

라플라스 피라미드 융합을 이용한 역광영상의 개선 방법

An Enhancement Technique for Backlit Images using Laplace Pyramid Fusion

김진현^{*★}

Jin Heon Kim^{*★}

Abstract

There is a limit to improving the image quality through global processing of images taken under backlighting because too bright and dark parts are mixed in one scene. This paper introduces a method to improve the quality of a photo by making two virtual images that improve the dark and bright areas of a backlit photo, and fusing them with the original image into a Laplacian pyramid. The proposed method reduces the computational burden by using histogram stretching and gamma transformation that can be simplified with LUT when creating the two virtual images. In addition, in order to obtain a color-enhanced image, contrast conversion was performed only on the luminance using the HSV coordinate system. The proposed technique showed its effectiveness by calculating several NIQA indicators using standard image data sets.

요약

역광 조명에서 촬영된 영상은 한 장면에서 지나치게 밝은 부분과 어두운 부분이 혼재되어 있어서 이를 전역적인 처리로 화질을 개선하는데는 한계가 있다. 본 논문은 역광 촬영된 사진을 각각 어두운 영역과 밝은 영역을 개선하는 두 장의 가상 영상으로 만들어 이를 원본 영상과 함께 라플라시안 피라미드로 융합하여 사진의 품질을 개선하는 방법에 대해 소개한다. 제안된 기법은 두 장의 가상 영상을 만들 때 LUT로 단순화할 수 있는 히스토그램 스트레칭과 감마변환을 활용하여 연산 부담을 저감하였다. 또한 색상 강화된 영상을 얻기 위해 HSV 좌표계를 사용하여 휘도에 대해서만 명암 변환을 실시하였다. 제안된 기법은 표준 영상 데이터 세트를 사용하여 몇 가지의 NIQA 지표를 산출하여 그 효용성을 보였다.

Key words : Image Enhancement, Backlit, Back Light, Laplacian Pyramid, NIQA

1. 서론

카메라 촬영은 이제는 우리들의 일상생활 중의 하나가 되었다. 그러나 역광(backlit 혹은 backlight) 조명의 경우에는 피사체에 비치는 부족한 조명 때문에 자세한 내

용을 알아보기 어렵고 배경은 너무 밝은 빛 때문에 유사한 상태가 발생한다.

이러한 문제를 포함한 화질개선 기술은 영상처리의 태동기부터 중요한 장르로 자리 잡고 왔다[1][2]. 그중 아직도 많이 사용되는 기술로는 감마 변환(Gamma Transform)

* Professor, Dept. of Computer Engineering, Seokyeong University

★ Corresponding author

E-mail: jinheon@skuniv.ac.kr, Tel: +82-2-940-7747

※ Acknowledgment

This Research was supported by Seokyeong University in 2020.

Manuscript received Jun 13, 2022; revised Jun. 21, 2022; accepted Jun 23, 2022

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

[3], 히스토그램 스트레칭(Histogram Stretching) 등을 들 수 있다. 그러나 이러한 처리는 모두 전역적 처리를 하고 있어 밝거나 어두운 부분 모두 효과적이지는 않다. 이러한 문제를 어느 정도 해소해 주는 히스토그램 평활화(HE)와 그 파생형 알고리즘[4]들이 많이 출현하였다. BBHE[5]를 시점으로 이러한 기술은 HE를 지역적으로 처리하는 LHE[6]와 CLAHE[7]로 발전하게 되었다.

이밖에도 사람의 시각 특성을 모방한 레티넥스 이론[8]에 기반한 SSR[9]과 MSRCR[10][11] 등이 시도되었다. 또한 주파수 평면의 접근 방법으로는 푸리에 변환으로 해석한 호모모픽 필터링[12]과 멀티 스케일을 사용한 웨이블릿 필터링 기법[13] 등이 파라미터 의존성이 있는 단점이 있지만 나름 만족스러운 결과를 보이고 있다. 최근에는 머신러닝을 활용한 기법[14][15]들이 많이 제안되었고 매우 우수한 성능을 보이고 있고 앞으로도 계속 발전할 것으로 예측된다.

