

두 장의 영상을 이용한 저조도 환경에서의
실용적 계산 사진 기법과 Mosaic 에의 응용
Practical Computational Photography
with A Pair of Images under Low Illumination
and Its Application to Mosaic

안택현⁰, 홍기상
포항공과대학교 정보통신학과⁰, 포항공과대학교 전자전기공학과
{ath84, hongks}@postech.ac.kr

요 약

본 논문에서는 저조도(low illumination) 환경에서 카메라를 손에 들고 촬영한, 노출시간이 서로 다른 두 영상을 이용하여 적절한 한 장의 영상을 생성하는 방법을 제안한다. 저조도 환경에서 촬영을 할 경우 카메라 모션 블러와 노출 시간간의 trade-off관계가 성립하는데 이 문제를 해결하기 위하여 제안된 방법은 계산량이 많은 기존의 블러된 영상으로부터 블러를 제거(deblurring)하는 방법들과 달리, 노출 시간이 다른 두 영상이 가진 서로 다른 정보를 합함으로써 빠른 속도로 적절한 한 장의 영상을 생성할 수 있다.

1. 서론

저조도(Low illumination) 환경에서는 카메라의 센서에 닿는 빛의 양이 충분하지 않기 때문에, 손에 들고 촬영하는 카메라를 이용하여 한 번의 촬영으로 얻을 수 있는 영상은 한계를 지니고 있다. 카메라의 결과 영상의 밝기는 카메라의 노출시간을 조절하여 조정하게 되는데, 충분한 빛의 양을 얻기 위해 노출 시간을 길게 하면 노출시간 동안 카메라의 움직임이 반영 되어 결과 영상에 블러가 나타나게 되고, 반대로 노출시간을 짧게 하면 블러가 없어 구조(structure)정보는 살아있지만 영상이 어둡기 때문에 색감이 적고, 영상에 노이즈가 나타나게 된다. 이와 같은 이유로 한 번의 촬영으로 적절한 하나의 영상을 얻기 힘들기 때문에 후처리(post process)가 필요하게 되는데 이 처리가 빠르게 된다면 영상을 촬영하면서 결과영상을 확인해가며 보다 실용적으로 영상을 얻을 수 있을 것이다.

이와 같은 저조도 환경에서 후처리를 해서 적절

한 한 장의 영상을 얻기 위해 간단히 생각해 볼 수 있는 것은, 같은 장소에서 노출시간을 달리하여 얻은 두 장의 영상들이 가진 서로 다른 정보를 이용해 보는 것이다. 이러한 방식으로 같은 위치에서 촬영한 노출시간이 서로 다른 두 영상간의 관계를 이용하여 확률적인 접근으로 결과영상을 얻는 방식[1]이 있지만, 반복연산과 많은 계산량 등으로 인한 긴 계산시간에 비해 결과영상이 만족스럽게 얻어지지 않는 것이다. 이와는 다른 방식으로, 문제를 노출시간을 충분히 하여 얻은 블러가 나타난 영상에서 블러를 제거(deblurring)하는 것으로 생각할 수 있다. 일반적으로 블러제거에 대한 접근 방법들은 블러된 영상 B 는 블러가 없는 영상 I 와 카메라의 움직임을 나타내는 블러 커널(blur kernel) k 와의 컨볼루션의 형태로 문제를 모델링 하고 있는데, 이렇게 모델을 잡게 되면 커널 k 를 추정하는 연산(kernel estimation)과 컨볼루션 연산을 역으로 계산해주는(deconvolution) 연산을 거쳐야 한다. 그 중, 커널을 추정함에 있어서도 기본적 블러가 나타난 영상과 그것의 구조정보를 더 가지고 있을 노출시간을 짧게 하여 촬영한 영상 두 장을 이용하여 더 쉽게 커널을 구하는 방식을 먼저 생각 할 수

