선형 MSR을 이용한 역광 영상의 명암비 향상 알고리즘

Contrast Enhancement Algorithm for Backlight Images using by Linear MSR

김 범 용* · 황 보 현** · 최 명 렬†

(Beom-Yong Kim · Bo-Hyun Hwang · Myung-Ryul Choi)

Abstract - In this paper, we propose a new algorithm to improve the contrast ratio, to preserve information of bright regions and to maintain the color of backlight image that appears with a great relative contrast. Backlight images of the natural environment have characteristics for difference of local brightness; the overall image contrast improvement is not easy. To improve the contrast of the backlight images, MSR (Multi-Scale Retinex) algorithm using the existing multi-scale Gaussian filter is applied. However, existing multi-scale Gaussian filter involves color distortion and information loss of bright regions due to excessive contrast enhancement and noise because of the brightness improvement of dark regions. Moreover, it also increases computational complexity due to the use of multi-scale Gaussian filter. In order to solve these problems, a linear MSR is performed that reduces the amount of computation from the HSV color space preventing the color distortion and information loss due to excessive contrast enhancement. It can also remove the noise of the dark regions which is occurred due to the improved contrast through edge preserving filter. Through experimental evaluation of the average color difference comparison of CIELAB color space and the visual assessment, we have confirmed excellent performance of the proposed algorithm compared to conventional MSR algorithm.

Key Words : Retinex, MSR, Backlight image, Contrast ratio, Edge preserving filter

1. 서 론

디지털 카메라, 스마트 폰 등의 모바일 영상 저장 장치의 기술이 급속하게 발전함에 따라서 영상 획득이 용이해지고 있다. 일반 사용자들은 보다 화질이 좋은 영상에 대한 욕구가 증대되고 있으며 시각적으로 보다 선명하게 보이기 위해 밝기와 색상 개선을 위한 영상 처리 기법들이 활발하게 연구되고 있다[1~4].

영상에서 광원의 밝기와 그 빛이 조사되는 물체의 위치에 따라 명암비와 색상에 영향을 받기 때문에 이러한 요소들에 대해 고려할 필요가 있다. 특히, 빛이 너무 밝거나 피사체가 광원을 등지고 있는 경우 그 밝기가 매우 어두우며 영상의 중요한 영역에 대한 디테일 등의 정보를 얻지 못하게 된다. 이러한 역광 장면에서 획득된 영상의 대비 향상을 위해 일반적으로 사용하는 히스토그램 평활화나 감마 커브 보정 기법들이 적용되고 있다[2].

기존에 제안된 기법들은 영상 전체의 밝기 보정에 대해서 고려하기 때문에 영상의 전반적인 명암비 향상에는 효과적이나 부분적인 영역에 대한 색바랜 등의 화질 저하를 유발한다. 이러한 점을 해결하기 위해 최근 주변의 평균 밝기

값을 이용하여 대비를 향상 시키는 Retinex 방법을 이용한 알고리즘이 제안되었다[3].

Retinex 기반의 방법으로 Jobson은 SSR(single-scale Retinex)의 가중치 합으로 구성된 MSR(multi-scale Retinex)을 제안했다. SSR은 각각의 픽셀에 대하여 가우시안 필터를 적용하여 인간 시각의 비선형적인 적응을 모델링한 C/S 모델(Center/Surround model)을 적용하여 영상에 포함된 광원의 효과를 제거함으로써 명암비를 향상시킨다[4~5]. 또한, C/S 모델을 나타내는 가우시안 필터의 스케일(scale)에서 따라서 후광효과 등의 색 바랜과 디테일 보존을 트레이드 오프(trade off) 관계로 조절할 수 있다. 따라서 다양한 스케일을 갖는 가우시안 필터를 사용한 Retinex의 결과 영상들을 적절한 가중치를 주어 합하는 MSR을 사용함으로써 이러한 후광 효과와 색 바랜을 줄이고 명암비를 향상시킨다. 그러나 역광 영상의 경우 과도한 밝기 개선에 따른 밝은 영역의 디테일과 에지 등의 정보 손실과 색 왜곡 현상이 발생하며, 어두운 영역의 밝기 향상으로 인한 노이즈가 발생된다. 또한, 가우시안 필터 스케일에 따른 연산량 증가의 문제가 있다.

