

레터논문 (Letter Paper)

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

<https://doi.org/10.5909/JBE.2022.27.5.812>

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

햇빛 아래에서 향상된 시인성을 위한 Piece-wise Linear Enhancement Curves 기반 영상 개선

이 준 민^{a)}, 송 병 철^{a)*}

Image Enhancement based on Piece-wise Linear Enhancement Curves for Improved Visibility under Sunlight

Junmin Lee^{a)} and Byung Cheol Song^{a)*}

요 약

햇빛 아래에서 디지털 기기에 표시되는 영상은 일반적으로 원본 영상보다 어둡게 인식되어 시인성이 저하된다. 더 나은 시인성을 위해 서, 주변광에 적응적인 전역 휘도 보상 혹은 톤 매핑이 필요하다. 하지만 기존의 기법들은 색차 보상에 한계가 존재하고, 무거운 계산 비용 때문에 실제 환경에서 활용하는데 어려움이 존재한다. 이를 해결하기 위해 본 논문에서는 휘도와 색차를 모두 보상하는 Piece-wise Linear Enhancement Curves (PLECs) 기반 영상 개선 기법을 제안한다. 이때, PLECs는 딥러닝을 통해 회귀되며, lookup table 형식으로 구현되어 실시간 동작이 가능하다. 실험 결과 제안 방법이 낮은 계산 비용으로 원본 영상 대비 더 나은 시인성을 가짐을 보인다.

Abstract

Images displayed on a digital devices under the sunlight are generally perceived to be darker than the original images, which leads to a decrease in visibility. For better visibility, global luminance compensation or tone mapping adaptive to ambient lighting is required. However, the existing methods have limitations in chrominance compensation and are difficult to use in real world due to their heavy computational cost. To solve these problems, this paper propose a piece-wise linear curves (PLECs)-based image enhancement method to improve both luminance and chrominance. At this time, PLECs are regressed through deep learning and implemented in the form of a lookup table to real-time operation. Experimental results show that the proposed method has better visibility compared to the original image with low computational cost.

Keyword : ambient-lighting, visibility improvement, piece-wise linear curve, look up table

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 5, 2022; Accepted September 5, 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

디스플레이 및 영상 처리 기술의 발전에도 불구하고 햇빛 아래에서의 시인성 저하는 여전히 존재한다. 이를 해결하기 위해 주변광에 적응적으로 시인성을 개선하는 알고리즘이 제안되었다. 대표적으로, Light adaptation 모델 기반의 전역 휘도 대비 향상 및 조도에 따른 색차 (CIELAB space의 a^*, b^* 채널) 개선 기법^[1]과 디스플레이 적응형 톤 매핑을 사용한 piece-wise linear curve 기반 휘도 보상 및 desaturated color-to-luminance ratio^[2]를 사용한 색상 (RGB) 보상 기법^[3]이 있다. 그러나 이러한 기법들은 color cast 문제를 겪거나^[4] 색상 채널의 향상된 휘도 비율만 반영하여 색상 정보를 충분히 개선하지 못한다. 따라서 본 논문은 주변광에 적응적으로 영상의 휘도와 색차 (HSV space의 S 채널) 모두 보상하여 영상의 전역 대비를 향상하는 Piece-wise Linear Enhancement Curves (PLECs)을 제안한다. 이때, PLEC의 학습셋은 Convolutional Neural Network (CNN)을 활용하여 생성한다.

II. 제안 기법

제안 기법은 CNN을 활용하여 생성한 pseudo-GT dataset (I_p)을 이용하여 PLECs을 학습한다. 여기서 더 나은 시인성을 위해 휘도와 색차에 대한 PLECs이 각각 회귀 된다.

PLECs을 학습하기에 앞서, 다양한 주변광에 최적화된 영상 데이터셋이 필요하다. 하지만, 이러한 목적에 부합하는 데이터셋은 존재하지 않고 이를 위해 데이터셋을 수동으로 생성하는 것은 비효율적이다. 따라서, U-Net 기반 CNN을 활용하여 주변광에 대해 적절하게 개선된 pseudo-GT (I_p)를 생성한다. 이때, 열화 모델 (D)^[5]을 활용하여 디스플레이 휘도 레벨에 대한 주변광의 비율에 따라 영상의 열화 정도를 예측한다. CNN으로 개선된 영상 (I_p)에 열화 모델링을 적용한 결과 ($D(I_p)$)가 원본 영상 (I_s)과 최대한 비슷한 대비를 갖도록 학습되며, 손실함수는 SSIM loss가 활용된다. 이는 그림 1. (a)에서 확인할 수 있다.

