4)$$

여기서 $f(x,y)$ 는 입력영상인 UV/IR 플래시 영상의 Y채널이고, $G(x,y)$ 식 4와 같은 가우시안 함수이다.

4개의 스케일을 이용한 가우시안 평활화를 통해 얻은 영상을 평편한 영역과 윤곽영역으로 구분하는 가중치 맵을 만들기 위하여 4장의 영상에 대해 Canny 에지 연산자를 적용한다^[9]. 이는 일반적인 에지검출 연산자의 성능평가에 있어 기준이 되는 강한 에지의 추출, 에지의 국부화, 하나의 에지에 대한 대응성을 가지는 최적화된 윤곽 검출 방법인 Canny 에지 연산자를 사용하여 장면에 대해 윤곽과 평편한 영역을 구분하게 된다. 본 논문에서는 일반적인 Canny 에지 검출방법에서 영상의 평활화를 생략하고 1차 미분 연산자를 통한 에지검출 후 각 화소에 대해 크기와 방향을 구한 값으로 강한 에지를 검출하게 되고, 최종적으로 이중 임계치를 이용하여 불필요한 에지를 제거하는 방법으로 각 스케일별 가중치 맵을 만들게 된다. 첫 번째로 1차 미분 연산자인 소벨 연산자(sobel operator)를 이용하여 수직, 수평 방향에 대해서 에지를 검출한다. 식 5는 사용된 소벨 연산자의 마스크를 나타낸다.

$$G_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad G_y = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & 2 & -1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

그 다음 검출된 에지의 방향과 크기를 구해야한다. 각 에지의 방향과 강도는 식 6과 7을 통해 구하게 되고, 각 방향은 $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ, 180^\circ$ 로 5개의 영역으로 분할한다.

$$G_{xy}(x,y) = \sqrt{G_x^2(x,y) + G_y^2(x,y)} \quad (6)$$

$$\theta(x,y) = \tan^{-1} \frac{G_y(x,y)}{G_x(x,y)} \quad (7)$$

여기서 $G(x,y)$ 는 에지의 크기, $\theta(x,y)$ 는 에지의 방향을 나타낸다. 그 다음 임의의 픽셀의 크기가 같은 방향에 있는 두 개의 이웃 값보다 크면 그 픽셀을 에지를 표시하고, 그렇지 않으면 배경으로 표시한다. 마지막으로, 지금까지 검출된 에지들 중에서 실제 에지와 잡음에 의해 검출된 에지가 존재하게 된다. 이들을 구별하기 위하여 최소값과 최대값으로 이중 임계치를 두어 최소 임계치보다 작은 에지와 최대 임계치보다 큰 에지를 제거한다. 이러한 Canny 에지 검출기를 통해 얻은 4장의 에지 영상은 가우시안 평활화 정도에 따라, σ 가 작을수록 영상의 작은 에지까지 포함하고 있으나, 잡음이 에지로 포함되어 있을 확률이 높고, 반대로 σ 가 클수록 영상의 강한 에지만을 포함하고 있지만 세부에지는 평활화에 의해 잡음과 같이 포함되지 않게 된다. 잡음을 최소화하고 영상의 세부에지와 진짜 에지만을 구하기 위하여, 각 4개의 스케일의 가우시안 평활화를 통해 얻은 에지영상을 가중치 합을 통해 하나의 가중치 맵을 획득한다. 이는 식 (8)과 (9)를 통해 나타낸다.

$$M(x,y) = \sum_{j=1}^4 w_j E_j(x,y) \quad (8)$$

$$E_j(x,y) = \begin{cases} 1, & E_j(x,y) > 0 \\ 0, & otherwise \end{cases} \quad (9)$$

여기서 $E_j(x,y)$ 는 j 번째 에지영상을 말하고, w_j 는 가우시안 평활화의 σ 의 크기에 따른 가중치이다. 이렇게



그림 8. 가우시안 스케일별 에지영상과 제안된 가중치 맵; (a) 각 가우시안 스케일별 에지 영상, (b) 제안된 가중치 맵

Fig. 8. edge map of difference gaussian scales and weight map; (a) edge map of difference gaussian scales, (b) proposed weight map.

획득한 가중치 맵은 그림 8에서 나타내고 있다.