있다[2]. 그리고 나아가서 블러가 나타난 영상 1장 자체만을 가지고 커널을 추정하여 결과 영상을 생성[3,4]하는 것이 최근까지 연구되고 있고, 좀 더 빠르고 정확하게 커널을 얻기 위해 부가적인 장비를 사용하여서 하는 접근방식들도 있다. 하지만 이러한 블러를 제거하는 방법들은 물결현상(ringing artifact)과 같은 해결해야 할 문제들도 있지만, 계산 시간이 오래 걸리고 부가적인 장비가 필요하기도 하다. 이러한 후처리 과정이 빠르게 이루어진다면, 핸드폰이나 카메라 같은 촬영 기기에서 얻은 결과 영상을 바로 확인 할 수가 있을 것이다.

본 연구에서는 저조도 환경에서의 긴 노출을 통한 블러가 있는, 그리고 짧은 노출을 통한 어둡고 노이즈가 있는 두 영상을 통해 적절한 하나의 영상을 빠르게 생성하는 방법을 제안한다. 기존의 알고리즘들의 계산량이 많은 것을 고려하여 부가적인 장비 없이 실시간 적용이 되는 것을 목표로 하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 제안된 노출시간이 서로 다른 두 영상을 이용하여 하나의 결과 영상을 얻는 방법에 대해 기술하고, 제 3장에서 실험 및 결과를 기술한다. 4장에서는 제안된 방법의 모자이크(mosaic)에의 활용에 대하여 기술한다. 그리고 제 5장에서 결론을 맺는다.

2. 제안된 계산사진기법

2.1 개요

기존의 방법들은 계산과정이 복잡하거나, 반복되는(iterative) 연산을 수행하기 때문에 부가적인 장비 없이 빠른 시간에 처리하여 결과 영상을 바로 보고자 하는 실시간적 접근성은 충족 할 수 없다.

본 연구에서 제안하는 방법의 전체적인 구성은 <그림 1> 와 같이 되어 있다. 입력으로는 노출시간이 서로 다른, 노이즈가 있는 어두운 영상과 노출시간을 길게 하여 블러가 나타난 영상이 들어온다. 노출시간이 적어서 노이즈가 있지만 물체의 구조(structure) 정보가 잘 드러나 있는 짧은 노출의 영상의 명도(brightness)정보를 기반으로, 노출 시간이 짧아서 충분히 얻지 못한 채도(chrominance) 정보를 노출 시간이 길지만 블러가 나타난 영상에서 가져옴을 기본 구성으로 함으로써 복잡한 연산을 거치지 않고 부가적인 하드웨어의 추가 없이 기존의 블러 제거 방법들보다 빠르게 결과 영상을 얻는

것을 목표로 하였다. 이러한 구성에서는 명도 정보와 채도 정보를 나누는 것이 중요하기 때문에, 모든 과정은 명도와 채도 정보를 잘 나눈다고 알려져 있는 CIE L*a*b* 색 공간을 기반으로 처리한다.

입력 받은 노이즈가 있는 어두운 영상의 명도정보를 향상(enhancement) 시키게 되는데, 향상 시키는 과정에서 영상잡음이 같이 향상이 되므로 속도가 빠르고 효율적인 영상잡음 제거법이 필요하다. 이렇게 향상 과정을 마치게 된 영상의 채도는 블러가 나타난 영상으로부터 보완 해 주게 됨으로써, 최종적인 결과 영상을 얻게 된다. 2.2장에서는 명도 정보의 향상에 대해 기술하고, 2.3장에서는 그에 따라 필요해진 영상잡음 제거 방법에 대해서 기술하며, 그리고 2.4장에서는 색 전송을 하는 방법을 기술한다.

