

논문 2011-48SP-2-8

단일 Bayer 영상으로 부터 다양한 노출을 가지는 Low Dynamic Range 영상들의 추정

(Estimation of Differently Exposed Low Dynamic Range Images from a
Single Bayer Image)

이 태 형*, 하 호 건*, 하 영 호**

(Tae Hyoung Lee, Ho-Gun Ha, and Yeong-Ho Ha)

요 약

HDR(high dynamic range) 영상 기법은 일반 카메라에서 획득되는 영상의 LDR(low dynamic range)의 한계를 극복하는 방법을 일컫는다. 일반적으로 이 기법은 카메라의 노출에 따른 단계별 LDR 영상들을 획득하고 통합함으로써 획득된다. 그러나 기존의 연구에서는 여러 번에 걸친 영상획득 과정이 필요하고 그에 따른 고스트(ghost) 현상을 야기한다. 이러한 한계를 극복하기 위하여, 본 연구에서는 센서에서 획득되는 단일 Bayer 영상으로부터 사용자가 요구하는 노출의 LDR 영상을 채널상관성을 고려하여 추정할 수 있는 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 먼저 입·출력 간의 상관관계를 나타내는 노출(exposure) look-up table(LUT)를 각 채널별로 생성을 한다. 그리고 입력 영상의 평균휘도와 노출을 LUT에 적용하여, 최종 LDR 영상을 위한 새로운 노출을 추정한다. 다음으로 입력 영상의 각 픽셀 값과 추정된 노출을 LUT에 적용함으로써 목적하는 밝기를 가지는 LDR 영상을 추정 할 수 있다. 이 때, 포화된 영역의 경우는 채널의 상관성을 고려하여 추정함으로써 실제 노출로 획득한 영상과의 차이를 줄이는 방법을 제안하였다. 결과영상은 PSNR을 비교하여 정확성을 증명하였으며, 또한 디스플레이를 위하여 톤맵핑(tone mapping)을 적용한 영상을 사용한 비교에서 실제 획득된 영상과 추정한 영상의 차이가 비슷함을 확인하였다.

Abstract

HDR(high dynamic range) imaging techniques supports wider dynamic range than normal images captured from general still camera. These usually need several shots to obtain LDR(low dynamic range) images, causing ghosting artifacts. Accordingly, this paper suggests a method to generate new LDR images from a single Bayer image using Exposure LUT(look-up table) by considering channel dependency. We prior construct exposure LUT for each RGB channel, showing the relationship between input and average output luminance values. In the process, by applying the average luminance of input image and current exposure to LUT, new exposures which are determined by user choice are first estimated. Next, LDR images which are corresponded to new exposures are generated based on each LUT. Saturated areas are improved by considering channel dependency in the last procedure. In the experimental comparison, high PSNR values are obtained between estimated and captured images. Also, we have similar appearance on displayed images.

Keywords : High dynamic range, low dynamic range, 노출, ghost effect

* 학생회원, 경북대학교 전자전기컴퓨터학부
(School of Electrical Engineering and Computer
Science University)

** 정회원-교신저자, 경북대학교 IT 대학 전자공학부
(School of Electronics Engineering)

※ 본 연구는 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로
한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구(No.
2010-0000401)임.

접수일자: 2010년6월29일, 수정완료일: 2010년10월5일

I. 서 론

디지털 카메라는 2000년 초반부터 본격적으로 보급
되기 시작하여 최근에는 일반 가정의 보급률이 80%에
달하는 큰 규모의 시장을 가지고 있다. 이러한 수요에
대응하여 카메라의 화소 수, 색수차, 디자인, 저노이즈,

센서 감도(ISO, international standards organization) 등을 중심으로 많은 부분에서 발전, 개선을 되었다. 이러한 요소 중, 다이내믹 레인지(dynamic range)는 카메라가 받아들일 수 있는 밝기의 범위를 나타내는 것으로, 획득된 영상의 화질에 있어 중요한 역할을 한다.

