

고속 조명 기반 모션 디블러링을 위한 PSF 최적화

이재린, 오교혁, 전병우

성균관대학교

{jaelin, dhrygur, bjeon}@skku.edu

Point Spread Function Optimization for Motion Deblurring with External High-speed Lighting

Jaelin Lee, Gyoheak Oh, Byeungwoo Jeon
Sungkyunkwan University

요 약

영상 보안 시스템에 사용되는 일반적인 CCTV 로 획득한 영상에서의 움직이는 피사체의 화질은 좋지 않다. 본 논문에서는 주변광을 정의하고 이를 통해 외부조명 조건하에 획득한 영상의 모션 디블러링을 위한 PSF 패턴을 최적화하여 영상의 화질을 개선하는 방법을 제안한다. 제안하는 알고리즘은 외부조명 동작 패턴에 주변광을 분석한 패턴을 더하여 영상복원을 수행하기 위한 PSF 패턴을 생성한다. 제안한 방법으로 최적화된 PSF 패턴을 사용하여 영상을 복원한 결과 기존에 사용된 방법에 비해 주관적 화질이 향상됨을 확인할 수 있다.

1. 서론

폐쇄 회로 텔레비전(CCTV)은 실시간으로 영상을 수집하여 범죄 증거 수집 및 재난 감시, 시설물 보호 등을 위한 영상보안 감시 시스템으로 사용된다. 그러나 대부분의 영상 감시 분야에 사용되는 카메라의 프레임율은 일반 카메라와 유사하므로 고속으로 움직이는 피사체에 대한 영상의 품질이 좋지 않다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해 상용 카메라의 성능 한계를 극복하는 연구들이 활발히 연구되어 왔다[1]. [2,3]에서는 랜덤 이진패턴으로 동작하는 고속 플리커링 서티를 사용하여 변조된 블러 영상을 획득하였고, [4,5]에서는 카메라 외부에 고속으로 동작하는 외부조명을 사용하여 변조된 모션블러 영상을 획득하는 방법을 제안하였다. 이렇게 획득한 영상에 PSF(Point Spread Function) 패턴을 사용한 디컨벌루션을 수행하여 영상을 복원한다.

외부조명과 동기화된 카메라를 사용하여 영상을 획득하는 경우, 얻어진 영상은 외부조명과 주변광 모두의 영향을 받는다. 따라서, 디컨벌루션에 사용하는 PSF 패턴은 주변광과 외부조명 패턴에 영향 받는다. PSF 패턴을 구하기 위하여, 기존 연구에서는 주변광을 임의의 상수로 설정하거나 0 으로 가정하였다. 본 논문에서는 CCTV 카메라의 특성 상 동일한 공간에 대한 영상정보를 지속적으로 획득할 수 있으므로 이를 활용하여 영상을 복원하기 위한 PSF 패턴을 주변광을 고려하여 정의하도록 하여 최적화하는 방법을 제안한다.

2. 주변광 기반 PSF 패턴 모델링

2.1. 외부조명 기반 모션 디블러링 방법

$i(x)$ 는 획득한 영상, $s(x)$ 는 원래 영상, $h(x)$ 는 PSF 패턴, 그리고 $n(x)$ 는 잡음이라 가정하면, 획득영상 $i(x)$ 는 공간

영역에서 수식 (2)와 같이 정의된다.

$$i(x) = h(x) * s(x) + n(x) \quad (1)$$

여기서, * 는 컨벌루션을 표시한다. 수식 (1)의 양변을 DFT(Discrete Fourier Transform) 변환을 취하여 주파수 영역으로 변환하면, 컨벌루션은 곱셈이 되며, 획득하고자 하는 원래 영상 $s(x)$ 에 대한 DFT 값은 아래와 같이 계산된다.

$$\hat{S}(\omega) = \frac{I(\omega) - N(\omega)}{H(\omega)}, \quad \text{if } H(\omega) \text{ is not } 0 \quad (2)$$

