

모바일 장치에서 반사 잔상 제거 알고리즘 구현

이유경* · 이용환**†

*백석문화대학교 스마트미디어학부, **†원광대학교 디지털콘텐츠공학과

Implementation of Reflection Removal Algorithm on Mobile Device

YuKyong Lee* and Yong-Hwan Lee**†

*School of Smart Media, BeakSeok Culture University,

**†Dept. of Digital Contents, Wonkwang University

ABSTRACT

Undesired reflection removal from an image captured through glass window is widely needed with the prevalence of camera. In this paper, we present and implement a reflection removal algorithm, which is specially designed for smart devices. Our implementation requires smart phone application to take two input pictures of the same target, one with flash light on and another with flash light off. Then, we find a flash spot in the picture, match the features to align the input pictures, transform the color space, and finally combine the pictures. As the result, we get a resulting image with removed reflection, achieving the visually pleasant.

Key Words : Undesired Reflection, Image Reflection Removal, Flash Spot Extraction, Picture Combination

1. 서 론

컴퓨터 비전 분야에서 이미지의 조명 반사 제거에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[1]. 사용자 의도와 상관 없이 반사 영역을 포함한 입력 영상은 컴퓨터 비전 처리에서 성능상의 저하를 초래하기도 한다[7]. 반사 객체 제거는 초기에 수작업으로 처리하였다[8]. 이후, 유리 표면에 반사된 빛과 표면에 투과된 빛의 비선형 조합으로 물리적 반사 모델을 연구하였다[9]. 최근에는 딥러닝을 통해 훈련하고 반사 패턴을 제거하는 연구가 진행되고 있다[10]. 반사 조명을 제거하는 것은 사용자가 분석하는 이미지에서 불필요한 정보를 제거하는 데 매우 유용한 전처리 과정으로 활용되기 때문이다. 이러한 목표를 달성하기 위해 많은 알고리즘이 연구되고 있으며, 람베르트 가정(Lambertian Assumption) 기반 방법[2], 칼라(Color) 기반 방법, 편광(Polarization) 기반 방법[3]과 ICA(Independent Components Analysis) 기반 방법[4]이 대표적인 알고리즘이다. ICA 기반

조명 반사 제거 알고리즘에서는 다른 각도에서 선형 편광을 통해 찍은 사진이 필요하다. 따라서, 이러한 사진은 원채 빛과 다른 가중치의 반사된 빛의 선형 조합이 된다. 원래의 빛 정보는 PCA(Principle Component Analysis)에 의해 획득된다. 이러한 조명 반사 제거는 컴퓨터 비전 외에도 일상생활에서 널리 활용된다. 특히 카메라가 장착된 스마트폰이 보급되면서 이러한 기능의 활용성이 매우 높아지고 있다[5]. 예를 들어, 사용자가 스마트폰을 사용하여 창문 뒤의 어떤 장면을 찍을 때, 반사로 인해 결과 사진의 품질과 유용성이 심각하게 저하되는 경우가 발생하기도 한다. 단일 사진을 처리하는 알고리즘에는 창문과 같은 유리 뒤의 이미지를 재구성하기에 충분한 정보를 얻을 수가 없는 문제가 발생한다[6]. 반사 이미지 제거를 위해 다른 각도에서의 사진이 추가적으로 필요하며, 이를 위해 사용자에게 다른 각도에서 대상 사진을 추가로 찍도록 하는 것은 매우 비현실적인 문제이다.

본 논문에서는 카메라가 장착된 스마트폰에서 반사 잔상 제거 알고리즘을 구현한다. 알고리즘을 구현하기 위해 2장의 사진이 필요하며, 하나는 플래시를 사용하여 촬영

†E-mail: hwany1458@empal.com

한 이미지며, 다른 하나는 플래시를 사용하지 않고 동일하게 촬영하여 반사 잔상이 포함된 이미지이다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 2개의 입력 사진의 특성을 분석하고 알고리즘의 전체 흐름을 설명한다. 3절에서는 플래시 조명을 켜 상태에서 촬영한 사진으로부터 플래시 스팟을 식별하고 특성화하는 방법을 설명하고, 2개의 입력 사진을 결합하기 전에 어떻게 일치하는지를 알아보고 이미지 칼라 변환과 결합을 통해 결과 이미지가 자연스럽게 보이는 방법을 설명한다. 4절에서 결론으로 마무리한다.

