

디지털 카메라에서 신호대 잡음비(SNR)를 높이기 위한 적응형 과다 노출 방법

이원재⁰, 김학영
한국전자통신연구원
{russell⁰, h0kim}@etri.re.kr

Adaptive Over-Exposure Method for Improving Signal-to-Noise Ratio on Digital Cameras

Wonjae Lee⁰, Hak-Young Kim
Electronics and Telecommunications Research Institute (ETRI)

요 약

디지털 카메라 이미지의 화질을 저하시키는 주요 요인 중 하나는 노이즈이다. 디지털 카메라에 사용되는 CCD/CMOS 센서의 특성상, 노출이 증가할수록 신호대 잡음비(SNR)가 증가한다. 따라서 디지털 카메라에서 SNR이 높은 이미지를 얻기 위해서는 되도록 많은 노출을 주어야 한다. 하지만 너무 과다한 노출을 주게 되면 highlight clipping이 일어나기 때문에, RGB 모든 채널에서 clipping이 일어나지 않는 범위 안에서 노출을 주어야 한다. 그리고 CCD/CMOS RAW 데이터에 대해 카메라의 이미지 프로세싱 과정에서 디지털 노출 보정을 해주면 사람이 보기에 적절한 노출을 가지면서도 SNR이 높은 고화질의 이미지를 얻을 수 있다.

1. 서 론

디지털 카메라 이미지의 화질을 저하시키는 주요 요인은 노이즈이다. 디지털 카메라에 사용되는 CCD/CMOS 센서의 특성상 노출(exposure)이 증가할수록 신호대 잡음비(Signal-to-Noise Ratio, SNR)가 증가한다[1]. 따라서 디지털 카메라에서 SNR이 높은 이미지를 얻기 위해서는 되도록 많은 노출을 주어야 한다. 하지만 너무 과다한 노출을 주어 highlight clipping이 일어나면 영부가 제대로 표현되지 않는다. 또한 RGB 중 특정 채널에서 clipping이 일어나면 색상재현이 적절치 못하게 된다. 따라서 RGB 모든 채널에서 clipping이 일어나지 않는 범위 안에서 충분한 노출을 주어야 한다.

위와 같은 방법으로 노출된 이미지는 SNR은 높지만 사람이 보기에는 노출 과다일 수 있다. 장면을 분석하여 적정 노출 값을 구하는 자동 노출 방법은 필름 카메라 시대부터 발전되어 왔다. 따라서 적정 노출 값에 따라, 카메라의 이미지 프로세싱 과정에서 디지털 노출 보정을 해주면 사람이 보기에 적절한 노출을 가지면서도 SNR이 높은 이미지를 얻을 수 있다.

본 논문에서는 디지털 카메라에서 highlight clipping과 잘못된 색상재현을 피하면서, SNR이 높고 적정 노출을 가진 이미지를 생성하는 방법에 대해 소개한다. 이 방법은 디지털

비디오 카메라에 대해서도 적용될 수 있지만, 본 논문에서는 주로 디지털 스틸 카메라에 대한 적용을 다룬다.

2. CCD/CMOS 센서의 노이즈 및 SNR 특성

CCD 센서의 주요 노이즈 원인으로는 photon noise, dark noise, read noise가 있다[1,2]. 여기서 photon noise는 신호 크기와 다음과 같은 관계를 가진다. 신호 크기가 특정 값을 넘어서면 SNR은 주로 photon noise에 의해 제한된다[1,10].

$$photon_noise = \sqrt{signal}$$

Dark noise는 CCD에서 열로 인해 생성된 전자들이 원인인 노이즈이다. Read noise는 시스템 상의 전자적인 노이즈들을 말하는데, 전증폭기(pre-amplifier)가 주요 원인이다. 이러한 원인들을 고려했을 때, CCD 센서 각 픽셀의 SNR은 다음과 같이 계산될 수 있다[1].

$$SNR = \frac{PQ_e t}{\sqrt{(P+B)Q_e t + Dt + N_r^2}}$$

P는 CCD의 photon flux incident (photons/pixel/second), B는 CCD의 background photon flux incident, Q_e 는 CCD의 양

자효율(quantum efficiency), t 는 integration time (seconds), D 는 dark current (electrons/pixel/second), N_r 은 read noise (electrons rms/pixel) 이다.

