

논문 2013-08-06

# 감마 및 다중 포인터 니를 이용한 스마트폰 카메라의 광 다이내믹 영역 확장

(Illuminance Dynamic Range Expansion using Gamma & Multi-Point Knee for Smart Phone Camera)

최 덕 규, 한 찬 호\*

(Duk-Kyu Choi, Chan-Ho Han)

Abstract : The narrow dynamic range of most smart phone cameras is severely limited. It usually is narrower than the dynamic range of most scenes. So we proposes a illuminance dynamic range expansion using multi-point knee for smart phone camera. Such as logarithmic functions the proposed method compress the image sensor output signal. Additionally, the proposed method was merged into the gamma that is essential circuit for any cameras. To justifying multi-point knee effectiveness, we configure the control and quality evaluation system for smart phone camera module. Experimental results show that the lost information by cut off and saturated affectively reconstructed in darker and in brighter areas. Finally this methods have advantage to implement without any changing hardware for conventional smart phones.

Keywords : Dynamic range expansion, Multi-point knee, Gamma, ISP (image signal processors), Smart phone

## 1. 서론

현재, 휴대폰의 기능은 통화 위주의 기존 이동통신 개념을 뛰어넘어 실시간 TV 시청, 영화, 뮤직비디오를 포함한 각종 동영상 콘텐츠 감상 등의 멀티미디어 기능과 더불어 고해상도의 디지털 카메라의 기능으로 확대되어 가고 있다. 이러한 고해상도 디지털 카메라 기능의 휴대폰 탑재는 현재 휴대폰 시장의 절대적인 수요를 창출하고 있다. 특히 최근 스마트폰에서는 카메라의 화소 수, 색수차, 디자인, 저조도 노이즈, 센서 감도 등을 중심으로 많은 부분에서 발전, 개선을 이루었다. 그러나 디지털 영상 장치는 이미지 센서의 물리적 한계에 의해 해상도(resolution), 명암비(contrast) 및 다이내믹 영역(dynamic range)이 제약된다.

스마트폰용 카메라에서 광(光) 다이내믹 영역은 이미지 센서가 받아들일 수 있는 밝기의 범위를 나타내는 것으로, 획득된 영상의 화질에 있어 중요한 역할을 한다. 태양광에 의한 실 공간에서의 빛의 밝기는  $0\sim 108\text{cd/m}^2$  정도로 매우 넓게 분포하는 반면, 카메라에서 한 번의 노출로 받아들일 수 있는 밝기의 범위는  $102\sim 103\text{cd/m}^2$  정도로, 인간 시각이 받아들일 수 있는 밝기의 범위인  $105\text{cd/m}^2$ 에 지극히 부족한 실정이다.

실제 촬영의 경우, 스마트폰 카메라가 한 번의 노출로 받아들일 수 있는 하드웨어적 한계의 광 다이내믹 영역 밖의 정보는 그림 1과 같이 빛이 강한 영역 및 약한 영역에서 클리핑(white saturation and black cut off)이 발생하여 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].

따라서 스마트폰용 카메라의 제한된 광 다이내믹 영역을 확장하여 HDR(high dynamic range) 영

\* Corresponding Author (chhan@kangwon.ac.kr)

Received: 11 Nov. 2012, Revised: 06 Dec. 2012,

Accepted: 09 Jan. 2013.

D.K. Choi: Kyungwoon University

C.H. Han: Kangwon National University

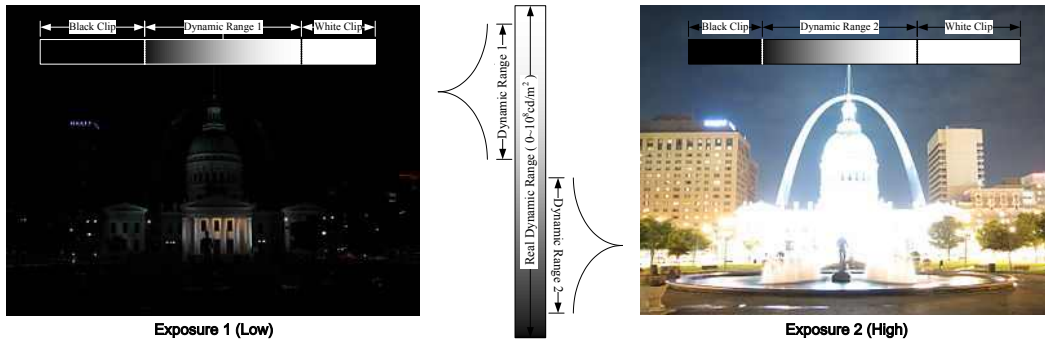


그림 1. 스마트폰 카메라 노출설정에 따른 영상  
Fig. 1 Image according to exposure setting of smart phone