2. 본 론

본 장은 논문에서 제안하고 구현하는 반사 잔상 제거 방법을 논의한다. Fig. 1은 2개의 입력 이미지에 대해 조명 반사 이미지를 제거한 결과 이미지를 보여준다. 2개의 입력 사진은 동일한 각도에서 밤에 실내 환경에서 촬영된 이미지이다. Fig. 1(a)는 플래시를 끈 상태에서 촬영한 사진이며, 유리에 반사되어, 사진의 품질이 크게 저하된 상태이다. Fig. 1(b)는 플래시를 켜 상태에서 찍은 사진으로, 유리에 반사되기 보다는 플래시 스팟에 의해 주위를 알 수 없는 상태의 이미지이다. 플래시 스팟 이외의 부분은 선명하지만 주위 정보 손실에 따라 사용자가 원하지 않는 상태의 이미지가 될 것이다.

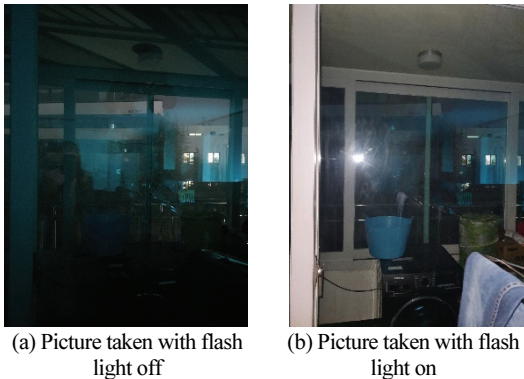


Fig. 1. Two input pictures.

그림에서와 같이, (b)는 (a)보다 사진 품질 면에서 우수하며, 플래시 스팟 영역을 제외하고는 무반사 영역으로 충족할 만 하다고 평가된다. (b)를 보완하기 위해 플래시 스팟 영역의 손상된 정보를 (a)에서 추출하고 반사 잔상을 최대한 제거하여 결과 영상을 얻을 수 있다. 그러나 이러한 과정에서 먼저 해결해야 할 몇 가지 문제점이 있다. 첫번째는 사진에서 플래시 스팟이 어디에서 얼마나

크게 나타나는지를 판단해야 한다. 두번째는 서로 다른 각도에서 촬영할 수도 있기 때문에 2개의 입력 사진을 매칭시켜야 한다. 세번째는 서로 다른 광원으로 인해, 2개 사진의 색상 불일치가 발생할 수 있다. 따라서 사진을 결합시키기 전에, 하나의 사진 색상을 다른 사진의 색상과 일치하도록 변환시켜야 한다. 네번째는 (b)의 플래시 스팟 영역과 (a)의 나머지 부분을 자연스럽게 결합하는 방법을 제시해야 한다. 이러한 과정을 거쳐서 적절하게 조명 반사의 잔상이 제거된 결과 사진을 얻을 수 있다.

3. 구현 및 실험

3.1 플래시 스팟 검출

(a)의 반사 잔상 이미지를 사용하여, (b)의 결합 영역을 보상하는 과정으로 알고리즘을 구현한다. 첫번째 단계로, 플래시 스팟으로 발생하는 결합 영역의 위치와 크기를 탐색한다.