본 논문에서는 역광 영상의 과도한 명암비 개선으로 인한 발생되는 정보 손실, 색 왜곡 현상, 그리고 노이즈를 제거하기 위한 알고리즘을 제안한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기존의 Retinex 알고리즘에 대하여 설명하고, 3장에서는 제안하는 역광영상의 명암비 향상을 위한 수정된 Retinex 알고리즘을 설명한다. 4장에서는 실험 결과를 제시하고, 5장에서는 결론과 향후 과제에 대해 언급한다.

* 정 회 원 : SK하이닉스 주식회사 재직 중

** 정 회 원 : 한양대학교 전자전기계측공학과 박사과정

† 교신저자, 정회원 : 한양대학교 전자통신공학과 교수

E-mail : choimy@hanyang.ac.kr

접수일자 : 2013년 1월 14일

최종완료 : 2013년 5월 22일

2. 기존의 방법

2.1 Retinex 알고리즘

기존의 Retinex 알고리즘은 인간 시각 시스템이 인지하는 영상의 밝기는 일반적으로 광원과 물체의 반사율의 곱으로 표현한다는 Land의 시각적 모델에 기반하여 광원성분의 영향을 줄이고 물체의 반사성분을 나타냄으로써 명암비를 향상시키는 방법이다. 또한, 물체의 반사율을 구하기 위해 영상의 밝기와 인지된 감각 사이에는 로그 관계를 가진다는 Weber-Fechner의 법칙을 적용하였다[1].

일반적으로 Retinex 알고리즘의 기본원리는 입력영상에 들어있는 배경성분을 제거하는 것이다. 광원은 불균일한 분포를 가지고 장면에 입사되어 지역적 평균 밝기로 입력영상의 배경성분으로 나타난다. 따라서 지역적 평균 밝기 성분을 추정하기 위해 일반적으로 사용하는 가우시안 필터를 적용한다. 입력영상을 광원 성분을 나타내는 가우시안 필터 결과로 나누어 반사성분을 구한다. Retinex 출력은 이 반사성분에 로그 값을 취하여 얻으며, 반사 성분이 분포하는 범위를 축소하여 나타낼 수 있는 효과를 가진다. 식1은 입력영상의 반사성분을 나타내는 Retinex 출력을 나타낸다.

$$R_i = \log(I_i(x, y)) - \log\{F(x, y) * I_i(x, y)\} \quad (1)$$

$I_i(x, y)$ 는 영상의 (x, y) 위치에서 입력 픽셀의 i 번째 채널 값, $F(x, y)$ 는 가우시안 필터, 그리고 $*$ 은 컨볼루션 연산자를 나타낸다. 가우시안 필터는 광원 성분 추정을 위한 Gaussian Center/Surround 함수로 다음과 같이 정의 된다.

$$F(x, y) = Ke^{[-(x^2+y^2)/c^2]}, \iint F(x, y) dx dy = 1 \quad (2)$$

K 는 정규화 계수이며 c 는 가우시안 필터의 스케일(scale)을 조정하는 매개변수로 c 값에 따라서 Retinex 결과 영상의 디테일을 증가하거나 감소시킨다.

c 값이 너무 작을 경우 영상의 디테일을 보존하면서 어두운 영역의 정보가 복원된다. 하지만 원 영상에서 어두운 영역의 과도한 명암비 향상으로 밝은 영역 사이의 차이를 너무 감소시켜 회색조로 보이는 후광효과와 색바랜 현상을 발생시키며 색 왜곡현상을 유발한다. 반면, c 값이 큰 경우 어두운 영역의 과도한 명암비 향상을 억제하여 밝은 영역과의 차이를 구분하도록 하지만 영상의 디테일과 밝은 영역의 정보를 손실하게 된다. 따라서 영상의 디테일 보존, 후광 효과 또는 색 바랜 현상이 결정되기 때문에 c 값의 결정이 아주 중요하다. c 값에 따른 단일 스케일의 가우시안 필터 적용한 경우를 SSR(Single Scale Retinex) 알고리즘이라 한다.