2. 가중치 맵의 적용

기존의 방법의 최적화 방법에 있어 목적함수에 대해 가중치 맵을 다음 식 (10)과 같이 적용하고, 총 5회 반복수행하여 결과 영상을 얻게 된다.

$$\operatorname{argmin}_R \sum_p \left[\begin{array}{l} \mu_j(R_j(p) - A_j(p))^2 \\ + \kappa |M(\nabla R_j(p))|^\alpha \\ + |M(\nabla R_j(p) - \nabla F_1(p))|^\alpha \\ + |M(\nabla R_j(p) - \nabla F_3(p))|^\alpha \end{array} \right] \quad (10)$$

여기서, M 은 제안한 가중치 맵을 의미하고, j 는 영상의 각 RGB 채널을 의미하며, $R_j(p)$ 는 각 채널별 최적화 결과영상, $A_j(p)$ 는 가시광영상의 j 채널의 픽셀 값, $\nabla F_1(p), \nabla F_3(p)$ 는 UV/IR 스펙트럼 영상의 R채널과 B채널의 변화량을 의미한다. 을 말한다. 가중치는 반복 가중 최소제곱법의 최적화 과정 중에서 윤곽정보와 평편한 영역에 대해 가중치 맵에 따라 윤곽 정보와 평편한 영역에선 가시광영상의 색 정보를 사용하게 되며 차별적 가중치를 주게 된다. 식 (11)과 (12)는 식 (10)의 반복 가중 최소제곱법의 가중치의 계산과 가중치 맵의 적용 예를 나타낸다. 즉, UV/IR 영상의 변화량 ($\nabla F_1, \nabla F_2$)에 따른 최적화 결과영상의 변화량(∇R)의 재현을 나타낸다.

$$\operatorname{argmin} |R_i - \nabla F|^\alpha \quad (11)$$

$$= \operatorname{argmin} |(MW_i)R_i - \nabla F|^\alpha$$

$$W_i = |R_{i-1} - F|^\alpha \quad (12)$$

여기서, W_i 는 i 번째 반복 최적화 과정의 가중치이고, R_{i-1} 은 현재 반복 수행되는 이전의 결과영상을 말한다. 즉, 반복 최적화에 사용되는 가중치 W_i 는 식(12)번과 같이 현재 반복수행 전의 결과영상에 대해 차이 값을 가중치로 사용하게 되고, 이 가중치에 대해 가중치 맵을 적용하여 윤곽영역과 평편한 영역의 차별적 가중치를 주게 된다.

IV. 실험 및 결과

제안한 가중치 맵을 이용한 최적화 방법을 평가하기 위하여 삼성 NX-100 카메라를 자외선 차단 필터(IR-cut filter)를 제거하여 사용하였고 대역통과필터(band pass filter)를 사용하여 가시광 영상을 획득 하였고 카메라 플래시의 Xenon flash lamp에 있는 UV광 흡수코팅을 제거한 플래시 전면에서 가시광차단 필터를 부착 후 UV/IR 플래시 영상을 획득하였다. 영상 획득 시 조도 80lux의 환경에 대하여 암실에서 획득하였다. 그림 9은 제안된 방법의 결과 영상이다. 제안된 방법을 평가하기 위해 7개의 실험 영상에 대해 PSNR, MSSIM과 Z-score를 이용하여 비교하였다.

PSNR과 MSSIM의 reference 영상으로 저조도의 환경에서 장면의 색과 잡음이 없고 깨끗한 영상인 흔들림 없는 장노출의 영상을 사용하였다. PSNR은 다음 식과 같이 계산된다.

$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{MAX_I}{MSE} \right) \quad (13)$$

여기서 MSE 는 모든 동일위치의 화소 값의 차이의 제곱의 합을 나타내고 MAX_I 는 영상 모든 화소 개수의 제곱이다. MSSIM^[10]은 영상의 휘도(luminance), 대비(contrast), 구조(structure)의 유사도를 계산한다.

$$MSSIM(x, y) = f(l(x, y)c(x, y)s(x, y)) \quad (14)$$

여기서 $l(x, y)$, $c(x, y)$, 와 $s(x, y)$ 는 휘도, 대비와 구조에 대한 요소이다. 표 1은 객관적 평가의 결과이고, 그림 8은 MSSIM의 유사도를 평가한 영상이다. 그 결