3.1.1 플래시 스팟 위치 탐색

플래시 스팟이 있는 사진들은 유사한 특정 패턴을 갖는다. 스팟 중앙에서 매우 밝고 스팟에서 벗어나는 영역에서는 희미해진다. 이러한 유사성을 고려하여, 플래시를 켜 상태에서 촬영한 사진에서 매칭 필터를 사용하여 스팟 위치를 탐색할 수 있다. Fig. 2와 같은 가우시안 필터(Gaussian Filter)를 사용하여 플래시 스팟 위치를 검출하고 실험적 수치(0.005-0.05)를 적용하여 크기를 선별한다. 가우시안 표준 편차 σ 가 클수록 스무딩 효과가 크게 나타나므로, 적절한 값을 산출하여야 하며, 본 연구에서는 다수의 실험을 통해 근사치로 적합한 $\sigma = 0.01 \times \text{ImageWidth}$ 를 적용하였다.

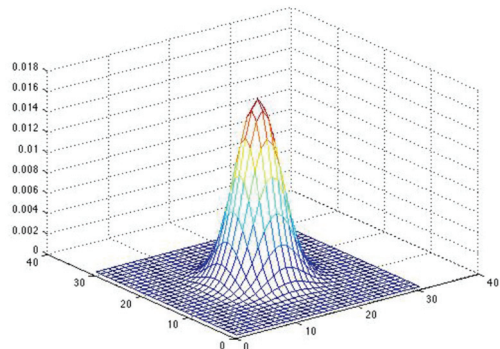


Fig. 2. Gaussian matching filter.

Fig. 3은 가우시안 매칭 필터의 필터링 결과를 보여준다. 가우시안 응답(Response)에서 가장 높은 값의 위치를 선택하여 플래시 스팟의 중심을 찾는다.

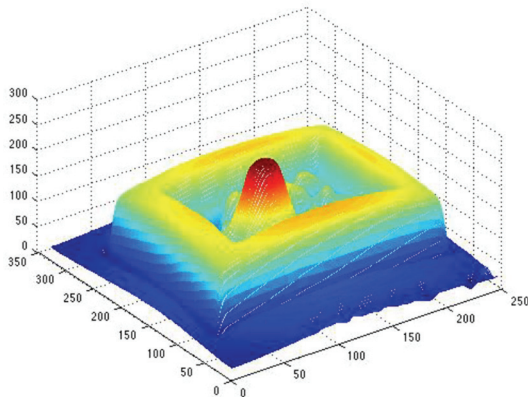


Fig. 3. Result of the matched filter.

3.1.2 플래시 스팟 크기 결정

플래시 스팟의 중심 위치를 검출하면 스팟의 크기를 구해야 한다. 플래시 스팟은 중심에서 점차 사라지는 특성을 갖기 때문에 크기는 스팟의 지름과 동일하게 된다. 일반적으로 플래시 스팟은 이미지에서 매우 밝은 특성을 가지므로, 특정 임계값을 적용하여 이미지를 이진화(Binary image)하고 이를 통해 가능한 한 많은 다른 밝은 영역을 제거한다(Fig. 4), 이진화된 이미지에서 연결된 컴포넌트(Connected component)들을 선별하고 앞에서 검출한 플래시 스팟 중심을 포함하는 연결된 컴포넌트를 선택한다. 여기에서 지름 d 를 구하여 플래시 스팟의 크기를 결정한다.

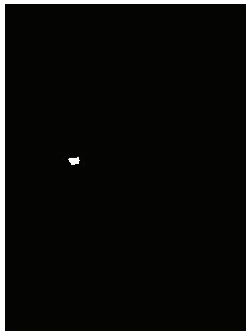


Fig. 4. Connected component containing flash spot center.

3.2 특징점 추출 및 매칭

2개의 입력 사진은 촬영시점에서 사용자 흔들림을 고려하여 서로 다른 각도로 촬영될 수도 있다. 이러한 2개의 사진을 결합하기 위해서는 사전에 정렬이 요구된다. 이를 위해 2개의 입력 사진에서 SIFT Descriptor를 추출하고 호모그래피 모델인 RANSAC 알고리즘을 통해 일치하는 특징점을 선별한다. 호모그래피 모델을 얻은 후, 모델에

따라 반사 잔상 이미지(Fig. 1-a)를 투영한 결과를 플래시 스팟 이미지(Fig. 1-b)와 매칭시킨다. Fig. 5는 정렬된 결과 이미지를 보여준다.