$\hat{S}(\omega)$ 는 계산된 복원 영상의 주파수 영역 신호이며, PSF 패턴의 주파수 영역 함수 $H(\omega)$ 의 분산이 적고 신호의 최소값이 클수록 $\hat{S}(\omega)$ 의 신호 복원 성능이 향상된다. 외부조명을 사용하는 경우, $s(x)$ 는 외부조명 및 주변광 각각에 대하여 획득 영상 $i(x)$ 에 기여하여 다음과 같이 표현된다. 여기에서 $h_1(x)$ 는 고속으로 동작하는 외부조명, $h_2(x)$ 는 주변광이다.

$$i(x) = (h_1(x) + h_2(x)) * s(x) + n(x) \quad (3)$$

2.2 주변광 분석 및 PSF 패턴 최적화

기존에는 수식 (3)에서 $h_2(x)$ 값으로 임의의 상수를 대입하거나, 저조도 환경을 가정하여 0 을 대입하여 영상 복원을 진행하였다. 본 논문에서는 CCTV 환경에서 동일한 장소를 지속적으로 촬영하는 경우이므로, 외부조명 및 주변광에 의해 블러된 영상과 주변광에 의해 블러된 영상을 각각 획득하는 것이 가능하다. 획득한 영상은 그림 1 과 같으며, 주변광 $h_2(x)$ 를 분석하기 위한 모델은 아래 수식 (4)와 같다.



그림 1. 외부조명 및 주변광 조건에서 획득한 모션블러 영상. (a) 고속으로 동작하는 외부조명을 사용해 획득한 모션 블러 영상 $i_1(x)$; (b) 주변광이 있는 조건에서 획득한 영상 $i_2(x)$.

$$\frac{i_1(x)}{i_2(x)} = \frac{(h_1(x) + h_2(x)) * s(x)}{h_2(x) * s(x)} \quad (4)$$

그림 1 에서 움직이는 피사체를 제외한 영역을 x_p 이라 가정하면 $s(x_p)$ 는 상수가 되어 약분이 가능하다. 따라서 영상 $i_1(x)$ 를 $i_2(x)$ 로 나눈 결과는 패턴 $h_1(x)$ 를 $h_2(x)$ 로 나눈 값에 1 을 더한 값과 같다. 다음으로 외부조명 대비 주변광의 크기를 a , 외부 조명 및 주변광의 패턴 길이를 m 이라 정의하자. $h_1(x)$ 는 k 개의 1 과 $(m - k)$ 개의 0 으로 이루어진 이진패턴이고, $h_2(x)$ 는 m 개의 a 로 이루어진 패턴이므로 최종적으로 외부조명 대비 주변광의 밝기 a 는 수식 (5) 를 통해 획득할 수 있다.

$$\frac{i_1(x_p)}{i_2(x_p)} = \frac{k}{m \times a} \quad (5)$$

위 식에서 영역 x_p 에 대한 영상 $i_1(x_p)$, $i_2(x_p)$ 에 평균값을 취하여 x_p 에 대한 밝기 값을 대변한다. 수식 (5) 를 통해 획득한 a 값으로 생성된 주변광 패턴 $h_2(x)$ 을 외부 조명 패턴 $h_1(x)$ 에 더하여 최종적으로 PSF 패턴을 최적화한다.

3. 실험 환경 및 실험 결과

실험은 암실환경에서 진행되었으며, 암실의 상단에는 지름 15mm 의 확산필터가 설치된 구멍을 설치하였다. 조명은 모두 소등한 채로 야외에서 들어오는 빛을 사용하여 실험이 진행되었으며, 움직이는 객체의 위치에서 획득한 주변광의 밝기는 약 25 lux 이다. 카메라는 basler ac2040 120uc 을 사용하였으며, 프레임율은 20fps, 셔터 노출 시간은 25ms 이다.