조리개를 개방하여 P 를 증가시키거나 노출 시간을 길게 하여 t 를 증가시키면 각 픽셀의 SNR이 증가한다. 이로 인해 얻어지는 화질 향상은 특히 암부에서 두드러진다. CMOS 센서도 CCD센서와 유사하게 노출이 증가할수록 SNR이 증가한다[10].

3. Highlight clipping

충분한 노출을 줄수록 SNR이 높고 풍부한 계조를 가진 이미지를 얻을 수 있다는 것은 널리 알려져 있다[3]. 하지만 이러한 테크닉을 사용할 때는 과도한 노출로 인한 highlight clipping을 막아야 한다. Highlight clipping이 일어날 경우 영부의 계조가 완전히 사라지게 된다.

또한 카메라에서 제공하는 luminosity histogram을 확인하여 highlight clipping을 막는 것 만으로는 충분하지 않다. GRGB Bayer 패턴 센서의 R, G, B 어느 한 채널에서 clipping이 일어날 경우 피사체의 색상이 적절히 재현되지 못한다[4].

현재 시판중인 대부분의 디지털 카메라들은 luminosity histogram만을 제공한다. Luminosity는 다음과 같이 계산된다.

$$luminosity = 0.3 \times R + 0.59 \times G + 0.11 \times B$$

luminosity는 주로 Green에 의해 좌우되기 때문에 luminosity histogram만으로 highlight clipping여부를 판단하면 Red, Blue 채널이 clipping되기 쉽다.

RGB 각 채널의 histogram을 보여주는 카메라는 소수에 불과하다. 설사, 카메라에서 RGB 각 채널의 histogram을 보여준다 하더라도 카메라 LCD의 해상도 제약 때문에 highlight clipping 여부를 제대로 알기가 어렵다[5].

그리고 clipping이 일어나지 않도록 주의하면서 최대한 노출을 주기 위해, histogram을 확인하며 노출 보정을 하거나 브래킷팅(bracketing)을 수행하는 것은 매우 번거로운 일이다.

따라서 최선의 방법은 카메라가 측광 시스템을 이용하여 모든 채널에 대한 highlight clipping을 피하는 범위 안에서 자동적으로 최대한의 노출을 주는 것이다.

4. 디지털 카메라의 측광 시스템

현재 시판 중인 디지털 카메라는 크게 두 종류로 나누어 볼 수 있다. 2/3" 이하 크기의 센서를 사용하는 컨슈머 디지털 카메라들, 그리고 APS 필름과 비슷하거나 큰 사이즈의 센서를

사용하는 Digital Single Lens Reflex (DSLR)가 있다.

컨슈머 디지털 카메라들의 경우 대부분 Imaging CCD/CMOS를 측광(metering) 센서로도 활용한다[6]. 몇몇 기종들은 live histogram 기능을 제공하기도 한다. Imaging CCD/CMOS 같은 경우 RGB 측광이 가능하므로 RGB 모든 채널에 대해 clipping이 일어나지 않는 노출 값을 측정하는 것이 가능하다.