현재 카메라가 한 번의 노출로 받아들일 수 있는 밝기의 범위는 하드웨어적 한계로 인해 $10^2 \sim 10^3 \text{cd/m}^2$ 정도로써 태양광이 나타내는 밝기의 범위인 10^8cd/m^2 , 혹은 인간 시각이 받아들일 수 있는 밝기의 범위인 10^5cd/m^2 에 한참 미치지 못하는 값을 나타낸다. 따라서 실제 장면의 경우 카메라는 그 밝기 정보를 정확하게 표현하지 못하게 된다. 즉, 카메라의 다이내믹 레인지를 벗어나게 되면 밝은 곳은 포화되고, 어두운 곳은 색이 나타나지 않게 되는 현상이 발생하며, 이렇게 획득된 카메라의 영상을 LDR(low dynamic range)영상이라 한다^[1~2].

HDR 영상은 LDR 영상정보를 분석하여 밝기 값을 cnrkgkadmfhTJ 더욱 넓은 다이내믹 레인지를 표현할 수 있는 영상을 의미한다. 이러한 HDR 영상은 각 채널의 bit수가 32bit로써 밝기 정보를 따로 저장하게 된다. 그러나 현재 보급되어있는 디스플레이는 24bit 밖에 표현하지 못함으로 톤 맵핑 기술을 사용하여 HDR 영상을 디스플레이에 표현한다^[3~5].

HDR 영상을 획득하는 방법은 크게 두 가지로 나눌 수 있다. HDR 카메라를 사용하여 한 번에 획득하는 방법과 일반 카메라를 사용하여 노출에 따른 여러 장의 LDR 영상을 합성하여 획득하는 방법이 있으며 이는 그림 1에 나타난다. 일반 카메라를 사용하여 HDR 영상을 획득하는 연구는 Debevec, Malik, Mitsunaga, Nayar, Robertson 등이 각각의 방법을 제안하였다^[6~12]. 이들은 노출이 다른 LDR영상을 여러 장 획득하고, 이 영상을 합성하여 HDR 영상을 얻었다. 이 때 노출은 두단계로

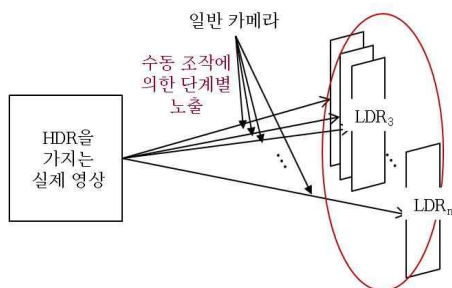


그림 1. 기존의 LDR 영상의 획득
Fig. 1. LDR images by manual exposure.

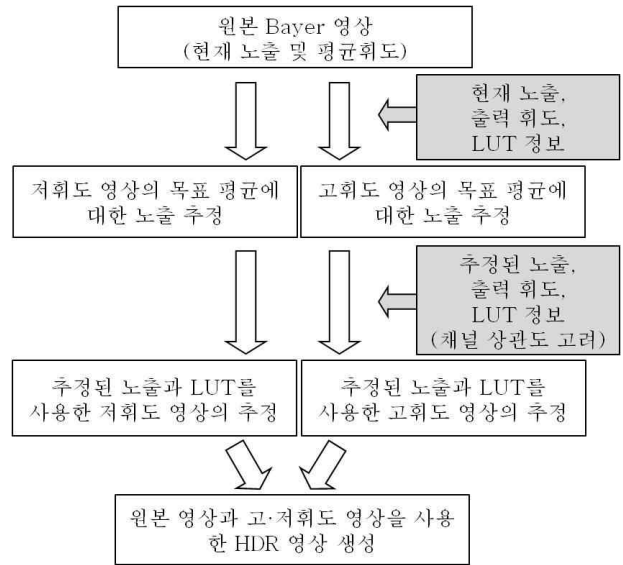


그림 2. 제안된 방법의 흐름도
Fig. 2. Diagram for proposed method.

10장 이상의 영상을 획득함으로써, 충분히 넓은 다이내믹 레인지를 확보한다.

기존 방법은 여러 차례에 걸쳐 LDR 영상을 획득 하여야 하며, 움직이는 물체가 있을 경우, 고스트 현상(ghosting effect)를 유발하게 된다. 최근 이를 극복하기 위하여 영상의 개수를 줄이는 방법들이 제시되었으나 최소 3장 이상의 영상을 획득하여야 한다.