2.2 MSR 알고리즘

MSR(multi-scale Retinex) 알고리즘은 각각의 서로 다른 스케일을 갖는 가우시안 필터를 사용한다. MSR 결과는 SSR 결과 영상에 가중치의 합으로 표현된다[4]. 식3은 n 개의 스케일의 가우시안 필터를 적용한 MSR을 나타낸다.

$$R_i = \sum_{n=1}^N w_n [\log(I_i(x, y)) - \log\{F(x, y) * I_i(x, y)\}], \sum_{n=1}^N w_n = 1 \quad (3)$$

w_n 은 n 번째 가우시안 필터에 대한 가중치를 나타내며, 가중치의 총 합은 1이다. MSR은 작은 스케일의 가우시안 필터를 사용한 경우의 디테일이 향상되는 점과 큰 스케일의 가우시안 필터를 사용한 경우의 색 바랜 현상 억제 및 명암비가 향상되는 점들이 결과 영상에 반영하여 각각의 SSR 영상에 발생하는 부작용을 보완하도록 하였다. 그림 1은 MSR 알고리즘의 처리과정을 보여준다.

그림 1 MSR 알고리즘 처리과정

Fig. 1 MSR algorithm process

그림 2는 기존의 Retinex 알고리즘인 SSR과 MSR의 결과와 각각의 영상의 밝고, 어둡고, 그리고 경계가 발생하는 영역들에 대해서 확대/비교하여 나타낸 것이다. MSR의 결과 영상의 경우 SSR 결과영상에서 발생하는 부작용이 개선된 것을 볼 수 있다. 하지만 SSR 영상이 가중치에 따라 적용되었기 때문에 입력 영상의 어두운 영역에서 색 노이즈가 잔존하여 남아 있는 것과 밝은 영역, 즉 배경을 나타내는 성분에서 컬러 값과 디테일 손실이 나타났음을 알 수 있다. 이는 Retinex 알고리즘 적용 과정에서 로그 함수를 적용하기 때문에 어두운 영역의 경우 작은 픽셀 값의 차이에도 밝기 변화가 쉽게 이루어지는 반면, 밝은 영역의 경우 값의 차이가 크지 않을 경우 밝기가 압축되어 디테일과 컬러 정보를 잃어버리게 되는 것이다.

그림 2 기존의 Retinex 알고리즘 결과 비교

Fig. 2 Comparisons of existing Retinex algorithm results

3. 제안하는 MSR 알고리즘

제안하는 MSR 알고리즘은 Kotera의 선형 변환을 적용하여 어두운 영역의 가시성 향상과 로그 변환으로 인해 발생하는 부작용을 개선한다[5]. 또한, 인간의 시각시스템이 인

지하는 색상 유지하기 위해 색상(Hue), 채도(Saturation)의 색 성분과 밝기 성분의 명도(Value)로 표현되는 HSV 색 공간으로 변환하여 오직 명도에 대해서 선형 MSR을 적용한다. 그리고 에지 보존 노이즈 필터를 사용하여 명암비 향상 후 밝기 변화에 의해 발생하는 노이즈를 제거하는 후처리 과정을 수행한다. 그림 3은 역광 영상 화질 개선을 위한 제안하는 MSR 알고리즘의 흐름도를 보여준다.