DSLR의 경우 Imaging CCD/CMOS를 측광 센서로 사용하지 않고, 측광만을 위한 별도의 센서를 가지고 있다. 이 측광 센서는 카메라 모델마다 그 특성이 다르다. RGB 측광이 가능한 측광 센서의 경우 RGB 모든 채널에 대해 clipping이 일어나지 않는 노출 값을 구하는 것이 가능하다. 하지만 빛의 밝기만 측광하는 센서의 경우, 측광만으로 RGB 모든 채널에 대해 clipping이 일어나지 않는 노출 값을 구하는 것은 힘들다. 따라서 RGB 측광이 불가능한 카메라에서는, 특정 채널에서 clipping이 일어났을 경우 카메라에서 자동적으로 노출 보정을 하여 다시 찍는 방법밖에 없다.

5. 촬영 장면의 dynamic range와 센서의 dynamic range

촬영 장면의 dynamic range가 Imaging CCD/CMOS의 dynamic range보다 넓을 때, 앞에서 제시하는 방법대로 highlight clipping을 피하면 너무 많은 shadow clipping이 일어나거나 주 피사체가 노출 부족이 될 수 있다.

따라서 측광 시스템을 이용해서 촬영하고자 하는 장면의 dynamic range를 측정 한 후, Imaging 센서의 dynamic range보다 작은 지 여부를 확인해야 한다. 장면의 dynamic range가 Imaging 센서의 dynamic range보다 넓다면 본 논문의 방법을 사용하지 말고, 기존의 자동 노출 시스템을 사용해야 한다.

또는, 기존 자동 노출 시스템의 노출 값과 본 논문의 방법으로 얻어진 노출 값을 비교해서 둘 중 노출 값이 큰 것을 선택하면, 촬영 장면의 dynamic range를 측정하지 않고도 위와 동일한 효과를 얻을 수 있다.

6. 이미지 프로세싱 과정에서의 디지털 노출 보정

많은 수의 디지털 카메라들은 matrix (multi-zone) 측광 모드를 가지고 있다. 이는 장면을 여러 구역으로 나누어서 빛의 세기를 측정하고, 이와 초점 거리 정보 등을 카메라에 저장된 데이터베이스와 비교해서 적절한 노출 값을 도출해 낸다[6]. 이는 오랜 기간 동안 축적된 데이터베이스를 사용하여, 대부분의 경우 사람이 보기에 적절한 노출 값을 도출해 낸다.

본 논문에서 제안하는 방법은 장면의 특징과 상관없이 highlight clipping이 일어나지 않는 범위 안에서 최대한 노

출을 주는 것이므로, 많은 경우 matrix 측광에서 제시하는 노출 값과 비교하면 노출 과다에 해당할 것이다. 따라서 JPEG, TIFF 로 저장하기 전에, matrix 측광의 적정 노출 값과 비교하여 과다 노출된 만큼 디지털 노출 보정을 시켜주어야 한다. 이는 AD converter 에서 얻어진 CCD/CMOS RAW 데이터에 대해 이미지 프로세싱 과정에서 노출 보정을 해야 함을 의미한다.

이와 같은 디지털 노출 보정은 이미지 프로세싱 과정[7]에서 dark correction 과 센서가 비선형적으로 반응하는 부분[8]에 대한 선형화[9] 직후에 이루어 져야 한다. 만약 white balance 보정이나 gamma correction 등 후에 노출 보정을 한다면 화질 열화가 일어날 수 있다.

만약 matrix 측광 노출 값보다 n stop 만큼 과다 노출이 되었다면, linear RAW 데이터의 모든 값을 2^n 으로 나누어 줌으로써 디지털 노출 보정을 할 수 있다.

CCD/CMOS RAW 데이터를 RAW 파일로 저장할 때는, 사용자의 편의를 위해 matrix 측광 노출 값을 메타 데이터로 저장하여 RAW 컨버터에서 참고할 수 있도록 하는 것이 좋을 것이다.

7. 과다 노출로 인한 심도, 셔터 스피드의 변화

노출을 많이 주기 위해서는 조리개를 개방하거나 셔터 스피드를 느리게 해야 한다. 조리개를 개방하면 심도가 낮아진다. 느린 셔터 스피드는 모션블러(motion blur)나 카메라 흔들림에 의한 블러가 생길 가능성을 높인다.