따라서 본 연구에서는 자동노출에 의해 결정된 노출의 값으로부터 획득되는 Bayer 영상으로부터 사용자가 요구하는 LDR 영상을 추정할 수 있는 방법을 제안한다. Bayer 영상은 CMOS 센서로 부터 14bit의 영상 정보와 RGB 패터를 가지는 영상을 의미한다. 제안된 방법은 일반 카메라를 사용하여 적절한 노출에 대한 Bayer 영상을 획득하게 되고, 이 영상으로부터 사용자의 요구에 맞게 LDR 영상을 추정하는 과정을 제안한다.

II. 입·출력 특성 look-up table 을 사용한 LDR 영상의 추정

1. 제안된 방법의 흐름도

제안된 방법의 흐름도는 그림 2에서 소개된다. 본 연구에서는 HDR 영상을 위해 필요한 LDR 영상은 원본을 포함한 3장의 영상이라고 가정하며, 원본 영상보다 높은 노출단계를 가지는 고휘도 영상, 원본 영상보다 낮은 노출단계를 가지는 저휘도 영상이라 명한다. 제안된 방법에서 LUT는 각 채널별로 미리 생성한다. 그림2

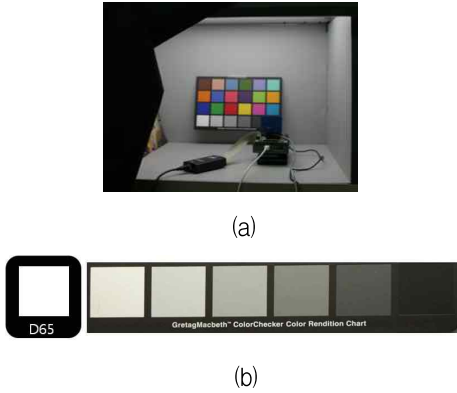


그림 3. (a) LUT 생성을 위한 패치의 측정, (b) 측정에 사용되는 패치
Fig. 3. (a) Measurement of patches for LUT, and (b) Paths for LUT.

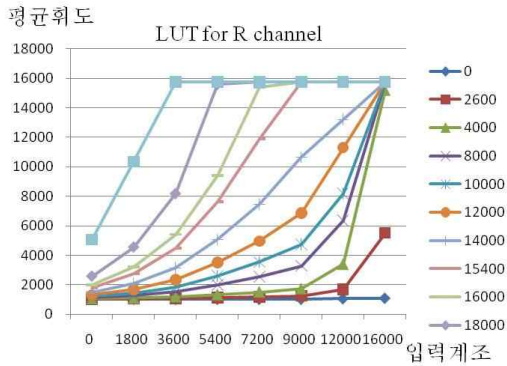


그림 4. R 채널의 입·출력 특성을 나타내는 LUT
Fig. 4. Results of LUT for R channel.

에서 먼저 원본 Bayer 영상으로부터 현재 영상의 평균 휘도와 현재 노출을 LUT에 적용하여 새로운 노출을 추정한다. 그리고 다시 입력 Bayer 영상을 추정된 노출과 함께 LUT에 적용하여 새로운 LDR 영상을 추정한다. 이 때 포화지역에 대한 추정의 정확성을 높이기 위하여 채널 상관도를 고려한다.

2. Look-up table의 생성

노출 LUT는 현재 입력에 대한 Bayer 영상의 평균 출력을 각 노출 단계에 대하여 나타낸다. 즉 3가지 요소, 영상의 평균 휘도, 입력 영상, 노출 중 2가지를 알고 있으면 다른 하나의 요소를 추정할 수 있다.

LUT를 생성하는 과정은 그림 3(a)와 같이 간단한 측정에 의해 이루어진다. 이는 표준광원 하에 그림 3(b)의 Macbeth ColorChecker의 회색 패치들을 노출의 단계별로 획득하고, 각 패치의 평균을 해당하는 노출에 맞게 저장하는 것이다. 패치는 균일하다고 가정하며, 사용한

카메라의 특성에 따라 입력과 출력은 14bit의 범위를 가진다.

LUT는 각 채널별로 생성하며, 이는 각 채널의 감도가 다르기 이다. 생성된 LUT는 그림 4에 나타나며, 다음의 수식으로 표현한다.

$$L_i = \begin{bmatrix} Y_{00} & \dots & Y_{0n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ Y_{0m} & \dots & Y_{nm} \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서 i 는 각 채널을 나타내며 n 과 m 은 각각 패치의 개수와 노출의 단계를 나타낸다.