그림 3 제안하는 알고리즘의 흐름도

Fig. 3 Flowchart of the proposed algorithm

3.1 선형 MSR을 이용한 명암비 향상

영상의 명암비 향상을 위해 밝기 성분을 나타내는 V채널에 대해서 선형 MSR을 수행한다.

$$V_{sm}(x, y, \sigma_m) = A \frac{V(x, y)}{S'_{sm}(x, y, \sigma_m)} \quad (4)$$

$$S'_{sm}(x, y, \sigma_m) = \sum_{m=1}^M [w(\sigma_m) S'_m(x, y, \sigma_m)] \quad (5)$$

$$R_m^i(x, y, \sigma_m) = \langle R_m^{i-1}(x, y, \sigma_m) * V(x, y) \rangle \quad (6)$$

S'_m 은 영상의 (x, y) 위치에서 M 개의 서로 다른 스케일의 Rect 필터(Rectangular Filter) R_m^i 를 V 에 적용한 배경 성분의 영상을 구하는 과정을 나타낸 것이다. 여기서 $i=1, 2, 3, \dots, n$ 의 Rect 필터를 반복한(iteration) 횟수이다. 식 5를 적용하여 M 개의 다중 스케일의 배경 영상을 가중치를 적용하여 하나의 배경 영상 S'_{sm} 을 구하고 이를 다시 V 에 대해서 식 4에 대입하여 명암비가 향상된 영상 V_{sm} 을 획득한다. Rect 필터는 가우시안 필터의 연산량 개선을 위해 제안되었으며, 영상의 x, y 방향으로 순차적으로 1차 컨볼루션(convolution) 연산 반복 수행한다[8]. 그림 4는 1차 Rect 필터를 반복 횟수($i=1, 2, 3, 4, 5$)에 따른 가우시안 필터와의 분포를 나타내며, 그림 5는 결과 영상을 비교하여 나타낸 것이다. 결과 영상에서 알 수 있듯이 Rect 필터를 3회 이상 반복 수행 할 경우 가우시안 필터와 거의 유사함을 확인 할 수 있다.

그림 4 가우시안 필터와 Rect 필터 비교

Fig. 4 Comparison for Gaussian filter and Rect filter

선형 MSR을 적용하여 입력 영상의 밝기가 향상될 경우 밝기 향상 폭이 커져 $[0, 1]$ 의 범위를 벗어나게 된다. 따라서 선형 MSR 결과에 대해 정규화를 시킨다. 정규화를 최대/최소값의 차로 정규화를 적용할 경우 영상에 존재하는 노이즈로 인해 명암비가 낮아지고 색이 변화는 현상이 발생한다. 이러한 현상을 억제하기 위해 제안하는 알고리즘에서는 식 7과 같이 최종 밝기 개선 값 $V'(x, y)$ 을 조정 파라미터 α 따라 적용한다. 식 8에서 V_{max} 와 V_{mean} 은 각각 입력 영상의 최대값과 평균값을 나타낸다.

그림 5 가우시안 필터와 Rect 필터 결과 비교

Fig. 5 Comparison of results for Gaussian filter and Rect filter

$$V'(x, y) = \alpha V_{sm}(x, y, \sigma_m) + (1 - \alpha) V_{local}(x, y, \sigma_m) \quad (7)$$

$$V_{local}(x, y, \sigma_m) = V(x, y) \frac{V_{max} + R'_{sm}(x, y, \sigma_m) + V_{mean}/2}{V(x, y) + R'_{sm}(x, y, \sigma_m) + V_{mean}/2} \quad (8)$$

3.2 노이즈 제거 및 에지 보존

선형 MSR 알고리즘을 이용하여 영상의 명암비를 향상하는 과정에서 밝기의 변화에 비례하여 노이즈가 증폭된다. 이러한 노이즈는 밝기가 보상된 영상의 화질을 저하시키는 요인이 된다. 노이즈를 제거하기 위하여 일반적으로 사용하는 평균 필터(average filter)를 적용할 경우 디테일(detail)과 에지(edge) 정보를 손실시킨다. 디테일과 에지 정보를 보존

하며 노이즈를 제거하기 위해 제안한 알고리즘은 선형 MSR 결과를 RGB 색 공간으로 변환 후 고주파수 영역의 디테일을 보존하고 평탄한 영역의 노이즈를 제거하는 에지 보존 필터를 적용한다. 에지 보존 노이즈 필터 출력은 식9와 같으며 영상의 지역 분산에 따른 β 로 조정된다.