Pseudo-GT (I_p)를 생성한 후, 이를 활용하여 PLECs을 학습한다. PLECs의 학습 구조는 그림 1. (b)에서 확인할 수 있다. PLECs은 감마 보정을 위한 곡선과 유사하며, PLECs으로 개선된 영상 (I_{PLEC})이 I_p 와 유사하도록 학습된다. PLECs은 각 채널의 범위를 동등하게 8개 구간으로 나누어, 각 구간에 대해 최적의 기울기를 갖도록 학습된다. 이때, 영상의 휘도만 개선하면 전체 밝기의 증가로 인해 출력 영상이 wash-out 되고, 색상 채널 간의 상관관계를 고려하지 않으면 색상 왜곡이 발생할 수 있다. 이러한 점을 고려하여 HSV 색상 채널을 사용하여, H에 대한 정보는 유지하면서 V와 S 채널에만 PLECs 회귀를 적용한다. 주변광에 적응적으로 학습된 PLECs은 그림 1. (c)에서 확인할 수 있다. 이러한 PLEC 회귀를 위한 손실함수는 HSV domain에서 I_p 와 I_{PLEC} 사이의 color distance로 정의된다. 이때, HSV

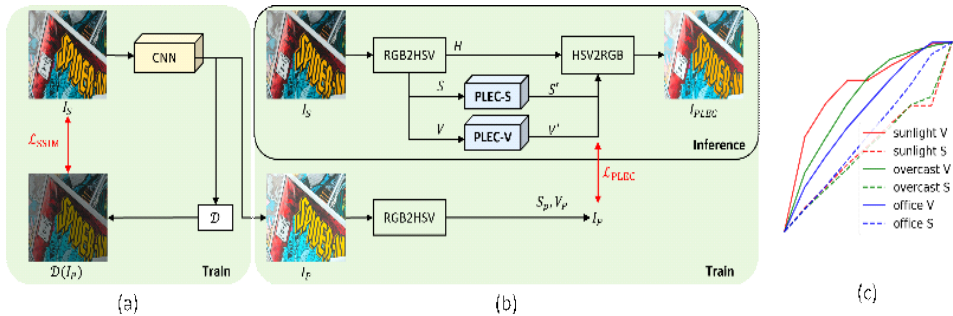


그림 1. (a) Pseudo-GT 생성 (b) PLECs 학습 프레임워크 (c) 학습을 통해 회귀 된 PLECs
 Fig. 1. (a) Pseudo-GT generation (b) Framework of PLECs training (c) Regressed PLECs through training

$$L_{PLEC} = \left\{ (V_p - V')^2 + S_p^2 V_p^2 + S'^2 V'^2 - 2S_p S' V_p V' \cdot \cos(H_p - H) \right\}^{1/2} \quad (1)$$

cone 모델 좌표를 데카르트 좌표 ($x = sv \cdot \cosh, y = sv \cdot \sinh, z = v$)로 변환하여 Euclidean distance를 계산하면 손실함수는 수식 (1)과 같이 표현될 수 있다.

여기서 H_P, S_P, V_P 는 의 H, S, V 채널을 나타내고, H 는 원본 영상의 H 채널, S', V' 는 I_{PLEC} 의 S, V 채널을 나타낸다.

일반적으로 영상의 전반적인 밝기에 따라 주변광에 의한 열화 정도가 달라지며, 이에 따라 개선 정도도 변화한다. 이러한 특성을 고려하여 데이터셋의 영상 평균 밝기를 계산하여 dark (D), medium (M), bright (B) 3개의 클래스로 분류한다. 이때, 분류 색선은 0부터 255까지의 구간을 동일하게 3개의 구간으로 나눈다.

III. 실험 결과

Pseudo-GT 생성 및 PLECs의 학습을 위한 데이터셋은 웹 크롤링으로 수집되었다. 학습셋은 dark, medium, bright 클래스 각각 100, 300, 100장으로 구성했으며, 평가셋은 웹 크롤링과 HDR 데이터셋^[6]을 활용하여 각각 20, 60, 20장으로 구성했다. 또한 이 실험에서는 ‘sunlight’, ‘overcast’, ‘office’의 총 3가지 주변광 조건을 고려한다.