3. LDR 영상의 추정

본 연구에서 입력 영상은 자동노출제어로 획득되며, 자동 노출제어는 G 채널의 밝기 값만을 사용한다고 가정한다. 따라서 새로운 노출을 추정할 때는 G LUT만을 사용하고, 입력 영상과 새로운 노출을 사용하여 최종 LDR 영상을 생성할 때는 입력 Bayer영상에 대하여 각 채널별로 수행된다.

먼저 그림 5는 입력 영상의 평균 휘도로부터 사용자가 원하는 LDR 영상에 대한 노출(EP)들을 결정하는 과정이다. 예를 들어 현재 영상의 평균과 현재 노출(175)를 알고 있으므로, 현재 영상에 대한 값(P_1)을 추정할 수 있다. 추정된 값은 아래의 수식으로 나타낸다.

$$P_1 = P(LUT, EP_c, Y_{ave}) \quad (2)$$

여기서 EP_c 는 현재 노출을 나타내고, Y_{ave} 는 카메라의 자동노출모드에서 획득되는 평균 휘도를 이야기 한다. P 함수는 현재 노출과 평균휘도가 만나는 지점에서 가장 가까운 4개의 점을 획득하여 보간함으로써 P_1 을 찾아내는 함수를 의미한다.

다음으로 추정된 P_1 과 G LUT에서 사용자로부터 지정된 최종 LDR을 위한 평균 휘도를 고려하여 고휘도와 저휘도 LDR 영상을 위한 목표 평균 휘도에 대한 목표 노출 ($EP = 230, 85$)를 추정 할 수 있다. 이러한 과정은 다음의 수식으로 나타낸다.

$$EP_h = EP(L, EP_c, Y_{ave}, Y_{tar_h}) \quad (3)$$

$$EP_l = EP(L, EP_c, Y_{ave}, Y_{tar_l}) \quad (4)$$

여기서 EP_h 와 EP_l 은 각각 사용자가 원하는 밝기에 해당하는 고휘도 영상과 저휘도 영상을 획득하기 위한 노출

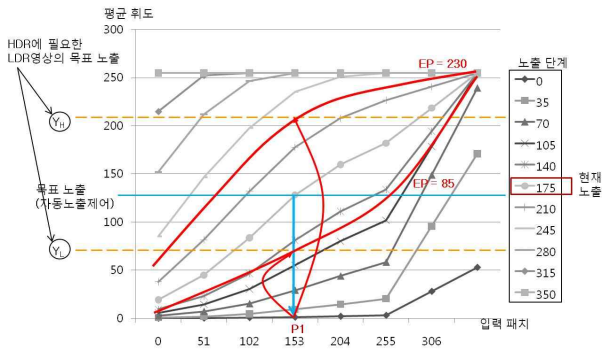


그림 5. LUT로부터 목표 노출 추정
Fig. 5. Estimation of target exposure from LUT.

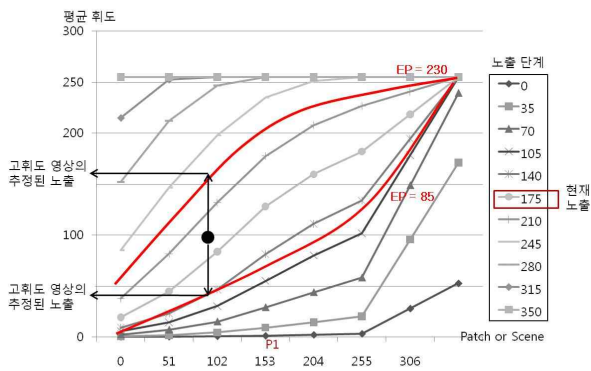


그림 6. 입력에 대한 고·저휘도 LDR 영상의 추정
Fig. 6. Estimation of high and low LDR images.

의 단계를 나타낸다. $EP()$ 는 사용자 지정의 평균 휘도 (Y_{tar_h} , Y_{tar_l})와 P_1 으로부터 새로운 노출을 획득하는 함수이다.