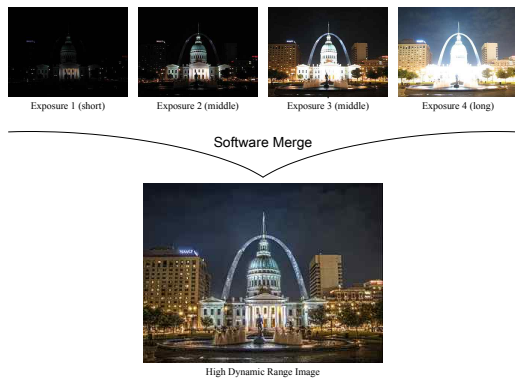


그림 2. LDR 영상들을 이용한 기존 HDR 영상 획득  
Fig. 2 Conventional HDR image acquisition using multiple LDR images

상획득이 가능한 카메라 기술의 개발이 요구되어 왔다. 최근 이러한 HDR기술이 탑재된 카메라가 출시되고 있으나 이는 그림 2와 같이 노출이 다른 여러 장의 LDR 영상을 합성하는 방법으로 Debevec, Malik, Mitsunaga, Nayar, Robertson 등이 제안하였다 [3-10].

상기 방법들은 노출이 다른 LDR영상을 여러 장 획득하고, 이 영상을 소프트웨어적으로 합성하여 HDR 영상을 획득한다. 이 때 노출은 두 단계로 10장 이상의 영상을 획득함으로써, 충분히 넓은 광 다이내믹 영역을 확보한다. 그러나 기존 방법들은 여러 차례에 걸쳐 LDR 영상을 획득하여야 하기 때문에 움직이는 물체가 있을 경우, 고스트 현상(ghosting effect)을 유발한다. 최근 이를 극복하기 위하여 영상의 개수를 줄이는 방법들이 제시되었으나 최소 3장 이상의 영상을 획득하여야 한다.

따라서 본 논문에서는 스마트폰 카메라 모듈에서 광 다이내믹 영역에 관계된 기능을 살펴본 다음, 스마트폰 카메라 내부에 존재하는 감마 보상회로의 기능에 다중 포인터 니 (knee) 기능을 추가하여 넓은 광 다이내믹 영역의 영상을 한 번의 노출로 획득할 수 있는 방법을 제안한다.

## II. 스마트폰 카메라에서의 영상 신호처리

스마트폰 카메라의 광 다이내믹 영역에 관련된 기능을 파악하기 위해서 스마트폰 카메라의 이미지 센서와 그 동작 및 출력을 제어하는 영상 신호처리(image signal processing, ISP)에 대한 충분한 이해가 필요하다.

### 1. CMOS 이미지 센서

스마트폰 카메라의 광 다이내믹 영역 설정에 주된 영향을 미치는 소자는 CMOS 이미지 센서이다. 최근 스마트폰 카메라의 소형화 및 화소 수의 증가 그 감도(sensitivity)가 떨어져 저조도 노이즈를 증가시키는 단점을 유발했으나, 미세한 광 다이내믹 영역의 확장을 가져오는 효과를 초래했다. 스마트폰 카메라의 광 다이내믹 영역 이미지 센서의 광전 변환 특성으로 결정된다.

