

레터논문 (Letter Paper)

방송공학회논문지 제27권 제5호, 2022년 9월 (JBE Vol.27, No.5, September 2022)

<https://doi.org/10.5909/JBE.2022.27.5.808>

ISSN 2287-9137 (Online) ISSN 1226-7953 (Print)

딥러닝을 이용한 외부 조도 아래에서의 시인성 향상 알고리즘

이 희 진^{a)}, 송 병 철^{a)†}

Algorithm for Improving Visibility under Ambient Lighting Using Deep Learning

Hee Jin Lee^{a)} and Byung Cheol Song^{a)†}

요 약

강한 외부 조도 아래에서의 디스플레이는 인간의 인지 시스템에 의해, 실제보다 더 어둡게 인지된다. 해당 문제를 소프트웨어 측면에서 해결하기 위한 기존의 기법들은, 외부 조도에 대응하지 못하거나 밝기에 비해 색상이 향상되지 못하는 한계를 보인다. 따라서 본 논문은 외부 조도 값에 따라 영상의 밝기 및 색상을 향상하는 시인성 개선 알고리즘을 제안한다. 해당 알고리즘은 입력 영상과 함께 외부 조도 값을 인자로 받은 후, 딥러닝 모델을 통한 luminance 학습 및 chrominance 복원 방정식을 적용하여, 개선된 영상의 열화 현상과 입력 영상과의 대비 차이가 최소화되도록 영상을 생성한다. 이는 정성적 평가에서 열화 모델링 적용 영상 비교를 통해 해당 알고리즘이 강한 외부 조도 아래에서의 시인성 개선에 뛰어난 성능을 보임을 확인할 수 있다.

Abstract

Display under strong ambient lighting is perceived darker than it really is. Existing techniques for solving the problem in terms of software show limitations in that image enhancement techniques are applied regardless of ambient lighting or chrominance is not improved compared to luminance. Therefore, this paper proposes a visibility enhancement algorithm using deep learning to adaptively respond to ambient lighting values and an equation to restore optimal chrominance for luminance. The algorithm receives an ambient lighting value with the input image, and then applies a deep learning model and chrominance restoration equation to generate an image to minimize the difference between the degradation modeling of enhanced image and the input image. Qualitative evaluation proves that the algorithm shows excellent performance in improving visibility under strong ambient lighting through comparison of images applied with degradation modeling.

Keyword : visibility improvement, human visual system, ambient lighting, deep learning

a) 인하대학교 전기컴퓨터공학과 (Department of Electrical and Computer Engineering, Inha University)

† Corresponding Author : 송병철(Byung Cheol Song)

E-mail: bcsong@inha.ac.kr

Tel: +82-31-860-7413

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8742-3433>

※ This research was supported by the MSIT(Ministry of Science and ICT), Korea, under the ITRC(Information Technology Research Center) support program(IITP-2021-0-02052) supervised by the IITP(Institute for Information & Communications Technology Planning & Evaluation), and was supported by Institute of Information & communications Technology Planning & Evaluation(IITP) grant funded by the Korea government (MSIT) (2020-0-01389, Artificial Intelligence Convergence Research Center(Inha University)).

• Manuscript July 25, 2022; Revised September 8, 2022; Accepted September 8, 2022.

Copyright © 2022 Korean Institute of Broadcast and Media Engineers. All rights reserved.

“This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and not altered.”

I. 서론

인간의 인지 시스템에 의해, 강한 조도 아래에서의 디스플레이 영상은 실제보다 어둡게 보이는 열화 현상이 발생한다. 열화 현상을 해결하기 위한 시인성 향상 기법 중 하나는 CLAHE^[1], SEF^[2]와 같은 contrast enhancement 기법이다. 그러나 해당 기법은 외부 조도에 적응적으로 대비를 향상하지 못하여, 조도 환경에 대해 under-enhanced 혹은 over-enhanced될 수 있다는 단점이 있다. 이러한 문제를 해결하고자 Wang, et al.^[3] 및 Mantiuk, et al.^[4]의 기법과 같이 외부 조도 값에 적응적인 tone mapping 기법을 활용할 수 있다. 그러나 이러한 기법들은 대부분 밝기 보상에만 집중하거나, 밝기의 향상 ratio를 RGB채널에 곱하여 색상을 개선하게 되어, 색상이 충분히 개선되지 않는 한계점과 밝기에 비해 색상이 빠져 보이는 wash-out 현상이 발생하는 문제점이 있다.

따라서 본 논문은 외부 조도에 적응적으로 밝기 및 색상을 모두 개선하는 시인성 향상 알고리즘을 제안한다. 이 때, 영상의 밝기 및 색상 정보를 독립적으로 향상하기 위해 두 정보가 분리되어 있는 YCbCr 도메인을 사용한다. 알고리즘은 딥러닝 모델을 활용하여 luminance (Y채널)을 개선하고, 기존의 색상 방정식을 변형한 formula를 통해 외부 조도로 인해 손실된 chrominance (Cb, Cr채널)를 계산하고 향상한다. 알고리즘을 통해 생성된 영상은 기존 기법과의 정성적 비교를 통해 해당 알고리즘이 시인성 개선에 뛰어난 성능을 보이고 있음을 확인할 수 있다.