$$I_i'(x,y) = [1 - \beta(x,y)]H_{MSR,i}(x,y) + \beta(x,y)A(x,y) \quad (9)$$

$$\beta(x,y) = \frac{1}{1 + \mu\sigma^2} \quad (10)$$

여기서 $H_{MSR,i}(x,y)$ 은 선형 MSR 출력의 R, G, B 각 채널 값이며, $A(x,y)$ 는 평균 필터 출력, σ^2 은 지역 분산, 그리고 μ 는 조정 파라미터이다. 그림 6은 선형 MSR 출력과 디테일과 에지로 판단된 에지 정보에 따른 노이즈 제거 결과 나타난 것이다.

그림 6 선형 MSR 출력과 노이즈 제거 및 에지보존
Fig. 6 Linear MSR output and noise removal and edge preservation

4. 실험 및 평가

제안한 알고리즘의 성능을 검증하기 위해 다양한 역광 사진에 대해 적용하였다. 성능을 평가하기 위한 방법으로 일반적으로 많이 사용하는 히스토그램 평활화, 기존의 MSR 알고리즘[4]을 통한 역광 영상의 개선 결과와 제안한 알고리즘을 이용한 역광 영상의 결과를 비교하였다. 그림 7은 실험 입력 영상으로 자연환경을 배경으로 획득한 밝고 어두운 영역의 대비가 명확하게 보이는 역광 영상이다.

그림 8(a)는 히스토그램 평활화 영상의 경우 전체적인 밝기의 대비를 향상 시킨 결과로써 밝은 부분은 더욱 밝게 하여 밝은 영역의 정보를 감소시키며 색 왜곡 현상이 크게 발생됨이 보인다. 그림 8(b)는 기존의 MSR 알고리즘을 이용한 결과로 자연스러운 결과를 위하여 스케일 조절하여 구하였다. 어두운 부분의 밝기는 향상되었지만 과도한 명암비 보정으로 밝은 영역의 정보 손실과 밝고 어두운 부분의 영

그림 7 실험 입력 영상
Fig. 7 Experimental input image

그림 8 실험 결과 영상
Fig. 8 Experimental result images

역의 색이 변화되는 현상이 나타났다. 그림 8(c)는 제안한 알고리즘으로 효과적인 어두운 영역의 명암비 향상과 밝은 영역의 에지와 디테일 정보를 효과적으로 나타내었다. 또한, 색 왜곡을 억제하여 시각적으로 자연스러운 결과를 나타내고 있다.

제안한 알고리즘의 객관적인 평가를 위해 CIELAB 색 공간에서의 색상의 차이를 계산하였다[6]. 표 1은 실험 입력 영상과 히스토그램 평활화, 기존의 MSR, 그리고 제안한 알고리즘을 통해 얻은 결과 영상 사이의 색상 차이를 나타낸다. 표 1에서 보듯이 제안한 알고리즘이 기존의 MSR 알고리즘 보다 더 작은 색상차이가 나는 것을 확인하였다.

표 1 CIELAB 색 공간에서의 입력영상과 결과영상의 평균 색상 차이

Table 1 The average color difference of Input and output image in CIELAB color space

	히스토그램 평활화	기존의 MSR 알고리즘	제안하는 알고리즘
(a)	27.68	10.18	3.15
(b)	31.3	15.03	4.23
(c)	25.73	20.54	2.75
(d)	29.15	11.34	3.49