지금까지의 시도들이 수학, 과학 이론 혹은 방대한 데이터의 학습을 통해 최적해를 찾아 나가고 있는데 반해 직관적인 방법에 그 해결책을 찾는 시도로서 여러 장의 장면을 합성해서 해결하는 융합(fusion) 기법이 있다. 영상 융합은 여러 장의 사진을 하나로 표현하는 기술로서 그중 가장 성공적인 방식으로는 [16][17]에서 제시한 방식을 들 수 있다. 이 방법은 각 영상에서 가장 선호되는 화소의 가중치를 라플라시안 피라미드[18]의 해당 위치에 부여하여 융합하는 것으로 여러 단계의 해상도에서 융합을 시도하기 때문에 휘도가 역전되는 융합 부작용(halo effect)이 드러나지 않는 장점이 있다[17]. 원래 이 기술은 여러 가지 노출 속도로 촬영한 광대역(HDR)[19] 영상 데이터를 한 장의 사진으로 표현하는 문제에 대한 해법으로 제시된 것이다.

본 논문에서는 피라미드 융합을 화질의 개선 특히 역광 조명을 받은 사진의 품질을 개선하는 데 사용하고자 한다. 한 장의 사진을 조도에 따라 품질이 개선된 2장의 사진으로 만들어 이를 융합하여 역광사진의 화질을 개선하는 것이다. 이렇게 융합의 재료로 쓰이는 새로 생성된 영상들을 본 논문에서는 편의상 '가상 영상(virtual image)'이라 칭하기로 한다. [20]은 이런 연구 기법의 비교적 초창기의 연구였는데 감마 변환으로 생성한 다수의 가상 영상을 융합하는 방식으로 화질개선 효과를 얻을 수 있음을 보였다. 최근의 연구[21]에서는 가상 영상을 만드는 방법으로 역 톤매핑, 로그 변환, 레티넥스 방식, PCA 기법, 히스토그램 분할 기법, 선형 가중 융합, MSRCR, 카메라 응답 모델, 카메라 응답함수 등을 비롯한 다양한 기법을

정리하면서 융합기법의 장단점에 대해 기술하였다.

결론적으로 융합에 의한 개선기법은 단순하면서도 효과가 좋은 것으로 평가하고 있으나 2장 혹은 그 이상의 가상 영상을 만드는데 복잡도가 높아 실시간 구현이 어려워 실용적으로 대중화하기 어렵다고 평가하고 있다. 이에 따라 만들어야 할 가상 영상의 수를 최소화하고 연산 부담이 적은 효율적인 가상 영상의 생성 기법에 대한 연구가 필요하다고 할 수 있음을 알 수 있다.

본 연구의 주된 연구 방향은 (1) 융합에 사용되는 각 가상 영상이 필요한 조도 영역의 대조비를 잘 강화하도록 하여 가상 영상을 적게 만들어 낼 것과 (2) 그 가상 영상을 만드는데 가능한 적은 연산 시간이 소요되고 구현이 쉬운 단순경량화 기법을 제시하는 것이다. 본 논문에서는 II절에서 제안된 방법에 대해 소개하고, III절에서 알려진 데이터 세트에 대해 적용해서 얻는 실험 데이터를 관찰해 보고, IV절에서 결론을 맺기로 한다.

II. 제안된 기법

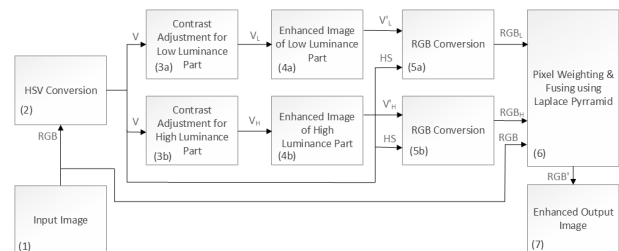


Fig. 1. Block Diagram of the Proposed Scheme.