스마트폰 카메라의 광전 변환 특성은 화상의 명암 또는 농담 등의 정보가 CMOS 이미지 센서를 통해 전기적 신호로 변환되는 특성이다. 이는 조리개 개방(iris F number), 노출 시간 (exposure time) 및 증폭기 이득 (ISO, Amp. Gain)의 함수이며, 이 중에서 증폭기 이득은 저조도에서 사용되므

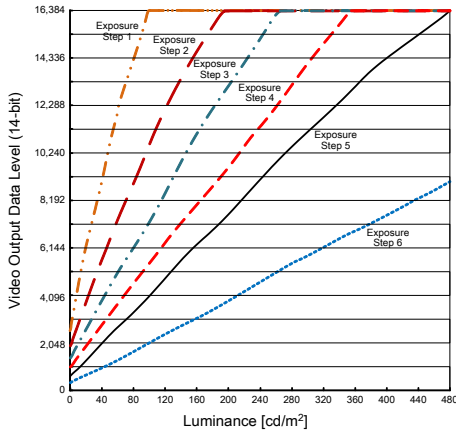


그림 3. 이미지 센서의 노출에 따른 출력 값  
Fig. 3 Video output level from image sensor

로 오히려 이미지 센서의 광 다이내믹 영역을 축소시키는 효과가 있다. 또한 증폭기 이득의 증가는 신호대 잡음비(Signal-to-Noise Ratio, SNR)를 나쁘게 하는 원인을 제공한다.

한편, 일반 카메라와 달리 스마트폰 카메라에는 조리개가 고정되어 있다. 따라서 노출 시간 (shut speed) 조절을 통하여 이미지 센서에 도달하는 누적 광량을 조정한다. 이는 영상 신호처리 (image signal processing, ISP)에 의해 제어되며, 노출 시간동안 축적된 광량은 이미지 센서에 의해 전기적 신호로 변환되어 그림 3과 같이 출력된다. 출력된 전기적 신호는 영상신호를 의미하며, A/D 변환기에 의해 14-bit의 화소 값으로 변환 된다. Red, Green 및 Blue 픽셀의 특성이 노출 시간의 변화에 의한 입력에 대해서 출력 전압 값이 거의 선형 값을 가진다.

## 2. 스마트폰 카메라에서의 영상 신호처리

스마트폰에 탑재된 CMOS 이미지 센서로부터 영상 신호처리 (image signal processing) 블록도는 그림 4와 같다. CMOS 픽셀 어레이 (pixel array)에서 출력되는 14-bit 베이어 (bayer) 신호를 이용하여 여러 가지 영상 신호 처리를 거치게 되어 있다. 영상 신호 처리에서는 감마 보정 (gamma correction), 화소 보간 (pixel interpolation), 화소 보정 (pixel correction), 컬러 보정 (color correction), 자동 노출 (auto exposure) 및 자동 백색 조정 (auto white

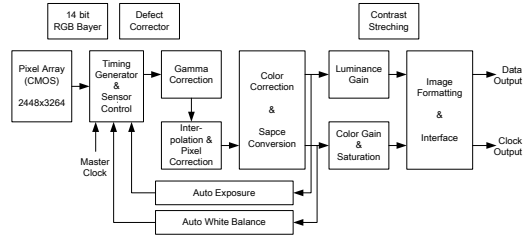


그림 4. 스마트폰 카메라 모듈 블록도  
Fig. 4 Block diagram of smart phone camera module

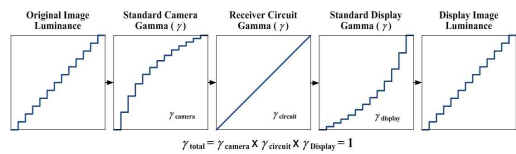


그림 5. 카메라에서 디스플레이까지 감마 보정 흐름  
Fig. 5 Gamma correction flow from camera to display

balance) 등으로 이루어진다.

## III. 감마보정 겸용 다중 포인터 니

스마트폰 카메라의 광 다이내믹 영역은 이미지 센서와 노출시간제어에 의해 결정되므로 더 이상 개선의 여지가 없는 것으로 보인다. 그러나 디스플레이 특성을 보정하기 위한 감마보정회로가 높은 광량의 신호를 압축하는 경향이 있다는 것을 참고하면 니(knee) 포인트를 삽입하여 보다 넓은 범위의 광량을 신호로 변환할 수 있다.

### 1. 감마보정

디스플레이 표준인 CRT에서, 비디오 입력 전압에 대한 전자 빔 전류의 관계는 비선형적이며, 이를 디스플레이 감마( $\gamma$ )라 부른다. 따라서 스마트폰 카메라를 비롯한 모든 카메라는 비선형 회로를 이용하여  $1/\gamma$  전달특성을 가지는 비디오 신호의 진폭을 보정해야 한다. 다음 그림 5에 카메라와 시스템 및 디스플레이 장치에서의 감마 보정 과정을 나타내었다.