II. 제안 기법

본 논문이 제안하는 알고리즘은 딥러닝을 활용한 luminance(Y 채널) 개선 모델과, chrominance(Cb, Cr 채널) 개선 방정식으로 구성되어 있다.

1. Luminance 개선 모델

외부 조도에 적응적으로 영상의 luminance를 개선하기 위해, 그림 1의 딥러닝 모델을 제안한다. 모델의 네트워크는 입력 영상의 전역 및 지역적인 특성을 추출할 수 있는 U-Net^[5] 구조와, up-scaling에 의해 손실된 영상의 정보를 복원하기 위한 5개의 컨볼루션 레이어로^[6] 구성된다.

네트워크를 통해 생성된 luminance는 degradation model^[7]을 통해 학습된다. Degradation model $D_\alpha(I)$ 는 영상 I가 외부 조도 값 α (lux)에 의한 열화 현상을 시각화 한다. 해당 모델은 열화 현상으로 인해 감소되는 대비의 range를 조도 값에 따라 조절할 수 있다. 모델이 적용된 결과는 그림 1의 output과 같다. $D_\alpha(Y_{pred})$ 는 학습된 luminance Y_{pred} 가 실제 열화 되는 현상을 시각화 한다.

모델은 개선된 luminance의 열화 현상 $D_\alpha(Y_{pred})$ 와 원본 luminance Y_{in} 의 대비 차이가 최소화되도록 학습하도록 손실 함수 $L_{luminance}$ 를 제안한다. $L_{luminance}$ 는 두 손실항수 term으로 구성된다. 첫번째 term은, 전역 대비를 개선하기 위해 영상의 전역 분산을 학습하는 손실 함수이다. 두번째 term은, 지역적인 밝기 개선을 위해, 영상 평균 밝기에 대해

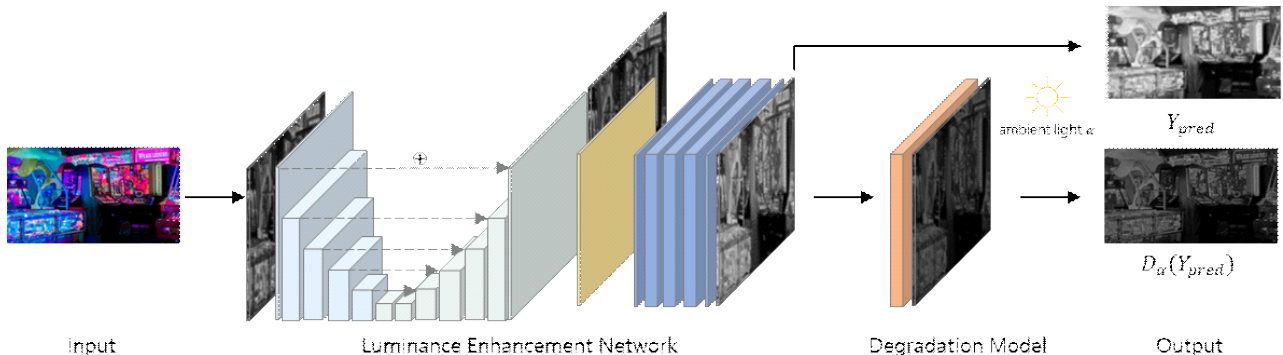


그림 1. Luminance 개선 모델의 프레임워크
 Fig. 1. Framework of luminance improvement model

추가적으로 향상이 필요한 영역 Y^{mask} 에 SSIM^[8] loss를 적용하는 손실 함수이다. Y^{mask} 는 원본의 평균 밝기보다 어두운 원본의 영역을 dark영역, 열화 모델이 표현할 수 있는 밝기보다 더 밝은 원본의 영역을 bright영역으로 정의된다. 두 특성의 영역으로 정의된 Y^{mask} 를 SSIM loss를 통해 학습함으로써, dark영역은 열화로 인해 영상의 밝기 정보가 손실되는 것을 최소화하고, bright영역은 열화 모델이 표현할 수 없는 값으로 인해 영상의 structure 정보가 손실되는 것을 최소화한다. 네트워크의 손실 함수는 수식 (1)과 같다.

$$L_{luminance} = \lambda_1 \left\{ 1 - \frac{2\sigma_{Y_{in}, D_\alpha(Y_{pred})} + \epsilon}{\sigma_{Y_{in}}^2 + \sigma_{D_\alpha(Y_{pred})}^2 + \epsilon} \right\} + \lambda_2 \{ 1 - SSIM(Y_{in}^{mask}, D_\alpha(Y_{pred}^{mask})) \} \quad (1)$$

여기서 λ_1 와 λ_2 는 각각 0.25, 1로 설정되었고, ϵ 은 0.01로 설정된다.