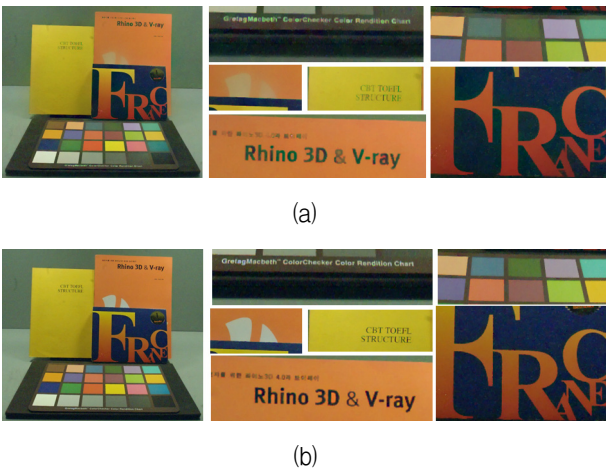


그림 9. 기존의 방법과 제안한 방법의 결과 영상;
(a) Krishnan와 Fergus의 방법, (b) 제안된 방법
Fig. 9. Resulting images of the previous and the proposed method; (a) Krishnan and Fergus's method, (b) proposed method.

표 1. PSNR과 MSSIM을 이용한 객관적인 평가.
Table 1. Evaluation by objective criterion using PSNR and MSSIM

Image	Previous method		Proposed method	
	PSNR	MSSIM	PSNR	MSSIM
book1	16.57	89.32	16.61	92.98
book2	14.38	80.33	14.58	85.56
book3	25.25	65.37	27.71	66.22
bowls	24.11	85.13	25.81	92.93
dolls	24.76	80.91	26.51	87.16
person1	17.36	44.19	17.61	46.41
person2	20.05	55.44	20.75	58.65

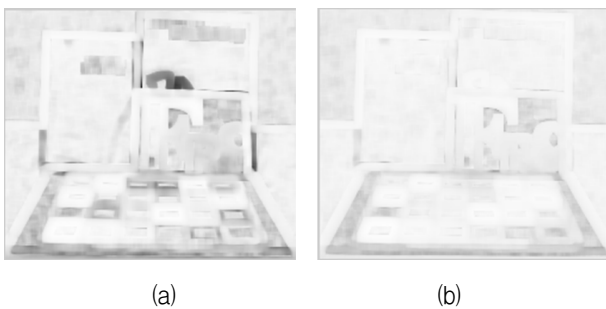


그림 10. 참조영상과 결과영상의 오차 맵; (a) Krishnan와 Fergus의 방법, (b) 제안된 방법
Fig. 10. Error map of resulting image; (a) Krishnan and Fergus's method, (b) proposed method

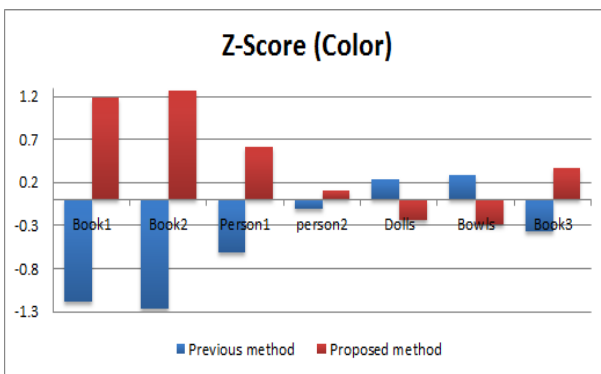


그림 11. Z-score를 이용한 기존의 방법과 제안된 방법의 색 재현성 비교
Fig. 11. Comparison between the proposed method and previous method by using Z-score.

과 제안한 방법이 PSNR과 MSSIM을 사용한 7장의 실험영상에서 전반적으로 높은 수치를 보였고, 그림 10은 MSSIM으로 구한 그림 9의 오차 맵(error map)이다. 이는, 참조영상(reference image)과의 오차를 나타낸 것이고, 영상의 계조가 검은색에 가까울수록 오차가 크을 나타낸다. 그림 10에서도 볼 수 있듯이 제안된 방법의 오차가 기존의 방법보다 적음을 보이고 있다. 또한, 표 1과 그림 11에서 보이듯이 제안한 방법이 우수한 성능

을 보이고 있다. 주관적인 평가는 60명의 관찰자를 대상으로 각 테스트 영상에 대해 기존의 방법과 제안한 방법에 대해서 색재현성 측면에서 평가를 하였다. 이를 Z-score^[11]를 이용하여 평가하였다. Z-score방법은 영상을 비교하여 더 선호하는 영상을 선택하여 이를 확률적인 방법으로 표현한 것이다.

그림 11은 색에 대한 Z-score평가 결과이다. 그 결과 제안한 방법이 Dolls와 Bowls영상을 제외한 나머지 모든 영상에서 우수한 색 재현성능을 보였다.