5. 결 론

본 논문에서는 역광 영상의 화질 개선을 위한 선형 MSR 알고리즘을 제안하였다. 제안한 알고리즘은 명암비 개선을 위한 HSV 색 공간에서 연산량을 줄인 선형 MSR 구현 부분과 명암비 향상에 따른 노이즈를 제거하기 위한 에지보존 노이즈 제거 필터 적용 부분으로 구성되었으며, 기존의 MSR 알고리즘에서 과도한 명암비 보정으로 발생하는 밝은 영역의 정보 손실과 영상의 색 변화의 문제점을 개선하였다. 자연환경에서 얻어진 역광 영상에 대해 기존의 방법들과 성능 비교를 통해 제안한 알고리즘이 밝은 영역의 정보 보존이 뛰어나며 영상 전체의 색 왜곡이 적게 발생되어 시각적으로 자연스러운 결과를 얻었음을 확인하였다. 또한, CIELAB 색 공간에서 입력 영상대비 평균 색상차이를 구해 객관적인 성능 평가를 통해 입력 영상 대비 색상 변화가 적었음을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] R. C. Gonzalez, "Digital Image Processing," 2nd Edition, Prentice Hall, 2002.
- [2] G. H. Park, H. H. Cho, and M. R. Choi, "A contrast enhancement method using dynamic range separate histogram equalization," IEEE Trans. Consumer Electronics, vol. 54, no. 4, pp.1981-1987, Nov. 2008.
- [3] Z. Rahman, "Properties of a center/surround Retinex: Part 1: Signal processing design," NASA Contractor Report 198194, pp. 13, 1995.
- [4] I. S. Jang, K. H. Park, and Y. H. Ha, "Reduction of Color Distortion by Estimating Dominant Chromaticity in Multi-Scaled Retinex," Jurnal of the IEEK SP, Vol.46, No. 3., pp. 52-59, 2009.
- [5] I. S. Jang, K. H. Park, and Y. H. Ha, "Reduction of Color Distortion by Estimating Dominant Chromaticity in Multi-Scaled Retinex," Jurnal of the IEEK SP, Vol.46, No. 3., pp. 52-59, 2009.
- [6] W. j. Kyung, T. H. Lee, and Y. H. Ha, "Enhanced Integrated Multi-scale Retinex based on CIELAB Color Space for Improving Color Reproduction," Jurnal of the IEEK SP, Vol.48, No. 1., pp. 1-6, 2011.
- [7] H. Kotera and M. Fujita, "Appearance improvement of color image by adaptive scale-gain Retinex model," Proc. IS&T/SID 10th CIC, pp. 166-171, 2002.
- [8] M. Aubry, S. Paris; F. Durand, "Fast and Robust Pyramid-based Image Processing," MIT Technical Reports, MIT-CSAIL-TR-2011-049, Nov. 2011.

저 자 소 개

김 범 용 (金範龍)

1984년 2월생. 2007년 2월 한양대학교 전자통신공학부 학사졸업. 2009년 2월 한양대학교 전자전기제어계측공학과 석사졸업. 2011년 - 현재 SK하이닉스 주식회사 이미지 개발그룹 선임연구원

Tel : 031-400-4036

E-mail : beomyong1.kim@sk.com

황 보 현 (黃寶顯)

1976년 4월생. 2004년 2월 한양대학교 전자컴퓨터공학과 학사졸업. 2006년 2월 전자전기제어계측공학과 석사졸업. 2006년 1월 - 2007년 7월 동부하이텍 반도체부문. 2007년 - 현재 한양대학교 전자전기계측공학과 박사과정

Tel : 031-400-4036

E-mail : jokersir@ymail.com

최 명 렬 (崔明烈)

1960년 9월생. 1983년 한양대학교 전자공학과 학사졸업. 1985년 미시간 주립대학교 컴퓨터공학과 석사졸업. 1991년 미시간 주립대학교 컴퓨터공학과 박사졸업. 1991. 3-1991. 10 생산기술연구원 전자정보실용화센터 조교수. 1991. 11 - 1992. 8 생산기술연구원 산하 전자부품종합기술연구소 선임연구원. 1992. 9-2003. 8 한양대학교 전자컴퓨터공학부 부교수. 2003. 9 - 현재 한양대학교 전자통신공학과 교수.

Tel : 031-400-5214

E-mail : choimy@hanyang.ac.kr