그림 1. 제안된 기법의 블록 다이어그램

제안된 기법의 데이터 흐름도를 그림 1에 보였다. 그림에서 괄호로 표기한 번호는 데이터 흐름의 순서이다. 열은 초록색 블록(2/3/5/6)이 데이터 처리 블록이며, 1/4/7번 블록은 데이터이다. 데이터 흐름은 화살표 선으로 표기하였으며, 해당 신호의 이름은 블록 진입단에 초록색으로 표기하였다. 각 블록의 번호를 따라 처리 과정을 설명하면 다음과 같다.

(1) 역광노출 촬영으로 품질이 저하된 영상(RGB)이 입력된다.

(2) HSV 평면으로 변환한다. 화질개선을 어떤 좌표평면에서 실시할지에 대해서 [22]에서 RGB, CIELAB, NTSC, YCbCr, HSV 좌표계에서 실험한 결과 HSV가 색채 강조에 가장 강력한 효과가 있었다고 기술하고 있다. 본 연구에서도 HSV 좌표계를 사용하였다. HSV 좌표계는 휘도(Luminance, Brightness)가 강해도 시각적

으로 강한 채도를 잃지 않는 특성이 있다. 단, 지나친 휘도 변환을 하면 숨겨진 색상이 드러나는 일이 있을 수 있다. 여기서는 그러한 극단적인 휘도 변환은 하지 않으므로 현실적으로 사용 가능하다고 판단하였다.

(3) 원본 영상의 휘도에 대해 명암 변환을 행한다. 이는 아래에 보인 매트랩(Matlab) 함수 표현과 같이 히스토그램 스트레칭과 감마 변환을 사용하였다.

$$V_L = imadjust(V, [0.0 \ L_1], [0.0 \ 1.0], \gamma_1);$$

$$V_H = imadjust(V, [L_2 \ 1.0], [0.0 \ 1.0], \gamma_2);$$

V_L 은 입력 영상의 휘도 V 의 어두운 부분은 밝게 개선하며, V_H 는 밝은 부분에서 포화에 이른 화소들을 어렵게 만들어 강한 색조를 띄면서 영상의 세부 내용을 강조하는 역할을 담당한다. 그림 2는 사용된 파라미터를 $L_1 = 0.6$, $L_2 = 0.4$, $\gamma_1 = 0.3$, $\gamma_2 = 2.0$ 로 설정했을 때의 위 함수들의 변환 내용을 그래프로 보인 것이다.

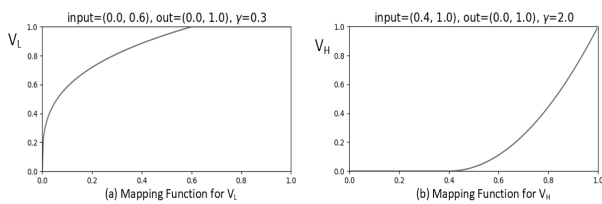


Fig. 2. Mapping Function of the Luminance Adjustment.
그림 2. 휘도 조정 매핑 함수

이 변환 연산은 미리 변환 테이블을 만들어두고 참조하여 변환하거나 LUT(Look Up Table)을 설치하여 HW로 처리할 수 있는 구조라면 고속으로 처리하거나 소용량의 메모리로 실시간 처리로 구현 가능한 장점이 있다.

일반적인 히스토그램 스트레칭에서는 영상의 특정 휘도에 대한 변환 값을 0(V_L 의 경우) 혹은 1(V_H 의 경우)로 포화시켜버려 영상 손괴를 일으키게 된다. 그러나 본 연구에서는 여러 영상에서 각 영상에서 선호하는 화소를 가중치를 두어서 융합하기 때문에 손괴된 화소는 낮은 가중치를 부여받게 만들 수 있다. 이 때문에 강한 대비를 갖는 영상을 부담없이 생성할 수 있다. 실제로는 입력 영상과 비슷한 수준의 화소는 오히려 강력한 대비를 갖는 영상의 융합에 방해 요소가 되기도 한다.

(4) 2개의 강한 대비 특성을 갖는 휘도 영상 V'_L , V'_H 가 만들어진다. 각 영상에는 하얗게 혹은 검게 포화된 화소를 적지 않게 보유할 수 있으나 융합과정에서 이러한

포화 화소는 반영되지 않게 선호 화소 기준을 정해 이를 회피할 수 있다.