먼저 이미지 센서에 의해 얻어지는 영상신호는 노출에 따라 다소 변화가 있지만 전체적으로는 밝기에 비례하는 신호가 획득된다. 그러나 스마트폰 디스플레이가 가지는 감마 특성으로 인하여 영상은

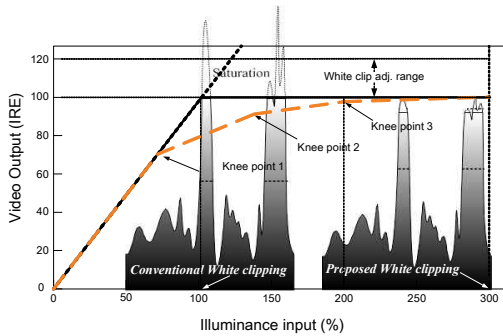


그림 6. 다중 포인터 니를 사용한 광 다이내믹 확장  
Fig. 6 Proposed dynamic range expansion using multi-point knee

왜곡되어 표현될 수 있다. 따라서 영상 획득 장치인 카메라에서 얻어진 신호가 디스플레이 장치에서 동일하게 재현 될 수 있도록 카메라 시스템의 감마 ( $\gamma_{camera}$ ) 보정회로를 디스플레이 시스템의 표준 감마값에 적합하도록 조정하여야 한다. 디스플레이 시스템의 표준 감마( $\gamma_{display}$ )값으로는 NTSC 2.2, PAL 및 EBU 2.8, SMPTE 및 ITU-Rec.709 2.222, sRGB 2.4를 사용하고 있다.

## 2. 다중 포인터 니를 이용한 광 다이내믹 확장

야의 피사계 명암대비는 1000:1 이상이 되나, TV와 같은 스마트폰 카메라의 명암대비는 40:1 정도이다. 이와 같이 밝은 상황을 선형 특성을 가진 이미지 센서의 스마트폰 카메라로 촬영을 하게 되면 그림 5에서와 같이 밝은 화이트 부근에서의 포화 (saturation)로 인해서 영상의 손상이 발생한다.

따라서 본 논문에서는 스마트폰 카메라에서 밝은 부분의 신호를 압축하는 다중 포인터 니(knee)를 사용하여 광 다이내믹 영역을 300%까지 확장하는 방법을 다음 그림 6에서와 같이 제안한다.

첫 번째 변곡점 (knee point 1)을 설정을 위한 최대기울기  $S_1$ 은 다음과 같이 구한다.

$$S_1 = \frac{\text{Gradient of AutoExposure Time}}{\text{Gradient of DefaultExposure Time}} \quad (1)$$

최대기울기  $S_1$ 을 사용하여 70%의 밝기에서 첫 번째 변곡점  $P_1$ 은

$$P_1 = \frac{V_{\max} \times 70\%}{S_1} \quad (2)$$

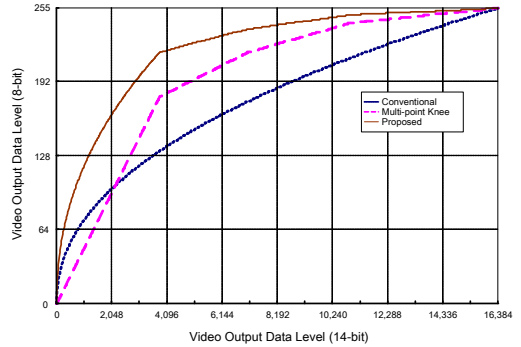


그림 7. 감마보정 겸용 다중포인터 니 특성곡선  
Fig. 7 Proposed multi-point knee curve

으로 구해지며, 두 번째 변곡점 ( $P_2$ , knee point 2)은 90%의 밝기에서 선정하고, 95%의 세 번째 변곡점 ( $P_3$ , knee point 3)으로 설정하기 위한  $S_2$  및  $S_3$ 는

$$S_2 = \frac{(V_{\max} \times 90\%) - S_1 P_1}{P_2 - P_1} \quad (3)$$

$$S_3 = \frac{(V_{\max} \times 95\%) - S_2 (P_2 - P_1) - S_1 P_1}{P_3 - P_2} \quad (4)$$

으로 구해진다. 상기 식 (1)~(4)는 카메라의 최초 노출에 따른  $S_1$ 에 의해  $P_1, P_2, P_3$  및  $S_2, S_3$ 가 결정됨으로 촬영환경에 따른 적응성을 가진다. 즉 각각의 변곡점을 피사체의 밝기에 따라 자동 변동시키는 방식 (dynamic contrast control, DCC, or dynamic knee)이다.