2. Chrominance 개선 방정식

Chrominance는 기존의 CbCr fusion 방정식^[9]을 응용한

chrominance 개선 방정식을 통해 외부 조도에 적응적으로 개선된다. 해당 방정식은 원본 chrominance와 열화 모델링이 적용된 원본 chrominance의 연산을 통해, 열화 현상으로 손실된 chrominance를 계산 및 복원한다. 방정식은 수식 (2)와 같다.

$$C_{pred} = C_{in} \left(1 - \frac{\left(\frac{D_\alpha(C_{in})}{C_{in}} - 1 \right) |D_\alpha(C_{in}) - \tau|}{2|C_{in} - \tau| - |D_\alpha(C_{in}) - \tau|} \right) \quad (2)$$

여기서 C_{in} 은 원본 영상의 cb 및 cr 채널의 값이며, τ 는 기존 방정식과 동일하게 127.5로 설정된다.

본 논문은 딥러닝 및 방정식을 활용하여 외부 조도에 적응적으로 영상을 개선하는 알고리즘을 제안한다. 알고리즘의 성능은 기존 기법들 과의 정성적 비교를 통해 평가된다.

III. 실험 및 결과

본 논문은 웹 크롤링을 통해 500장의 학습 데이터를 생



그림 2. 시인성 개선 알고리즘의 정성적 결과

Fig. 2. Qualitative Results of proposed visibility enhancement algorithm

성했고, 테스트 데이터는 웹 크롤링 및 Ward's HDR dataset^[10]을 사용한다. 다양한 조도 환경에 대한 실험을 위해, degradation model에 설정한 외부 조도 값은 각각 500lux, 2,000lux, 10,000lux이다.

그림 2는 기존 기법들과의 비교를 통한 정성적 평가이다. SEF 기법은 over-enhanced 현상으로 영상의 정보가 손실된다. 그리고 DATMO 기법은 첫번째 행에서 어두운 영상에 대해 over-enhanced가 발생하였고, 두번째와 세번째 행에서는 chrominance가 충분히 복원되지 않는 단점이 있다. 반면, 논문이 제안하는 알고리즘은 artifact 없이 luminance와 chrominance가 적절히 개선되었다. 또한, $D_{\alpha}(I_{ours})$ 와 원본과의 비교를 통해, 열화 된 영상이 원본의 정보를 최대한 보존하고 있음을 확인할 수 있다.

IV. 결론

본 논문은 딥러닝을 사용하여 제한된 대비 영역 안에서 영상의 정보를 보존함과 동시에 향상된 luminance 정보를 생성하고, 외부 조도 값에 알맞은 선명한 chrominance 정보를 생성하여, 강한 조도 아래에서의 시인성 향상에 기여한다.

참고 문헌 (References)

- [1] A. Reza, "Realization of the contrast limited adaptive histogram equalization (CLAHE) for real-time image enhancement", Journal of VLSI signal processing systems for signal, image and video technology, Vol. 18, No.1, pp.35-44, 2004.
- [2] C. Hessel and J. Morel, "An extended exposure fusion and its application to single image contrast enhancement", Proceedings of the IEEE/CVF Winter Conference on Applications of Computer Vision, pp. 137-146, 2020.
doi: <https://doi.org/10.1023/B:VLSI.0000028532.53893.82>
- [3] L. Wang and C. Jung, "Surrounding adaptive tone mapping in displayed images under ambient light", IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), pp.1992-1996, 2017.
doi: <https://doi.org/10.1109/WACV45572.2020.9093643>
- [4] R. Mantiuk, S. Daly and L. Kerofsky, "Display adaptive tone mapping", ACM SIGGRAPH, pp.1-10, 2008.
doi: <https://doi.org/10.1145/1399504.1360667>
- [5] O. Ronneberger, P. Fischer and T. Brox, "U-net: Convolutional networks for biomedical image segmentation", International Conference on Medical image computing and computer-assisted intervention, pp. 234-241, 2015.
doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-24574-4_28
- [6] W. Wang, C. Wei, W. Yang, and J. Liu, "GLADNet: Low-Light Enhancement Network with Global Awareness, IEEE international conference on automatic face & gesture recognition", pp. 751-75. 2018
doi: <https://doi.org/10.1109/FG.2018.00118>
- [7] J. Bauer, "Effiziente und optimierte Darstellungen von Informationen auf Grafikanzeigen im Fahrzeug: Situations adaptive Bildaufbereitungs algorithmen und intelligente Backlightkonzepte", 2013.
- [8] Z. Wang, A. Bovik, H. Sheikh and E. Simoncelli, "Image quality assessment: from error visibility to structural similarity", IEEE transactions on image processing, vol. 13, no. 4, pp. 600-612, April 2004.
doi: <https://doi.org/10.1109/TIP.2003.819861>
- [9] K. Prabhakar and R. Babu, "Ghosting free multi-exposure image fusion in gradient domain", IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), pp. 1766-1770, 2016.
doi: <https://doi.org/10.1109/ICASSP.2016.7471980>
- [10] E. Reinhard, W. Heidrich, P. Debevec, S. Pattanaik, G. Ward, and K. Myszkowski, "High dynamic range imaging: acquisition, display, and image-based lighting", Morgan Kaufmann, 2010.