(5) 강한 대비의 휘도 영상 V'_L , V'_H 와 (2)의 색조(Hue), 채도 정보를 받아 HSV 좌표계의 영상을 RGB_L , RGB_H 영상으로 변환한다.

(6) 대비가 강화된 2개의 RGB 영상과 원본 RGB 영상을 바탕으로 각 영상에 대한 선호도 가중치 맵(map)을 만든다. 다양한 시도가 있을 수 있으나 본 연구에서는 [17]에서 제시한 식 (1)~(3)에 기술된 3개 지표를 선호 화소 평가지표로 사용하였다. 제시된 지표의 명명에는 이론의 여지가 있을 수 있지만 여기서는 원문에 충실하여 그 표현을 그대로 사용하기로 한다.

$$Contrast = \left| \sum_{x=-1}^{+1} \sum_{y=-1}^{+1} C_{xy} \cdot P_{xy} \right| \quad (1)$$

여기서 C_{xy} 는 라플라스 필터의 계수를 말하며, P_{xy} 는 해당 위치의 화소값을 의미한다. 이 지표는 관심 화소의 2차 미분 에지의 절댓값 크기를 말하는 것으로 사실상 영상정보로서의 가치를 평가하고 있다.

$$Saturation = \sqrt{(R-\mu)^2 + (G-\mu)^2 + (B-\mu)^2} \quad (2)$$

여기서 μ 는 RGB의 평균값이며, 이 지표는 색상의 강도를 간접적으로 표하고 있다.

$$\text{Well Exposedness} = E_R \cdot E_G \cdot E_B \quad (3)$$

여기서 E_x 는 식 (4)와 같이 화소값 P 가 중심(0.5)에 가까우면 커지고, 멀어지면 작은 값을 갖는 가우스 함수를 사용한다.

$$E_x = \exp(-(P-0.5)^2/2\sigma^2), \sigma = 0.2. x = R, G, B \quad (4)$$

이 가우스 함수는 계조값이 중심에 가까이 있을수록 큰 값의 가중치를 부여하는 작용을 한다.

이렇게 만들어진 3개의 지표들은 모두 곱해져 종합적인 가중치 맵이 만들어지고 이들은 생성된 가상 영상 RGB_L , RGB_H 과 RGB (원본 영상)에 대해 정규화 과정을 거쳐 가중치 맵이 만들어진다. 이 가중치 맵은 RGB 각각의 평면에 대해 각 영상의 라플라시안 피라미드 곱해져 복원 과정을 거쳐 출력 (7)의 개선된 영상 RGB' 로 만들어진다. 피라미드 융합과정은 [17]에서 소개되어 있으므로 더 이상의 상세한 기술은 생략하기로 한다.

III. 실험 결과 및 분석

제안한 알고리즘의 적절성을 검토하기 위해 역광 조명에서 찍힌 사진들을 대상으로 실험한 결과를 몇 가지 알고리즘과 함께 비교하여 살펴보기로 한다.

실험에 사용한 영상은 [22]에서 사용한 34개의 backlit 영상 실험 세트이다. 이 파일은 [23]에서 다운로드받을 수 있다. 제안된 알고리즘은 일반적인 다른 알고리즘과의 성능 차이를 관찰하기 위해 전역적 처리를 행하는 HE와 화면을 소규모의 블록으로 나누어 적응적 HE를 행하는 [7]의 CLAHE 알고리즘을 적용한 결과와 비교해서 보이고자 한다. 실험 결과를 공유하기 위해 이를 매트랩 함수로 표현해 보면 아래와 같다.

$$\begin{aligned} V_{HE} &= \text{histeq}(V); \\ V_{CLAHE1} &= \text{adaphthsteq}(V, 'ClipLimit', 0.005); \\ V_{CLAHE2} &= \text{adaphthsteq}(V, 'ClipLimit', 0.02, \dots \\ &\quad 'Distribution', 'rayleigh'); \end{aligned}$$

CLAHE1, CLAHE2는 8×8 블록에 대해 처리하는 등의 기본 설정은 같다. 다만 대조비 강도를 지정하는 상한 값을 각각 0.005와 0.02로 정하였다. 생성하는 휘도의 분포는 CLAHE1은 디폴트인 설정인 'uniform'을 사용하여 처리된 휘도가 균등한 분포를 가질 것을 지향하고, CLAHE2는 종(bell) 모양의 'rayleigh' 함수를 사용하여 중앙값을 선호한다는 점에서 차이가 있다.