## 3. 감마 및 다중 포인터 니 기능 통합

제안된 방법을 구현하기 위해서 별도의 회로를 추가하는 것은 스마트폰 카메라 모듈의 가격상승을 초래하기 때문에, 모든 카메라에 필수적으로 포함되는 감마회로에 통합하는 방법을 제안한다. 이는 기존 감마 기능을 수정하지 않고 Firmware만 Upgrade 함으로써 광 다이내믹 영역확장을 가능하게 한다. 그림 7은 기존 스마트폰 카메라 감마보정 회로와 제안된 다중포인터 니(knee) 기능이 통합된 회로의 입출력 특성을 나타내었다.

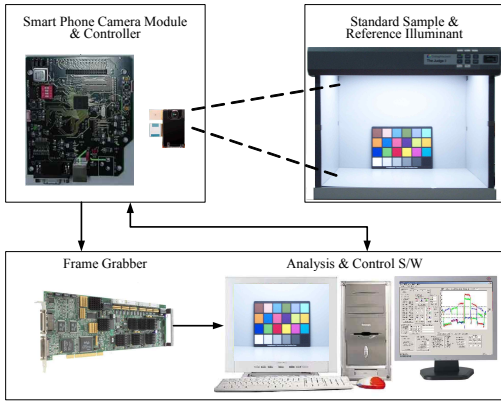


그림 8. 스마트폰 카메라 영상 성능분석 테스트 베드  
Fig. 8 Smart phone camera test bed for image quality performance analyze

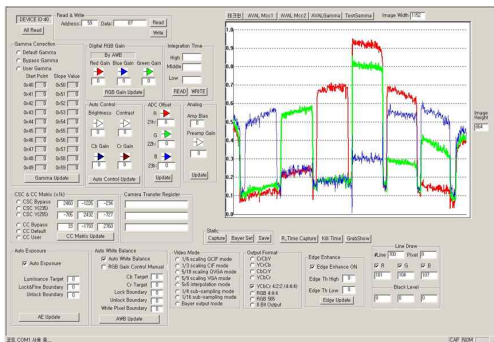


그림 9. 스마트폰 카메라 모듈 제어 소프트웨어  
Fig. 9 Smart phone camera control software

### IV. 실험 결과

#### 1. 스마트폰 카메라 성능 분석 시스템

스마트폰에 탑재된 카메라 모듈의 성능 분석을 위하여 다음 그림 8과 같이 테스트 베드를 구성하였다.

본 연구를 통해 개발된 그림 9와 같은 카메라 모듈 제어 소프트웨어를 사용하여 USB를 통해 CMOS 이미지 센서의 레지스터 (register)를 조정한다. 레지스터 제어를 통해 실시간으로 조정된 영상은 Frame Grabber를 통해 획득하고, 표준모니터를 사용하여 실시간으로 관측된다. 이러한 테스트 베드를 통해 스마트폰 카메라 모듈의 CMOS 이미지 센서의 전달 특성을 분석한 다음, 제안된 감마 보정 겸용 다중포인터 니 특성을 적용하여 성능을

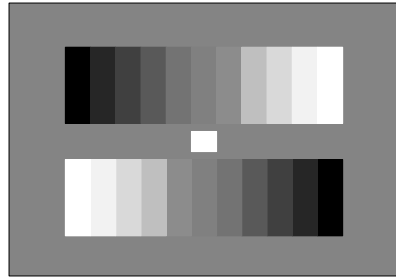
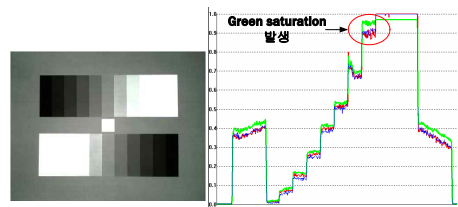
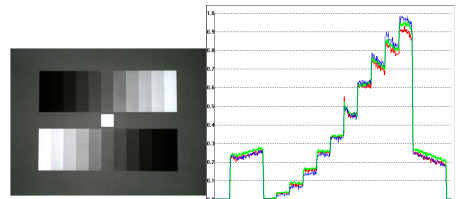