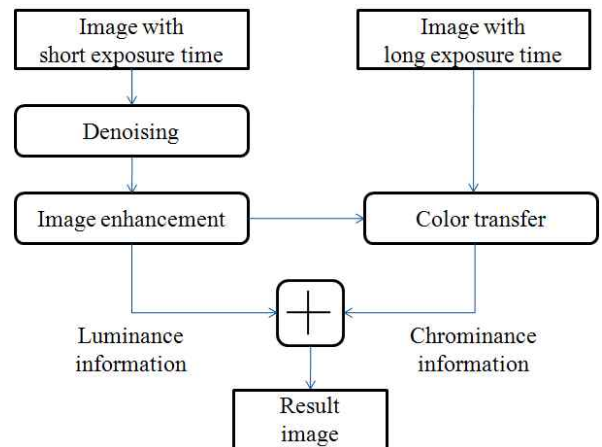


그림 1. 제안된 시스템의 전체적인 구성

2.2 영상 향상(image enhancement)

서론에서 설명하였듯이 입력으로 받은 노출시간이 짧은 노이즈가 있는 영상을 기반으로 하여, 이 영상의 구조정보를 담고 있는 명도를 향상시키게 된다. 영상 향상은 Retinex[5]를 사용하였다. 이 알고리즘은 인간의 눈이 무언가를 볼 때 눈의 망막(Retina)에 닿는 절대적인 빛의 양 뿐만이 아니라 뇌(Cortex)에서 주변 환경도 함께 고려하여 그것을 인식한다는 사실에 기반하고 있는데, 여기서는 <그림 2>과 같이 광원의 효과를 줄여서 주변 환경에 대한 상대적 반사(relative reflectance)를 구하는 방법으로 이야기한다.

일반적으로 컬러 영상에서 레티넥스 알고리즘은 색 균형(color balance)을 맞추기 위해서나, 연산시간 절약을 위해 명도 성분에서만 사용되어지는데, 본 연구에서는 L*a*b* 색 공간에서 명도를 나타내

는 L^* 평면을 향상 시키게 된다. 하지만 RGB 색 공간에서 $L^*a^*b^*$ 색 공간으로 갈 때 선형적인 계산이 아닌 세제곱근 연산을 거치게 되는데, RGB 공간에서 $L^*a^*b^*$ 공간으로 가는 중간과정인 XYZ 색 공간의 Y 평면을 향상시켜줌으로써 그 영향을 받지 않는 채로 영상 향상을 가능하게 하였다.

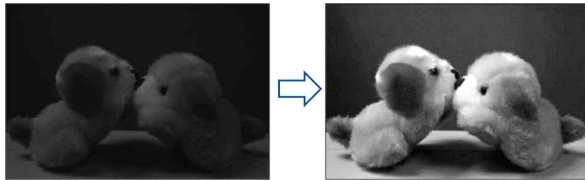


그림 2. Retinex 알고리즘의 효과

2.3 영상 잡음 제거(Noise reduction)

노출 시간이 짧은 영상에서 2.2와 같은 영상 향상을 하게 되면 영상 잡음도 같이 향상 되는데, 그 영향을 줄이기 위해 빠르고 효율적인 잡음제거(denoising) 방법을 요구하게 되었다. 이러한 잡음 제거 법으로는 $O(1)$ bilateral filter[6]를 사용되었다.

기본적인 쌍방향 필터(bilateral filter)는 입력 화소 X 의 값 $I(X)$ 에 대해, 그 이웃 화소들 Y 의 값 $I(Y)$ 들의 공간(domain), 범위(range)에 대한 가중치를 함께 적용한 가중평균을 이용하여 결과 화소 $I^B(X)$ 를 구하게 되는데, 이는 수식 (1)과 같이 나타내어진다. 여기서 σ_d, σ_r 는 각각 공간, 범위에 대한 잡음의 척도를 나타내는 상수항이 되고, C 는 가중치들을 표준화 시켜주기 위한 표준화 상수(normalizing constant)이다.

$$I^B(X) = \frac{1}{C} \sum_{Y \in N(X)} e^{-\frac{\|Y-X\|^2}{2\sigma_d^2}} e^{-\frac{\|I(Y)-I(X)\|^2}{2\sigma_r^2}} I(Y) \quad (1)$$

[6]에서는 사용 되는 입력 화소의 값 $I(X)$ 를 특정한 몇 개의 고정된 값 k 로 치환시킴으로써, (1)와 같이 복잡한 식을 두개의 가우시안 공간적 필터로 나타낼 수 있다고 이야기 하고, 이 가우시안 공간 필터에 [7]을 적용 하게 됨으로써 $O(1)$ 의 계산량을 가지게 된다고 기술한다.