본 연구에서는 참조 영상이 제공되지 않으므로 성능상 평가를 정량화하기 위하여 다음과 같은 NIQA(No-reference Image Quality Assessment) [21] 지표를 통해 관찰하기로 한다.

(1) CF(colorfulness)[24][25]: 화소들이 색상이 강하게 표현되었는지 나타낸다. 클수록 강한 색상임을 의미한다. 정규화되어 있지 않다.

(2) EBCM(Edge Based Contrast Measure)[26]: 영상에 에지 성분에 얼마나 있는지를 수치화한 것으로 클수록 에지 성분이 많음을 뜻한다. 정규화되어 있지 않다.

(3) SD(Standard Deviation): 매트랩 std20 함수를 사용하였다. 영상 전체와의 평균과의 편차를 측정한다.

(4) NIQE(Natural image quality evaluator)[27][28]: 영상이 얼마나 자연스러운가를 나타낸다. 정규화되어 있지 않으며 0이면 화질이 손괴되지 않고 자연 촬영된 원본 영상에 가까움을 뜻한다.

우선 CF 지표만을 기준으로 [23]의 데이터 세트 중에서 7번과 15번 영상을 원본과 처리한 결과를 그림 3에

보였다. 그림 2(e)의 영상과 CF 값은 해당 논문에서 발췌한 것이다. (e)와 제안된 기법(f)의 결과는 눈으로는 비슷해 보이나 CF의 값은 제안된 기법의 것이 더 큰 것을 알 수 있다.



Fig. 3. Processing Result of picture no. 7 in data set [23].
그림 3. 데이터 세트 [23]의 7번 사진 처리 결과

그림 4는 기존 방법으로는 가장 결과가 우수해 보이는 CLAHE2의 방법만 (b)에 보였다. 그러나 과장된 표현으로 육안으로는 그리 선호되지 않는다. 그림 3의 경우처럼 [22]의 결과와 제안된 기법이 비슷해 보이지만 제안된 기법이 CF 결과가 더 우수함을 알 수 있다.



Fig. 4. Processing Result of picture no. 15 in data set [23].
그림 4. 데이터 세트 [23]의 15번 사진 처리 결과

좀 더 객관적 평가를 위해 데이터 세트[23]의 34개 영상에 대해 전술한 4개의 NIQA 평가지표를 구해 평균한 결과를 그림 5에 보였다. 편의상 위에서부터 살펴보면 예지의 양과 관계된 EBCM과 정보의 양을 나타내는 엔트로피는 큰 차이를 보이지 못하였다. 이는 원본의 품질을 그대로 유지하고 있는 것으로 해석된다. 반면 색상의 강도를 나타내는 CF는 별도의 색상 강화처리를 사용하지 않았는데도 원본이 28.9인데 반해 41.9로 44.9%의 증진 효과를 보였다. 이는 2가지 측면으로 해석할 수 있는데 하나는 어두운 부분은 스트레칭으로 밝게 만들면서 지니고 있던 색상 성분이 나타난 것이며, 또 하나는 지나치게 밝아 색상이 바랜 부분을 스트레칭과 감마($\gamma=2$)로 저조도 영역으로 내려보내면서 색상 성분이 복원된 것으로 판단된다. 이런 결과를 얻은 이유는 제안된 가상 영상의 생성법과 HSV 좌표계의 사용이 주요하게 작용했기 때문인 것으로 판단된다.