이와 같이 과다 노출은 경우에 따라서는 부적절할 수 있기 때문에 상황에 따라선 과다 노출 기능을 적용하지 않아야 할 것이다. 그리고 사용자에게 과다 노출 비활성화 옵션을 제공해야 할 것이다.

8. Spot 측광, 노출 보정, 자동 노출 브래케팅

Spot 측광은 전체 장면의 작은 부분만을 측광하여 그 부분이 적정 노출(18% gray)이 되도록 한다. Spot 측광의 노출 값이 본 논문의 노출 방법으로 얻은 노출 값보다 작은 경우, 과다 노출을 한 후 spot 측광 노출 값에 맞게 디지털 노출 보정을 하면, 사용자가 의도하는 노출을 가지면서 SNR 이 높은 이미지를 얻을 수 있다. 하지만, spot 측광 결과 일부에서 highlight clipping 이 일어날 경우, 사용자의 의도를 반영하여 본 논문의 방법은 사용하지 않는 게 바람직하다.

사용자의 노출 보정 및 자동 노출 브래케팅에 대해서도 위와 같이 노출 부족인 상황에서선 선택적으로 본 논문의 과다 노출 방법을 적용할 수 있을 것이다.

9. 결론

본 논문에서는 RGB 모든 채널에 대해 highlight clipping 이 일어나지 않는 범위 안에서 최대한의 노출을 증으로써, 이미지의 SNR 을 최대화하는 방법을 소개하였다. 이 방법은 촬영 장면의 dynamic range 가 센서의 dynamic range 보다 작을 때 적용될 수 있다. 이렇게 얻어진 CCD/CMOS RAW 데이터는 이미지 프로세싱 과정에서 디지털 노출 보정 과정을 거쳐야 한다.

본 논문에서 제시한 방법을 사용하면 SNR 이 좋지 않은 컨슈머 디지털 카메라에서 보다 깨끗한 영상을 것이 가능해질 것이다. 또한 SNR 이 비교적 좋은 디지털 카메라의 경우도 base ISO 보다 낮은 ISO 에서 촬영하는 효과를 얻을 수 있고, high ISO 에서 SNR 을 높이는 데 도움을 줄 수 있다.

참고문헌

- [1] Roper Scientific, "Low Noise: An Integral Part of High-Performance CCD (HCCD) Camera Systems", 1999
- [2] KODAK, "CCD Image Sensor Noise Sources. Application Note MPT/PS-0233 , 2001
- [3] Michael Reichmann, "Expose (to the) Right", <http://www.luminous-landscape.com/tutorials/expose-right.shtml>
- [4] Glenn E. Mitchell II, "Restore Those Clipped Channels," <http://www.luminous-landscape.com/tutorials/restore-clipped.shtml>
- [5] Uwe Steinmueller, "Canon EOS 1D Mark II Experience Report", http://www.outbackphoto.com/reviews/equipment/Canon_1d_mkII/canon_1d_mkII.html
- [6] Sampat, N., Venkataraman, S., Yeh, T., Kremens, R.L., "System implications of implementing auto-exposure on consumer digital cameras," Proc. SPIE Vol. 3650, p. 100-107, 1999
- [7] Gloria Putnam et al, "Photography with an 11 Mpixel, 35 mm CCD," Proc. SPIE vol. 5017, 2003
- [8] G. Meynants et al, "A 35mm 13.89 Million Pixel CMOS Active Pixel Image Sensor", IEEE Workshop on CCD & AIS, Elmau, 15-17 May 2003
- [9] I. Dinstein, F. Merkle, T. D. Lam, and K. Y. Wong, "Imaging system response linearization and shading correction," Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pages 204-209, Mar. 1984.
- [10] Hewlett-Packard Components Group Imaging Products Operations, "Noise Sources in CMOS Image Sensors," 1998