이 영상잡음 제거방법은 앞에서 설명한 명도 향상 전에 사용이 되는데, 명도 향상은 XYZ 색 공간의 Y 평면에 사용을 하고, 이 Y 평면은 RGB 공간 중 R,G 두 평면의 성분에 의해 99%의 영향을 받고 있으므로 R,G,B 평면에 대해 잡음 제거를 하지 않고 R,G 평면에만 잡음 제거를 적용함으로써 눈

에 띄는 차이 없이(R,G,B 각각에 적용한 영상과의 PSNR 40dB 이상) 계산량을 더 줄일 수 있다.

2.4 색 전송(color transfer)

블러가 나타난 영상과 노출 시간이 짧은 영상잡음이 있는 영상을 a^*b^* 색 공간상에서 비교를 하면 그 평균(mean)과 표준편차(standard deviation)가 다를 뿐 비슷한 분포를 나타내는 사실을 관찰 할 수 있다. 이 사실을 기반으로 하여 영상의 평균과 표준편차를 맞추어주는 방법[8]을 사용함으로써, <그림 3>의 (b) 와 같이 어두운 영상을 기반으로 향상시킨 영상으로부터 (c)와 같은 최종 결과를 얻게 된다.



그림 3. 색 전송에 따른 결과

색 전송 방법은 두 영상의 전체 색 분포를 맞추어주는 방법이기 때문에, 두 영상을 완전히 겹치지 않게 촬영하더라도 잘 동작하므로, 카메라를 손에 들고 촬영하는 환경에서 사용하기 적합하다고 할 수 있다.

3. 실험 결과 및 분석

실험 평가는 본 논문에서 제안한 방법에 의해 생성된 영상 결과와, 동일한 입력 영상으로 결과를 볼 수 있는 기존 방법[1]의 영상 결과를 비교 평가 하고, 블러 현상에 대한 일반적인 접근 방법들 [3][4]과 계산시간을 비교 하도록 한다. 제안된 방

법의 시스템은 CPU 2.80GHz, RAM 3.49GB 하드웨어 환경에서 C++로 구현하였다.

3.1 실험 결과

<그림 4>는 실내에서 노출 시간을 서로 달리 하여 얻은 두 영상으로 얻은 결과 영상들을 나타내고 있는데, 노출이 긴 영상에서 책 부분이 포화(saturation)되어 종이가 바랜 부분도 하얗게 된 것을 볼 수 있는데 이 부분이 결과에 반영되어 하얗게 나타나는 것을 볼 수 있다. 하지만 제안된 결과에서는 종이의 바랜 부분을 유지 하는 것을 볼 수 있고, 기존의 방법보다 대비(contrast)가 더 뚜렷하게 나타남을 볼 수 있다.

<그림 5>는 흐린 날씨의 바깥에서 짧고 긴 노출 시간으로 촬영하여 얻은 영상들로 얻은 결과를 보여준다. 사진을 찍는 동안 부는 바람으로 인해, 노출이 길 때의 영상과 짧을 때의 영상의 꽃들의 위치가 차이가 많이 나지만 알고리즘이 전체 색의 분포를 맞춰 주는 것이기 때문에 문제없이 결과가 나타남을 볼 수 있고, 또한 제안된 결과가 기존의 방법과 색상은 비슷하게 나타내면서 대비는 더 뚜렷하게 나타남을 볼 수 있다.