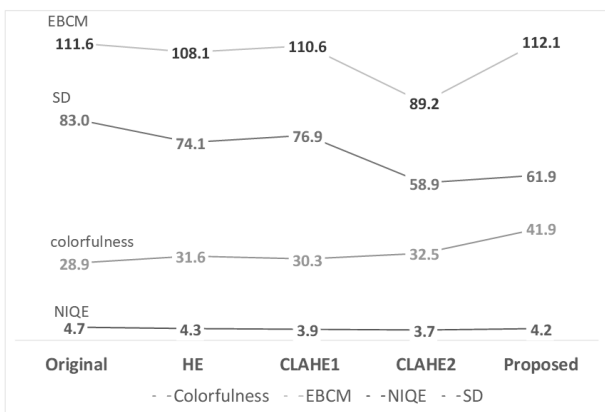


Fig. 5. NIQA Index applied to data set [23].
그림 3. 데이터 세트 [23]에 대해 적용한 NIQA 지표

NIQE 값은 원본 4.7에서 제안한 기법이 4.2로 낮아졌다. NIQE는 0에 가까울수록 자연에서 취득한 영상과 가까움을 의미하므로 제안된 기법이 원본보다 자연에서 취득한 사진으로 평가되었음을 알 수 있다. 원본 사진이 모두 역광사진이라 품질이 좋지 않아 원본의 NIQE 평가가 낮고 다른 알고리즘도 모두 원본보다는 우수하였다. 다만, 과도한 강조를 수반하는 CLAHE가 3.7로 더 좋은 점수를 받은 것은 아직 NIQE가 원래 의도만큼 사람의 시각처럼 판단하고 있지는 못하다는 것을 시사한다고 판단된다.

본 논문의 목표는 아니지만 역광영상 뿐만 아니라 일반 저조도 영상에 대한 개선 효과가 유지되는지를 살펴보기 위해 MIT-5K[29]에 제시된 MIT-5K 영상 중 해당

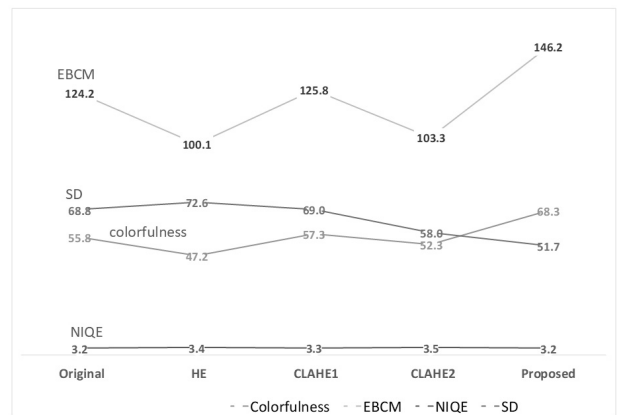


Fig. 6. NIQA Index applied to data set [29].
그림 6. 데이터 세트 [29]에 대해 적용한 NIQA 지표

논문에서 무작위로 선정한 20개의 저조도 영상에 적용한 결과를 그림 6에 보였다. 해당 영상 세트는 역광 촬영 부분은 없고 정상 조명에서 촬영한 영상을 프로그램으로 대조비를 낮춘 인위적인 영상이다.

해당 논문[29]은 저조도에 대비한 영상 개선 알고리즘이기 때문에 NIQE=2.8562로 나와 원본보다 품질이 상승한데 반해 본 논문의 제안 기법은 원본과 같은 수준인 NIQE=3.2098로 나왔다. 제안된 알고리즘은 역광영상을 개선하는 것을 목표로 하므로 어두운 부분과 밝은 부분을 중심으로 화질을 개선하지만 어떤 상황에도 대처할 수 있는 수준이 되기 위해서는 추가 연구가 필요한 것으로 판단된다.

IV. 결론

이상으로 역광 조명에서 촬영된 영상의 화질을 개선하는 방안으로 라플라시안 피라미드 융합을 사용할 때 새로 만들어 내는 가상 영상의 수를 가능한 줄이면서 각 가상 영상이 담당하는 조도 범위의 대조비를 강조하도록 하면서도 알고리즘의 구현을 LUT로 단순화하여 달성하는 방안에 대해 소개하였다. 제안된 기법은 비교적 단순한 처리로 수치적 평가지표에서 적절한 수준의 목표를 달성해 내었다고 판단된다.