V. 결론

본 논문에서는 저조도 환경에서 고화질의 영상을 획득하기 위한 기존의 멀티스펙트럼 플래시를 사용한 최적화 방법에서 생기는 색 왜곡과 잡음을 보상하는 알고리즘을 제안한다. 기존의 픽셀단위의 최적화 방법에선 UV/IR 플래시 영상은 잡음이 없고, 세부정보가 풍부한 영상으로 가정하고 최적화를 수행함으로 UV/IR 플래시 영상의 잡음과 세부정보가 없는 부분을 고려하지 않은 최적화가 수행된다. 그 결과, IR/UV 플래시 영상의 잡음이 영상의 세부정보로 사용되고 그로 인한 최적화 수행과정에 윤곽영역이 아닌 평편한 영역에서도 세부정보를 고려하게 되며, 세부정보가 없거나 평편한 영역 중 잡음이 있는 부분에 대해서 결과 영상 전체의 색 변화와 왜곡이 발생하게 된다. 이를 윤곽영역과 평편한 영역을 나누는 가중치 맵을 사용하여 영역별로 차별적인 가중치를 적용한 최적화 방법을 사용함으로 기존의 최적화 방법에서 발생하는 색 변화와 왜곡을 보정하였다.

제안한 방법은 주관적인 평가와 객관적인 평가를 통해 기존의 방법보다 색 재현성과 왜곡에 대해서도 우수한 결과를 보여주고 있음을 확인하였다.

REFERENCES

[1] A. Agrawal, R. Raskar, S. K. Nayar, and Y. Li, "Removing Photography Arifacts using Gradient Projection and Flash-Exposure Sampling," *ACM Transaction on Graphics*, vol. 24, no. 3, Jul. 2005.
 [2] S. Wang, T. Hou, J. Border, H. Qin, and R. Miller, "High Quality Image Deblurring Panchromatic Pixels," *ACM Transaction on Graphics*, vol. 31, no. 5, Aug. 2012.
 [3] R. Fergus, B. Singh, A. Hertzmann, S. T.

- Roweis, W. T. Freeman, "Removing Camera Shake from a Single Photograph," *ACM Transaction on Graphics*, vol. 25, no. 3, Jul. 2006.
- [4] Jiaya Jia, "Single Image Motion Deblurring using Transparency," *Conference on IEEE Computer Vision and Pattern Recognition*, 2007
- [5] G. Petschnigg, R. Szeliski, M. Agrawala, M. Cohen, H. Hoppe, and K. Toyama, "Digital photography with Flash and No-Flash Image Pairs," *ACM Transaction on Graphics*, vol. 23, no. 3, pp. 664-672, Aug. 2004.
- [6] E. Eisemann, and F. Durand, "Flash Photography Enhancement via Intrinsic Relighting," *ACM Transaction on Graphics*, vol. 23, no. 3, pp. 673-678, Aug. 2004.
- [7] D. Krishnan and R. Fergus, "Dark Flash photography," , *ACM Transaction on Graphics*, vol. 28, no. 3, pp. 1-11, Aug., 2009.
- [8] S. Zhuo, X. Zhang, X. Miao, and T. Sim, "Enhancing Low Light Images using infrared Flash Images," *IEEE 17th International Conference on Image Processing*, Sep. 2010.
- [9] J. Canny, "A Computational Approach to Edge Detection," *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 8, no. 6, pp. 679-714, Nov., 1986.
- [10] Z. Wang, A. C. Bovik, H. R. Sheikh, and E. P. Simoncelli, "Image Quality Assessment: From Error Vivibility to Structural Similarity," *IEEE transaction on Image Processing*, vol. 31, no. 4, Apr. 2004.
- [11] J. Morovic, "Color Gamut Mapping," Published in *Association with the Society for IS&T*, 2008

— 저 자 소 개 —



최 봉 석(학생회원)
2010년 대구가톨릭대학교
전자공학과 (공학사).
2011년-현재 경북대학교 대학원
전자공학부 석사 과정.
<주관심분야 : Color image
enhancement, Image quality >

김 대 철(학생회원)
대한전자공학회 논문지
제 48권 SP편 제 1호 참조

이 철 희(정회원)
대한전자공학회 논문지
제 47권 SP편 제 4호 참조

하 영 호(평생회원)
대한전자공학회 논문지
제 38권 SP편 제 3호 참조