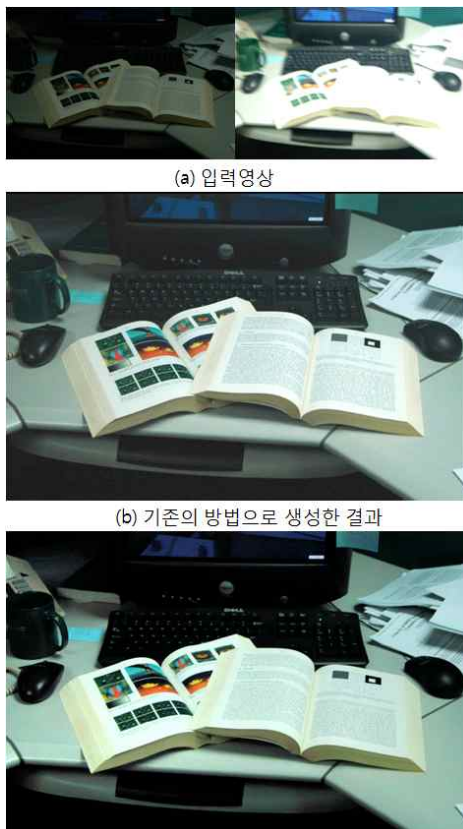


그림 4. 결과 영상 비교('desk')

image size	time (sec)	
793x524 ('desk')	Denoising	0.890
	Retinex & Color transfer	0.172
	Total	1.062
565x376 ('garden')	Denoising	0.407
	Retinex & Color transfer	0.093
	Total	0.500

표 1. 계산속도



(a) 입력영상



(b) 기존의 방법으로 생성한 결과



(c) 제안된 방법으로 생성한 결과

그림 5. 결과 영상 비교 ('garden')

제안 된 방법의 대부분의 계산시간은 쌍방향 필터의 연산에 소모되는데, 이는 공간적 필터의 크기에 무관하게 계산 시간이 결정이 되므로, <표 1>에서 볼 수 있는 결과와 같이 결과 영상을 얻는데 필요한 시간은 영상의 크기에만 비례 하게 된다.

아래 <표 2>에서는 블러 현상에 대한 기존의 접근 방법[3][4]들과의 계산 시간을 비교 하고 있는

데, Shan's method[3]에서는 블러의 효과적인 제거에 중점을 두고 Cho's method[4]에서는 빠른 블러 제거에 중점을 둔 방법을 제안하고 있다. [3]의 경우와 같이, 일반적인 블러 제거 방법들은 영상의 크기에 따라 달라지지만 수십 초~수십 분의 계산 시간을 가지게 되는데 이러한 일반적인 방법들과 비교하여 제안된 방법은 실시간 처리에 가까운 결과를 나타내고 있음을 볼 수 있다. [4]에서는 보다 빠른 블러 제거를 위해 부가적인 하드웨어 (GPU)를 사용하여 알고리즘의 성능을 향상 시켰는데, 제안된 방법은 이러한 부가적인 하드웨어의 지원 없이 그것을 사용한 [4]에 가까운 계산 시간이 걸리는 것을 확인 할 수 있다.

image size	time (sec)			
	Shan's	Cho's	Cho's with GPU	ours
800 x 532	360	20	0.609	0.988
903 x 910	762	33	0.984	1.909
836 x 804	762	28	0.937	1.561
454 x 588	309	11	0.438	0.620

표 2. 계산속도 비교

4. 낮은 조도 환경에서 모자이크(mosaic) 에의 활용

카메라가 가지는 시야는 한정되어 있다. 이런 한정된 시야를 넓히는 방법 중 가장 널리 알려진 모자이크(Mosaic)방법은 좁은 시야를 가지는 여러 장의 영상들을 정합해 하나의 넓은 시야를 가지는 영상을 생성하는 방법이다. 제안된 방법에서는 간단히 인접한 영상간의 평면변환관계인 호모그래피(homography)를 계산하여 이 영상들을 연속적으로 연결해주는 지역적 정합(local registration)을 사용하였다.