제안된 방법은 잘 알려진 스트레칭 기법의 실제 적용에 생길 수 있는 문제를 피라미드 융합에서는 실패의 부담 없이 사용할 수 있다는 것을 밝힌 점에서 의미가 있다고 하겠다.

제안된 기법은 고정된 튜닝 파라미터($L_1, L_2, \gamma_1, \gamma_2$)를 사용하다 보니 역광영상에 대해서는 효율적이었지만, 저조도 영상에서는 역광영상만큼 효과적이지는 않았다.

본 연구에서 제안한 방법의 적용사례를 확장하기 위해서는 이 파라미터를 입력 영상의 상황에 맞게 연동시키는 연구가 앞으로 더 필요할 것으로 예상된다.

References

- [1] David C. C. Wang, Anthony H. Vagnucci and, C. C. Li, "Digital image enhancement: A survey," *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, vol.24 no.3, pp.363-381, 1983.
DOI: 10.1016/0734-189X(83)90061-0
- [2] Rafael Gonzalez and Richard Woods, *Digital Image Processing, 2nd edition*, Addison-Wesley Pub, 2002.
- [3] Rahman S, RahmanM M, Abdullah-Al-Wadud M, et al. "An adaptive gamma correction for image enhancement," *Eurasip Journal on Image and Video Processing*, vol.1, no.35, 2016.
DOI: 10.1186/s13640-016-0138-1
- [4] Manpreet Kaur, Jasdeep Kaur and Jappreet Kaur, "Survey of Contrast Enhancement Techniques based on Histogram Equalization," *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, vol.2 no.7, 2011.
DOI: 10.14569/IJACSA.2011.020721
- [5] Y.-T. Kim, "Contrast enhancement using brightness preserving bi-histogram equalization," *IEEE Trans. Consum. Electron.*, vol.43, no.1, pp.18, 1997. DOI: 10.1109/30.580378
- [6] B. Liu, W. Jin, Y. Chen, C. Liu, and L. Li, "Contrast enhancement using non-overlapped sub-blocks and local histogram projection," *IEEE Trans. Consum. Electron.*, vol.57, no.2, pp.583-588, 2011. DOI: 10.1109/TCE.2011.5955195
- [7] Zuiderveld K., "Contrast limited adaptive histogram equalization," *Graphics gems IV*, pp.474-485, 1994.
- [8] E. H. Land and J. J. McCann, "Lightness and Retinex theory," *J. Opt. Soc. Amer.*, vol.61, no.1, pp.111, 1971. DOI: 10.1364/JOSA.61.000001
- [9] D. J. Jobson, Z. Rahman, and G. A. Woodell, "Properties and performance of a center/surround retinex," *IEEE Trans. Image Processing*, vol.6, no.3, pp.451-462, 1997. DOI: 10.1109/83.557356
- [10] D. J. Jobson, Z. Rahman, and G. A. Woodell, "A multiscale retinex for bridging the gap between color images and the human observation of scenes," *IEEE Trans. Image Processing*, vol.6, no.7, pp.965-976, 2002. DOI: 10.1109/83.597272
- [11] D. J. Jobson, "Retinex processing for automatic image enhancement," *J. Electron. Imag.*, vol.13, no.1, pp.100-110, 2004. DOI: 10.1117/12.469537
- [12] Syed Zaheeruddin and K. Suganthib, "Image Contrast Enhancement by Homomorphic Filtering based Parametric Fuzzy Transform," *International Conference on Recent Trends in Advanced Computing ICRTAC*, 2019.
DOI: 10.1016/j.procs.2020.01.095
- [13] T. Sun, C. Jung, P. Ke, H. Song, and J. Hwang, "Readability enhancement of low light videos based on discrete wavelet transform," *Proc. IEEE Int. Symp. Multimedia*, pp.342-345, 2017.
DOI: 10.1109/ISM.2017.63
- [14] B. Xu, D. Zhou and W. Li, "Image Enhancement Algorithm Based on GAN Neural Network," *IEEE Access*, vol.10, pp.36766-36777, 2022.
DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3163241
- [15] J. Li, X. Feng and Z. Hua, "Low-Light Image Enhancement via Progressive-Recursive Network," *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol.31, no.11, pp.4227-4240, 2021. DOI: 10.1109/TCSVT.2021.3049940
- [16] Mertens T, Kautz J, Reeth FV. "Exposure fusion," *Proceedings of the 15th Pacific conference on computer graphics and applications*, pp.382-390, 2007.
- [17] T. Mertens, J. Kautz and F. Van Reeth1, "Exposure Fusion : A Simple and Practical Alternative to High Dynamic Range Photography," *Computer Graphics Forum, Blackwell Publishing*, vol.28, no.1 pp.161-171, 2009.
DOI: 10.1111/j.1467-8659.2008.01171.x
- [18] P. J. Burt, and E. H. Adelson, "The Laplacian Pyramid as a Compact Image Code," *IEEE Trans. Commun.*, vol.31, no.4, pp.532-540, 1983.
DOI: 10.1109/TCOM.1983.1095851