실험환경을 통해 획득한 영상은 그림 1 과 같으며, 그림 1(a) 를 각각 외부조명 패턴만을 고려하여 생성한 PSF 패턴과 본 논문에서 제안한 PSF 패턴으로 복원한 결과는 그림 2 와 같다. 그림 2(a) 는 외부조명을 플리커링 하는 패턴을 PSF 로 사용하여 복원한 결과 영상이며, 그림 2(b) 는 주변광을 고려한 제안 방법을 통해 생성된 패턴으로 복원한 영상이다.

제안방법의 성능은 주관적 평가를 통해 진행하였다. 먼저 관찰하고자 하는 관심영역은 붉은 박스로 표시하였으며, 그림 2 의 두번째 행은 붉은 박스 영역을 확대한 영상이다. 두번째 행의 그림을 자세히 살펴보면, 제안한 방법으로 복원한 그림 2(b) 의 경우가 더욱 선명함을 확인할 수 있다. 다음으로 그림 2 의 첫번째 행에서 노란색 박스로 표시된 영역을 살펴보면, 확산된 빛이 그림 2(b) 의 그림에서 더욱 밀집됨을 볼 수 있다. 마지막으로 그림 2(b) 에서 영상 전역의 잡음이 감소됨을 확인할 수 있다.

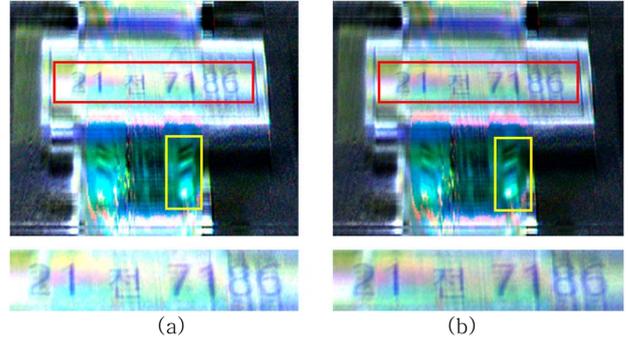


그림 2. 그림 1(a) 영상을 복원한 결과 영상. (a) 외부조명의 플리커링 패턴을 PSF 패턴으로 사용하여 복원한 결과. (b) 제안 방법을 통해 생성된 PSF 패턴으로 복원한 결과.

4. 결론

본 논문에서는 번조된 외부조명을 이용하여, 영상의 모션블러를 복원하고자 하는 경우, 주변광 성분까지 고려하여 PSF 패턴을 최적화하는 방법에 대해 연구하였다. 주관적 평가결과, 영상의 복원 성능이 향상되었음을 확인하였다. 현재 본 논문에서는 주변광을 상수로 가정하였으나, 향후에는 더욱 일반적인 함수로 모델링하도록 하여 복원영상의 화질을 향상시키는 방향으로 추가 연구를 진행할 것이다.

감사의 글

본 논문은 2018 년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2018-0-00348, CCTV 제약점 개선을 통해 범인 검거율 저하 문제 해결을 지원하는 지능형 영상 보안 시스템 기술 개발)

참고문헌

- [1] W. Richardson, "Bayesian-based iterative method of image restoration," *Journal of the Optical society of America (JOSA)*, 62(1):55-59, 1972.
- [2] R. Rasker, A. Agrawal and T. Tumbli, "Coded exposure photography: motion deblurring using fluttered shutter," *ACM transactions on graphics (TOG)*, vol. 25, no. 3, pp. 795-804, 2006.
- [3] A. Agrawal and Y. Xu, "Coded exposure deblurring: Optimized codes for psf estimation and invertibility," *Proc. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2009.
- [4] C. Ma, Z. Liu, L. Tian, Q. Dai and L. Waller, "Motion deblurring with temporally coded illumination in an LED array microscope," *Optics letters*, vol. 40, Issue 10, pp.2281-2284, 2015.
- [5] S. McCloskey, "Temporally coded flash illumination for motion deblurring," *Proc. IEEE International conference on Computer Vision (ICCV)*, pp 683-690, 2011.
- [6] M. Vollmer and KP. Mollmann, "Flickering lamps," *European Journal of Physics*, 36(3), 2015.