그림 10. ACCU 그레이 차트  
Fig. 10 ACCU gray scale chart



(a) 보정 전  
(a) Before compensation



(b) 보정 후  
(b) After compensation

그림 11. 제안된 다중 니 보정 전후의 영상 비교  
Fig. 11 Image comparison for proposed knee compensation before and after

검증한다. 이때 표준광원과 표준색 샘플을 사용함으로써 그 결과를 예측할 수 있도록 한다.

#### 2. 광 다이내믹 영역확장 테스트 결과

제안된 감마보정 겸용 다중포인터 니(knee)를 사용한 카메라 광 다이내믹 영역 확장 방법을 검증하기 위하여 그림 10과 같은 ACCU 그레이 스케일 차트를 사용하고 광량을 변화시키면서 그 결과를 관측하였다.

그림 11(a)의 자동 노출에 의해 획득된 영상은 과도한 노출 시간으로 인해 대부분의 밝은 영역이 포화 되어 있음을 알 수 있다. 이처럼 포화에 의한



(a) 보정전 ( $\gamma=2.2$ )  
(a) Before compensation



(b) 보정전 ( $\gamma=2.8$ )  
(b) Before compensation



(c) 보정후 ( $\gamma=2.2$ )  
(c) After compensation



(d) 보정후 ( $\gamma=2.8$ )  
(d) After compensation

그림 12. 실제영상에서의 보정 전후의 영상 비교

Fig. 12. Real image comparison for proposed knee compensation before and after

손실이 발생한 그레이 패턴에 제안된 다중 디지털 knee 조절을 수행하였을 때, 그림 11(b)에서와 같이 포화되었던 밝은 영역의 포화 정도가 줄어들었음을 볼 수 있다.

다양한 감마값에 대한 제안 방법의 검증을 위하여,  $\gamma = 2.2$  및  $2.8$ 을 사용한 기존방식의 스마트폰과 제안 방식을 적용한 스마트폰 카메라로 실제영상을 촬영한 결과를 다음 그림 12에 나타내었다.

그림 12(a) 및 그림 12(b)의 좌측하단에 나타낸 그레이 차트, 좌측 중간 글씨의 배경부분 및 우측상단의 맥베스 컬러차트에서 카메라의 좁은 광 다이내믹 영역으로 인하여 포화되어 있다. 자세히 살펴보면, 11단계의 그레이 차트는 블랙에서 6단계까지 확인할 수 있으며, 맥베스 차트의 6단계 그레이 레벨은 4단계까지만 확인되고 그보다 높은 레벨은 좁은 광 다이내믹 영역으로 인하여 포화되어 구별할 수 없다. 심지어 좌측 중앙의 글씨는 포화와 더불어 플레어까지 발생하여 글씨를 분간하기 어려운

결과를 초래하였다. 그러나 그림 12(c) 및 그림 12(d)에 보인 제안방법을 적용한 스마트폰의 영상에서는 광 다이내믹 영역의 확장으로 인하여 기존 카메라에서 포화된 부분까지 계조를 잘 표현하고 있다. 또한 좌측 중앙의 글씨 또한 플레어가 제거되고 읽을 수 있는 정도로 계조표현이 가능하게 되었다. 또한  $\gamma = 2.8$ 의 경우,  $\gamma = 2.2$ 보다 블랙 떠오름 현상이 관측되었으나 제안방식은 두 감마값에 대하여 광 다이내믹 확장이 가능함을 보여준다.

그림 11의 실험 영상과 그림 12의 실제 영상에서 보인 결과와 같이, 제안된 감마 겸용 다중 디지털 ni 방법은 기존 스마트폰 카메라의 좁은 광 다이내믹 영역을 효과적으로 넓힐 수 있음을 확인하였다.