최종적인 LDR 영상을 위해 먼저 입력 영상의 각 픽셀을 회색 패치라고 가정함으로써 각 픽셀 값은 LUT의 평균으로 여겨지게 되고, 이를 각 LUT에 적용할 수 있다. 따라서 입력 영상의 임의의 픽셀 값을 그림 6의 검정색점이라고 가정을 한다면, 입력 픽셀 값에 대한 회색 패치 (P_2)를 추정하고, 앞서 추정된 각각의 노출들을 LUT에 적용하여 새로운 LDR 영상을 재현하며 아래 수식과 같이 나타난다.

$$Y_{out_h} = Func(LUT, EP_h, P_2) \quad (5)$$

$$Y_{out_l} = Func(LUT, EP_l, P_2) \quad (6)$$

여기서 Y_{ave_h} 와 Y_{ave_l} 는 현재 픽셀 값으로부터 추정되는 밝기 값을 나타낸다. 즉, 모든 픽셀에 대하여 수식 (5)와 (6)을 각 채널별로 적용함으로써 입력 영상으로부터 최



그림 7. 고휘도 LDR의 추정된 영상. (a) 원본 영상, (b) 획득된 영상, (c) 추정된 영상, (d) (b)와 (c)의 차 영상

Fig. 7. Estimated image for high luminance LDR image. (a) original image, (b) captured image, (c) estimated image, and (d) difference image between (b) and (c).

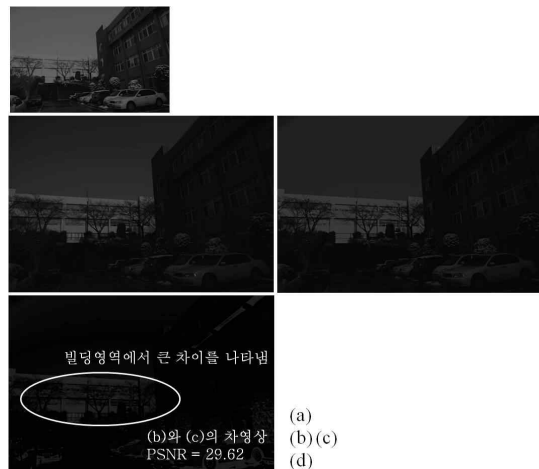


그림 8. 저휘도 LDR의 추정된 영상. (a) 원본 영상, (b) 획득된 영상, (c) 추정된 영상, (d) (b)와 (c)의 차 영상

Fig. 8. Estimated image for low luminance LDR image. (a) original image, (b) captured image, (c) estimated image, and (d) difference image between (b) and (c).

종 LDR 영상을 획득한다.

제안된 방법의 결과영상은 그림 7과 8에 나타난다. 그림 7은 고휘도 LDR 영상을 추정한 결과이고, 그림 8은 저휘도 LDR 영상을 추정한 결과를 나타내며, (a)는 원본 영상, (b)는 유사한 평균 휘도를 가지는 카메라로 획득한 영상, (c)는 제안된 방법에 의해 추정된 영상, (d)는 (b)와 (c)의 차이를 나타낸 영상이다. 결과 영상에서 고휘도

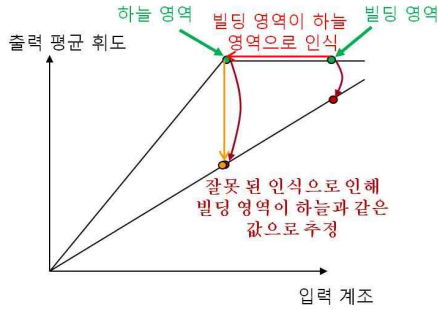


그림 9. 포화로 인한 현재 픽셀의 잘못된 인식
Fig. 9. Fault recognition due to saturation.

LDR영상의 추정은 실제 획득된 영상과 거의 차이가 없으나, 저휘도 LDR 영상의 추정에서는 포화된 영역 대하여 차영상 값이 크게 나타남을 확인할 수 있다. 이는 그림 9에서처럼 빌딩 영역임에도 불구하고, 포화로 인하여 하늘 영역으로 인식됨으로써 최종 LDR 영상은 하늘 영역의 값으로써 추정되기 때문이다.