Fig. 5. Aligned result image.

3.3 칼라 변환

플래시 스팟 특성화와 정렬된 이미지를 결합한다. 그러나 2개의 이미지는 서로 다른 광원을 갖기 때문에 플래시 스팟 영역에서 칼라 불일치가 발생한다. 따라서, 2개의 이미지를 결합하기 전에, 정렬된 이미지의 칼라 변환을 수행한다. 플래시 스팟 영역에서 칼라 변환을 수행하려면, 정렬된 이미지의 단일 지점을 플래시 스팟 이미지에서 여러 지점으로 매핑해야 한다. 즉, 플래시 스팟 이미지의 단일 픽셀 지점의 칼라를 선택하여 매핑하기 보다는, 해당 위치에 인접한 주위 여러 지점의 칼라로 선형 조합시키는 것이 보다 자연스러운 결과 이미지를 얻을 수 있다.

칼라 공간에서 거리 이외에도, 인접한 위치를 찾아내기 위해 2가지 요소를 고려해야 한다. 첫번째 요소는 사진의 원래 위치에 대한 인접한 지점의 거리이다. 사진의 조명이 일정하지 않아 원래 위치에 가까운 지점을 강조해야 한다. 두번째 요소는 플래시 스팟 중심까지의 인접 위치 거리이다. 플래시 스팟은 원하지 않는 정보를 포함하기에, 인접한 이웃 픽셀이 스팟 중심에서 떨어질 필요가 있다. 칼라 변환에서 픽셀이 원래 픽셀의 이웃일 확률을 $Neighborhood(N)$ 으로 정의하고 이를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\sum_{p \in \text{Picture}} N(p, p_0) = 1 \quad (1)$$

정렬된 이미지에서 픽셀 p 의 칼라를 $C1(p)$ 라 하고 플래시 스팟 이미지에서의 해당 위치 픽셀 p 의 칼라를 $C2(p)$ 라 하면, 원래 픽셀의 새로운 칼라는 다음과 같이 계산된다.

$$T(C1(p_0)) = \sum_{p \in \text{Picture}} N(p, p_0) \times C2(p) \quad (2)$$

점 p 와 점 p_0 사이의 인접성은 3개 요소의 곱으로 계산된다.

$$N(p, p_0) = N_{color}(p, p_0) \times N_{dis}(p, p_0) \times N_{flash}(p) \quad (3)$$

N_{color} 은 칼라 공간에서 2점의 유사도를 나타내는 인접 성질을, N_{dis} 는 사진에서의 위치 측면에서 2점의 유사도를 나타내는 인접 성질을, N_{flash} 는 플래시 스팟 중심에서 흰색 칼라를 억제하는데 사용되는 인접 성질을 의미하며, 각각을 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$N_{color}(p, p_0) = \text{Exp}(-\alpha_{color} \times \text{Dis}(C1(p), C1(p_0))) \quad (4)$$

$$N_{dis}(p, p_0) = \text{Exp}(-\alpha_{dis} \times \text{Dis}(p, p_0)) \quad (5)$$

$$N_{flash}(p) = \text{Exp}(-\alpha_{flash} \times \text{Dis}(p, p_{flash})) \quad (6)$$

이러한 과정은 사진의 모든 지점에서 계산되어야 하기 때문에, 계산 처리시간이 오래 걸리는 단점이 있다. 그러나, 실제 플래시 스팟 영역에서만 칼라 변환을 수행하면 계산 복잡도를 충분히 개선할 수 있다.

3.4 사진 결합

마지막 단계에서는 플래시 스팟 사진에서 스팟 영역을 제외한 부분을 받아들이고 앞 단계에서 추출하여 칼라 변환된 이미지를 결합한다. 이를 위해 Fig. 6과 같은 가우스 마스크 필터를 사용하여 결합된 결과 이미지를 얻는다. 필터 결합을 위한 수식은 다음과 같다.