정량적 결과 평가를 위해, ‘sunlight’ 조건에서 열화된 영상들과 원본 영상(I_S)을 비교하며, 이때 평가 지표로는 Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR), Structural Similarity Index Measure (SSIM), Learned Perceptual Image Patch Similarity (LPIPS)를 활용한다. 표 1.은 $D(I_{PLEC}), D([3]),$ 그리고 $D(I_S)$ 가 I_S 와 얼마나 유사한지에 대한 점수를 보여준다. 이때, $D(I_{PLEC})$ 은 $D(I_S)$ 대비 각 평가 지표에서 1.12dB,

0.29, 0.10 만큼, $D([3])$ 대비 0.84dB, 0.15, 0.02 만큼 더 나은 성능을 보여준다. 또한, 실행속도의 경우, NVIDIA RTX 2080에서 1M 픽셀당 1.7ms의 속도를 보인다.

정성적 결과의 경우, D 를 사용하여 시뮬레이션했으며, 그림 2.를 통해서 확인할 수 있다. 결과 영상을 보면, 휘도와 색차를 모두 보상하고, 주변광에 따라 적응적으로 영상을 개선하는 것을 확인할 수 있다.



그림 2. 주변광 조건에 적응적으로 개선된 결과 영상
Fig. 2. Results image adaptively improved to ambient-lighting conditions

IV. 결론

본 논문에서는 다양한 주변광에 적응적으로 시인성을 향상하기 위한 효율적인 영상 개선 기법을 제안한다. Piece-wise linear enhancement curves를 통해 실시간으로 휘도 및 색차를 효과적으로 보상하여 영상의 시인성을 개선한다. 따라서 제안된 방법은 주변광에 강인한 모바일 디스플레이를 위한 좋은 소프트웨어 해결책이 된다.

표 1. ‘sunlight’ 환경에서의 정량적 결과. 여기서 D, M, B는 각각 dark, medium, bright dataset을 의미하며, 굵은 표시의 경우 가장 높은 성능을 나타낸다

Table 1. Quantitative results in ‘sunlight’ condition. Here, D, M, and B denote dark, medium, bright classes, respectively. Bold indicate best performance

| Metric | PSNR (dB) | | | SSIM | | | LPIPS | | |
|---------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | D | M | B | D | M | B | D | M | B |
| $D(I_S)$ | 15.32 | 8.18 | 4.26 | 0.24 | 0.27 | 0.44 | 0.40 | 0.45 | 0.42 |
| $D([3])$ | 17.45 | 8.31 | 3.16 | 0.62 | 0.43 | 0.28 | 0.18 | 0.34 | 0.58 |
| $D(I_{PLEC})$ | 16.94 | 9.40 | 4.58 | 0.77 | 0.57 | 0.47 | 0.20 | 0.33 | 0.47 |

참 고 문 헌 (References)

- [1] J. Kim, C. Son, C. Lee and Y. Ha, "Illuminant Adaptive Color Reproduction Based on Lightness Adaptation and Flare for Mobile Phone.", International Conference on Image Processing, Atlanta, GA, USA, pp. 1513-1516, 2006.
doi: <https://doi.org/10.1109/ICIP.2006.312570>
- [2] Schlick, Christophe, "Quantization Techniques for Visualization of High Dynamic Range Pictures.", Photorealistic Rendering Techniques. Springer, Berlin, Heidelberg, Germany, pp.7-20,1995.
doi: https://doi.org/10.1007/978-3-642-87825-1_2
- [3] R. Mantiuk, S. Daly, and L. Kerofsky, "Display adaptive tone mapping.", ACM SIGGRAPH 2008 papers, No.68, pp.1-10, August, 2008.
doi: <https://doi.org/10.1145/1399504.1360667>
- [4] H. Su, C. Jung, S. Wang and Y. Du, "Readability Enhancement of Displayed Images Under Ambient Light," IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, Vol. 28, No. 7, pp. 1481-1496, July 2018.
doi: <https://doi.org/10.1109/TCSVT.2017.2676881>
- [5] Jan. Bauer, "Effiziente und optimierte Darstellungen von Informationen auf Grafikanzeigen im Fahrzeug: Situationsadaptive Bildaufbereitungsalgorithmen und intelligente Backlightkonzepte.", KIT Scientific Publishing, Germany, 2013.
- [6] E. Reinhard et al., "High dynamic range imaging: acquisition, display, and image-based lighting.", Morgan Kaufmann, Burlington, Massachusetts, USA, 2010.