4. 채널 상관성을 고려한 영상 추정 방법

앞서 나타난 현상은 입력 영상 자체에서 포화 값이 나타남으로 완벽하게 원본의 값을 찾을 수는 없는 경우이다. 이를 해결하기 위하여 서로 다른 채널의 감도를 응용한 방법을 제안하며 그림 10에 소개된다. 그림에서 동일한 노출에 대하여 녹색 선은 G 채널의 감도를 나타내고, 붉은 색 선은 R 채널의 감도를 나타낸다. 즉, 하늘의 경우 R 채널의 감도가 G 채널의 감도에 비하여 약한 것을 확인 할 수 있다. 따라서 최종 LDR 영상의 수정에서 현재 채널이 포화된 경우, 주변에 있는 포화되지 않는 채널로부터 현재 픽셀에 대한 입력 패치를 추정하고, 이를 현재 채널의 LUT에 적용함으로써 보다 정확하게 추정할 수 있게 된다.

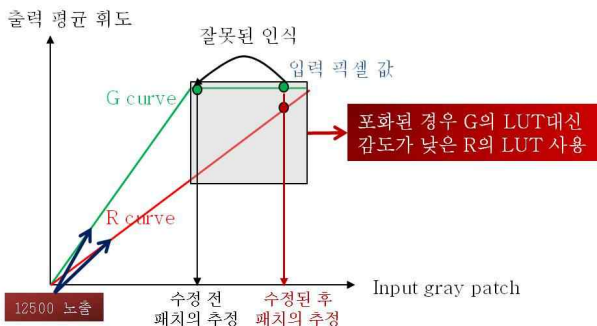


그림 10. 채널의 상관성을 고려한 포화된 픽셀의 보정
Fig. 10. Correction of saturated pixel by considering channel dependency.

III. 실험 결과

채널의 상관성을 고려한 실험 결과는 그림 11에 나타난다. 결과에서 PSNR이 5정도 향상된 것을 볼 수 있고, 인간 시각으로도 빌딩 영역에 대한 차이가 확연하게 줄어 든 것을 볼 수 있다. 그러나 RGB 채널 모두 포화된 영역의 경우 그 보상이 어려운 것을 알 수 있다. 또한 제안된 방법의 결과는 demosaicking과 화이트 밸런스(white balance), 톤 맵핑 과정을 거쳐 디스플레이 함으로써 칼라 영상으로 최종 비교하였다. 결과 영상은 그림 11과 그림 12에 나타나며, (a)는 카메라로 획득한 원본 영

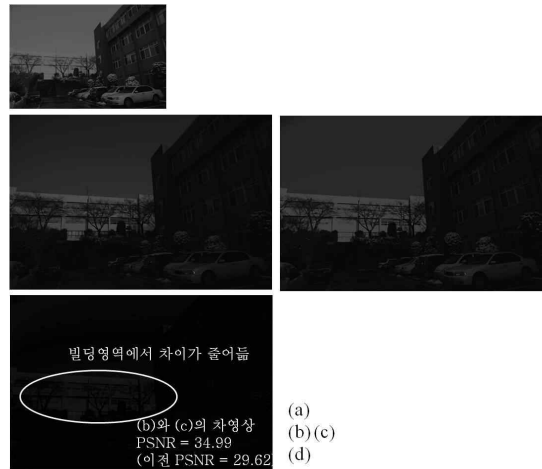


그림 11. 채널의 상관성을 고려한 영상 보정. (a) 원본 영상, (b) 획득된 영상, (c) 추정된 영상, (d) (b)와 (c)의 차 영상

Fig. 11. Correction by considering channel dependency. (a)original image, (b)captured image, (c)estimated image, and (d)difference image between (b) and (c).



그림 12. 결과 영상. (a) 원본 영상, (b) 카메라로 획득된 영상을 사용한 결과 영상, (c) 제안된 방법의 영상을 사용한 결과 영상

Fig. 12. Resulting images. (a) original image, (b) result image using camera, and (c) result image using proposed method.

상, (b)는 실제 획득된 영상을 사용하는 경우이고, (c)는 제안된 과정을 거쳐 생성된 3개의 영상을 사용한 결과를 나타낸다. 각 그림의 (c)의 영상에서, 빌딩 영상의 경우 하늘의 색이 더 잘 나타나는 것을 확인할 수 있다.