## V. 결 론

스마트폰용 카메라의 하드웨어적 한계로 인하여

의 한 번의 노출로 받아들일 수 있는 밝기의 범위는  $10^2 \sim 10^9 \text{cd/m}^2$  정도로, 인간 시각이 받아들일 수 있는 밝기의 범위인  $10^5 \text{cd/m}^2$ 에 지극히 부족한 실정이다. 이러한 하드웨어적 한계는 렌즈의 광학적 한계 및 이미지 센서의 좁은 광(光) 다이내믹 영역으로 인하여 비롯된 것이다.

본 논문에서는 상기 문제를 개선하기 위하여 기존 카메라의 감마 회로에 다중 포인트 니를 적용함으로써 광 나이나믹 영역을 확장할 수 있는 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 3개의 니 포인트를 추가함으로써, 이론적으로 기존 카메라의 좁은 광 다이내믹 영역을 설정에 따라 300%까지 확장할 수 있다. 제안방법을 검증하기 위하여 스마트폰 카메라 모듈의 성능 분석 시스템을 구현하였으며, 이를 통하여 3개의 니 포인트에 대한 정확한 변곡점 위치를 도출하였다. 제안 방법이 적용된 카메라를 사용한 실험 영상과 실제영상에서 제안방법은 광 다이내믹 영역의 확장에 효과적임을 확인하였다.

추가적으로 감마회로는 모든 카메라에 필수적으로 포함되는 회로이다. 따라서 제안된 방법은 기존 스마트폰 및 카메라 모듈의 하드웨어를 변경하지 않고도 구현될 수 있는 장점이 있다.

### 참고문헌

- [1] B. Wandell, P. Catrysse, J. DiCarlo, D. Yang, A.E. Gamal, "Multiple Capture Single Image with a CMOS Sensor," Proceedings on the International Symposium of Multispectral Imaging and Color Reproduction for Digital Archives, pp.11-17, 1999.
- [2] M.Y. Lee, C.H. Son, J.M. Kim, C.H. Lee, 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, 2007.
- [3] H. Haneishi, S. Miyahara, A. Yoshida, "Image Acquisition Technique for High Dynamic Range Scenes Using a Multiband Camera," Color research and application, Vol. 31, No. 4, pp.294-302, 2006.
- [4] S. Mann, R. Picard, "Being 'Undigital' with Digital Cameras: Extending Dynamic Range by Combining Differently Exposed Pictures," Proceedings on International Conference of IST, pp.422-428, 1995.
- [5] P.E. Debevec, J. Malik, "Recovering High Dynamic Range Radiance Maps from Photographs," Proceedings on International Conference of Computer graphics and interactive techniques, pp.369-378, 1997.
- [6] M.A. Robertson, S. Borman, R.L. Stevenson, "Estimation-theoretic approach to dynamic range enhancement using multiple exposures," Journal of Electronic Imaging, Vol. 12, No. 2, pp.219 - 228, 2003.
- [7] T. Mitsunaga, S.K. Nayar, "Radiometric Self Calibration," Proceedings on International Conference of Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 374 - 380, 1999.
- [8] S. Battiato, A. Castorina, M. Mancuso, "High dynamic range imaging for digital still camera: an overview," Journal of Electronic Imaging, Vol. 12, No. 3, pp.459 - 469, 2003.
- [9] E. Reinhard, G. Ward, P. Debevec, S. Pattanaik, *High Dynamic Range Imaging: Acquisition, Display, and Image Based Lighting*, Morgan Kaufmann, San Francisco, CA, 2005.
- [10] [http://en.wikipedia.org/wiki/Hdr\\_images](http://en.wikipedia.org/wiki/Hdr_images)

저 자 소 개
---------

**최 덕 유**

1990년 경북대학교 전자  
공학과 학사.

1993년 경북대학교 전자  
공학과 석사.

1997년 경북대학교 전자  
공학과 박사.

현재, 경운대학교 항공전자공학과 교수.

관심분야 : Embedded system, Digital  
video technology, Mobile Telecommuni-  
cation.

Email: dkchoi@ikw.ac.kr

**한 찬 호**

1990년 경북대학교 전자  
공학과 학사.

1992년 경북대학교 전자  
공학과 석사.

2002년 경북대학교 전자  
공학과 박사.

현재, 강원대학교 방송영상학과 교수.

관심분야: Embedded system, Digital  
video technology, Digital Television  
Broadcasting.

Email: chhan@kangwon.ac.kr