- [19] “*High Dynamic Range*,” https://en.wikipedia.org/wiki/High_dynamic_range
- [20] S. Yun, J. H. Kim and S. Kim, “*Image enhancement using a fusion framework of histogram equalization and laplacian pyramid*,” *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol.56, no.4, pp.2763-2771, 2010. DOI: 10.1109/TCE.2010.5681167
- [21] W. Wang, X. Wu, X. Yuan and Z. Gao, “*An Experiment-Based Review of Low-Light Image Enhancement Methods*,” *IEEE Access*, vol.8, pp. 87884-87917, 2020.
DOI: 10.1109/ACCESS.2020.2992749
- [22] T. Trongtirakul, W. Chiracharit and S. S. Aгаian, “*Single Backlit Image Enhancement*,” *IEEE Access*, vol. 8, pp.71940-71950, 2020.
DOI: 10.1109/ACCESS.2020.2987256
- [23] Z. Li, “*Li’s Database*,” <https://github.com/7thChord/backlit>
- [24] Hasler, D., & Suesstrunk, S. E. “*Measuring colorfulness in natural images*,” *Human Vision and Electronic Imaging VIII*, 2003.
- [25] M. A. Qureshi, A. Beghdadi, and M. Deriche, “*Towards the design of a consistent image contrast enhancement evaluation measure*,” *Signal Process., Image Commun.*, vol.58, pp.212-227, 2017.
DOI: 10.1016/j.image.2017.08.004
- [26] T. Celik and T. Tjahjadi, “*Automatic Image Equalization and Contrast Enhancement Using Gaussian Mixture Modeling*,” *IEEE Transactions on Image Processing*, vol.21, no.1, pp.145-156, 2012. DOI: 10.1109/TIP.2011.2162419
- [27] A. Mittal, R. Soundararajan and A. C. Bovik, “*Making a “Completely Blind” Image Quality Analyzer*,” *IEEE Signal Processing Letters*, vol.20, no.3, pp.209-212, 2013.
DOI: 10.1109/LSP.2012.2227726
- [28] Anish Mittal, “*NIQE Software*” https://github.com/csjunxu/Bovik_NIQE_SPL2013
- [29] Li C, Zhu J, Bi L, Zhang W, Liu Y, “*A low-light image enhancement method with brightness balance and detail preservation*,” *PLOS ONE*, Vol.17, No.5, pp.e0262478. DOI: 10.1371/journal.pone.0262478

BIOGRAPHY

Jin Heon Kim (Member)

1982 : BS degree in Electrical Engineering, Korea Univ.
1984 : MS degree in Electrical Engineering, Korea Univ.
1994 : PhD degree in Electrical Engineering, Korea University.

1984~1986 : Research Engineer, OPC
1986~1989 : Senior Research Engineer, SAIT
1989~1991 : FAE. Appian Tech.
1995~ : Professor, Seokyeong University
2006~2007 : Visiting Researcher, Ottawa Univ.