IV. 결 론

본 연구에서는 HDR 영상의 기반이 되는 LDR 영상을 획득하기 위한 방법을 제시하였다. 기존의 방법들에서 나타나는 추가적인 영상획득과 그에 따른 고스트 현상을 극복하기 위한 방법으로, 카메라가 가지는 입-출력 관계를 LUT로 생성하고, 이를 적용하여 사용자가 필요로 하는 밝기의 영상을 단일 입력 영상으로부터 추정할 수 있는 방법을 제안하였다. 이 때 포화되는 영역의 정확한 추정을 위하여 채널간의 간섭을 고려함으로써 더 정확한 추정을 할 수 있는 방법을 제시하였다.

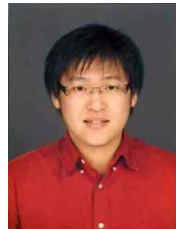
참 고 문 헌

- [1] M. Y. Lee, C. H. Son, J. M. Kim, C. H. Lee and Y. H. Ha, "Illumination-Level Adaptive Color Reproduction Method with Lightness Adaptation and Flare Compensation for Mobile Display," *Journal of Imaging Science and Technology*, Vol. 51, No. 1, pp. 44 - 52, Jan.-Feb., 2007.
- [2] B. Wandell, P. Catrysse, J. DiCarlo, D. Yang and A. E. Gamal, "Multiple Capture Single Image with a CMOS Sensor," *Chiba Conference on Multispectral Imaging*, pp. 11-17, 1999.
- [3] A. O. Akyü and E. Reinhard, "Color appearance in high-dynamic-range imaging," *Journal of Electronic Imaging*, Vol. 15, Issue 3, Jul. - Sep. 2006.
- [4] E. A. Khan, A. O. Akyuz and E. Reinhard, "Ghost Removal in High Dynamic Range Images," *IEEE International Conference on Image Processing*, Atlanta, USA, Oct. 2006.
- [5] K. Devlin, "A review of tone reproduction techniques," *Tech. Rep. CSTR-02-005, Department of Computer Science, University of Bristol*, Nov. 2002.
- [6] S. Mann and R. Picard, "Being 'Undigital' with Digital Cameras: Extending Dynamic Range by Combining Differently Exposed Pictures," *Proc. of IST's 48th Annual Conference*, pp. 422 - 428, May. 1995.
- [7] P. E. Debevec and J. Malik, "Recovering High

Dynamic Range Radiance Maps from Photographs," *Proc. of ACM SIGGRAPH*, pp. 369 - 378, 1997.

- [8] M. A. Robertson, S. Borman and R. L. Stevenson, "Estimation-theoretic approach to dynamic range enhancement using multiple exposures," *Journal of Electronic Imaging*, Vol. 12, Issue 2, pp. 219 - 228, Apr. 2003.
- [9] T. Mitsunaga and S. K. Nayar, "Radiometric Self Calibration," *Proc. of Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 374 - 380, Jun. 1999.
- [10] E. Reinhard, G. Ward, P. Debevec, and S. Pattanaik, "High Dynamic Range Imaging: Acquisition, Display, and Image Based Lighting," *Morgan Kaufmann*, San Francisco, CA, 2005.
- [11] S. Battiato, A. Castorina and M. Mancuso, "High dynamic range imaging for digital still camera: an overview," *Journal of Electronic Imaging*, Vol. 12, Issue 3, pp. 459 - 469, Jul. 2003.
- [12] H. Haneishi, S. Miyahara and A. Yoshida, "Image Acquisition Technique for High Dynamic Range Scenes Using a Multiband Camera," *Color research and application*, Vol. 31, Issue 4, pp. 294-302, Aug. 2006.

저 자 소 개



이 태 형(학생회원)
2005년 경북대학교 전자전기
공학부 (공학사)
2007년 경북대학교 대학원
전자전기컴퓨터학부
(공학석사)
2007년~현재 경북대학교 대학원
전자전기컴퓨터학부
박사과정 재학 중

<주관심분야 : Color management, Color Appearance Model, Image quality, Auto Exposure Control, HDR Imaging>

하 영 호(평생회원)
제 38권 SP편 제 3호 참조

하 호 건(학생회원)
대한전자공학회 논문지
제 47권 SP편 제 1호 참조