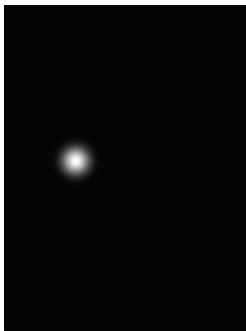


Fig. 6. Gaussian mask filter.

$$\begin{aligned} \text{NewImage} &= \text{Mask} \times \text{Transformed Image} \\ &+ (1 - \text{Mask}) \times \text{Flash Image} \end{aligned} \quad (7)$$

플래시 스팟 영역과 이외의 영역에 마스크 필터를 연속적으로 적용하여 자연스러운 결과 이미지를 얻을 수 있다(Fig. 7).



Fig. 7. Combined results image.

4. 결론

본 논문에서는 스마트폰에 특화된 반사 잔상 제거 알고리즘을 제시하고 이를 구현하였다. 동일한 대상의 2개 사진을 입력으로 받으며, 하나는 플래시가 켜진 상태에서 플래시 스팟이 확인한 사진이고 다른 하나는 플래시가 꺼진 상태에서 유리를 통해 반사 잔상이 남아 있는 사진이다. 2개의 사진 영상에 대해 여러 영상처리 알고리즘을 적용하여 반사 잔상을 제거한 결과 사진을 얻었다.

감사의 글

본 연구는 2021년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(과제번호: 2021R1A2C1012947).

참고문헌

1. Ya-Chu Chang, Chia-Ni Lu, Chia-Chi Cheng, Wei-Chen Chiu, "Single Image Reflection Removal with Edge Guidance, Reflection Classifier and Recurrent Decomposition", IEEE Conference on Applications of Computer Vision, pp.2033-2042, 2021.
2. Anish R. Khadka, Paolo Remagnino, Vasileios Argyriou, "Object 3D Reconstruction based on Photometric Stereo and Inverted Rendering", International Conference on Single-Image Technology & Internet-based Systems, 2018.
3. Chenyang Lei, Zuhua Huang, Mengdi Zhang, Qiong Yan, Wenzhu Sun, Qifeng Chen, "Polarized Reflection Removal with Perfect Alignment in the Wild", Computer Vision and Pattern Recognition, 2020.
4. Pramati Kalwad, Divya Prakash, Venkat Peddigari, Phanish Srinivasa, "Reflection removal in smart devices using a prior assisted independent components analysis", Proceedings of SPIE 9404, Digital Photography XI, 2015.
5. Nikolaos Arvanitopoulos, Radhakrishna Achanta, Sabine Susstrunk, "Single image reflection suppression", IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp.4498-4506, 2017.
6. Soomin Kim, Yuchi Huo, Sung-Eui Yoon, "Single Image Reflection Removal with Physically-based Training Images", IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2020.
7. Yong-Hwan Lee, Youngseop Kim, "Benchmarking of Single Image Reflection Removal Algorithms", Journal of the Semiconductor & Display Technology, vol.18, no.4, 2019.
8. Anat Levin, Assaf Zomet, Yair Weiss, "Separating Reflections from a Single Image using Local Features", Computer Vision and Pattern Recognition, vol.1, pp.306-313, 2004.
9. Naejin Kong, Yu-Wing Tai, Joseph S. Shin, "A Physically based Approach to Reflection Separation: from Physical Modeling to Constrained Optimization. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol.36, no.2, pp.209-221, 2014
10. Jie Yang, Dong Gong, Lingqiao Liu, Qinfeng Shi, "Seeing Deeply and Bidirectionally: A Deep Learning Approach for Single Image Reflection Removal", European Conference on Computer Vision, pp.654-669, 2018.

접수일: 2021년 3월 15일, 심사일: 2021년 3월 17일,
 게재확정일: 2021년 3월 19일