낮은 조도 환경에서 이러한 모자이크(mosaic) 영상을 생성하기 위한 입력 영상들을 촬영 할 때 노출을 길게 하면 블러 현상이 나타나게 되므로, 노출을 짧게 하여 필요한 영상 수만큼 찍고 노출을 길게 한 하나의 추가적인 영상을 더 촬영으로써 좋

은 결과 영상을 얻을 수 있다면, 이 접근 방법은 실용적이라 할 수 있다. 실험 과정은 <그림 1>와 동일하지만 입력 영상이 어둡게 찍은 영상들의 모자이크 결과 영상이 되고, 모자이크 입력영상들 중 하나와 짝을 이루는 하나의 블러된 영상을 사용하게 되며 <그림 6>은 그에 대한 영상 생성 결과를 나타낸다. 어두운 부분에서 촬영한 한 쌍의 영상들을 기준으로 색 전송을 하게 되는데, 이것이 밝은 부분(다른 영상의 출입구 부분)에서의 색상이 들어지는 효과를 가져 오지는 않을까 했지만, <그림 6>의 실험 결과로 보아듯 전체 영상의 분위기에만 영향을 끼치는 것을 확인 할 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 저조도 환경에서 손에 들고 촬영하는 카메라를 이용하여 획득한 노출 시간이 서로 다른 두 장의 영상을 이용하여 하나의 적절한 영상을 빠르게 생성하는 방법을 제안하였다. 기존의 블러를 제거하는 방법들이 수십~수백초가 걸리거나, 부가적인 하드웨어를 사용해야 하는 것에 비교해서 512x512 정도의 크기를 가지는 영상에서 1초 미만의 시간이 걸리면서 적절한 결과 영상을 얻을 수 있었다. 또한 저조도 환경에서 모자이크를 하는 경우에, 여러 장의 어두운 영상에 한 장의 블러가 나타난 충분한 노출시간을 가진 영상을 추가 함으로써, 보다 더 좋은 모자이크(mosaic) 결과 영상을 얻을 수 있음을 보였다.

다만, 노이즈한 영상을 노출 시간이 너무 짧은 상태로 얻게 되면 색상 정보가 상당히 사라져 버리기 때문에 결과 영상의 색상이 만족스럽게 나타나지 않게 되므로, 일정 수준의 노출 시간을 확보할 필요가 있다. 실험에서는 자동 노출시간으로 찍은 사진을 블러된 영상으로 놓을 때의 1/4~ 1/16의 노출 시간으로 촬영하여 만족스런 결과 영상을 얻을 수 있었다.



(a) 입력영상



(b) Mosaic 후 영상향상 처리만 했을 때



(c) 블러된 영상의 색상으로 색 전송 한 결과

그림 6. Mosaic에 의 활용

Shirley, "Color transfer between images," In IEEE Computer Graphics and Applications, 34-40, 2001.

참고문헌

- [1] J. Jia, J. Sun, C.-K. Tang, and H.-Y. Shum, "Bayesian correction of image intensity with spatial consideration," In proceeding of ECCV, 342-354, 2004.
- [2] L. Yuan, J. Sun, L. Quan, and H.-Y. Shum, "Image deblurring with blurred/noisy image pairs," ACM Trans. Graphics 26, 3, article no. 1, 2007
- [3] Q. Shan, J. Jia and A. Agarwala, "High-quality Motion Deblurring from a Single Image," ACM Trans. Graphics 27, 3, article no.73, 2008.
- [4] Sunghyun Cho and Seungyong Lee, "Fast motion deblurring," ACM Trans. Graphics 28, 5, article no.145, 2009.
- [5] D.J. Jobson, Z. Rahman, and G.A. Woodell, "Properties and performance of a center/surroun retinex," IEEE Trans. Image Processing, vol 7, no. 3, pp. 451-462, Mar.1997.
- [6] Q. Yang, K.-H. Tan, and N. Ahuja, "Real-Time O(1) Bilateral Filtering," In CVPR, 557-564, 2009
- [7] R. Deriche, "Recursively implementing the Gaussian and its derivatives," In ICIP, 263-267, 1992.
- [8] E. Reinhard, M. Ashikhmin, B. Gooch, and P.