

# 영상의 동적영역 확대를 위한 비대칭도 기반 적응적 Retinex 알고리즘

## Skewness based Adaptive Retinex Algorithm for Wide Dynamic Range

오종근\*, 김범수\*, 홍민철\*\*

JongGeun Oh\*, Beomsu Kim\*, Min-cheol Hong\*\*

### Abstract

This paper presents an adaptive Retinex algorithm for improving dynamic range of image representation. The proposed Retinex algorithm detects degraded brightness by using skewness and the degraded components are compensated with local statistics. In particular, we propose a new compensation function for dynamic range so that effective image representation can be achieved. Experimental results show that the proposed algorithm has the capability to improve the dynamic range with reduction of color degradation.

### 요약

본 논문은 영상 표현의 동적영역 증대를 위한 적응적 Retinex 알고리즘에 대하여 제안한다. 제안 방식은 Retinex 알고리즘을 기반으로 비대칭도를 이용하여 입력 영상에 대한 밝기 정보의 왜곡을 검출하고 왜곡 성분을 국부 통계 특성을 기반으로 적응적으로 처리하였다. 특히 휘도성분에 대하여 새로운 보정함수를 적용시킴으로써 동적영역 확대를 통해 해상도를 개선하였다. 실험을 통해 휘도 성분에 대한 동적 영역 확대 및 색 왜곡 효과를 감소시키는 효과를 확인할 수 있었다.

*Key words : Retinex, dynamic range, skewness, local statistics, compensation function*

## 1. 서론

DSLR(Digital Single Lens Reflex) 카메라를 비롯

\* School of Electronics Engineering, Soongsil University  
/confisio@ssu.ac.kr(JongGeun Oh) / +82-2-823-0372

★ Corresponding author

※ Acknowledgment

This research was supported by the MSIP(Ministry of Science, ICT & Future Planning), Korea, under the ITRC(Information Technology Research Center) support program (NIPA-2013-H0301-13-2006) and This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) founded by the Ministry of Education, Science and Technology (2012R1A1A2000924).

Manuscript received Nov. 12, 2013; revised Nov. 26, 2013  
; accepted Nov. 27, 2013

한 고해상도 영상장비 시장에서 요구되는 장치들의 기대 수준은 빠른 속도로 성장해 왔다. 현재의 영상 장비들의 기대 수준은 고화질의 영상통신을 넘어서 물체 감지를 통한 영상 보안 및 인식의 영역까지 확대 되었다.

이러한 영상 장비들을 기반으로 단순한 멀티미디어 기능을 넘어선 다양한 물체 인식 기능들을 효과적으로 수행 할 수 있는 많은 연구가 진행되고 있다. 이와 같은 연구의 효율성을 증대하기 위해서는 다양한 외부 환경을 자율적으로 제어할 수 있는 기능을 필요로 한다.

다양한 외부 환경 중 광원은 영상 화질에 큰 영향을 주게 된다. 특히 광원량이 과도하거나 부족한 경우 영상 표현 능력을 저하시키게 되어 영상에 대한 판별 능력을 어렵게 한다.

상기 영상의 품질 저하를 보완하기 위한 방법으로 히스토그램 평활화(Histogram Equalization), 감마보정

(Gamma Correction), 자동 노출조정(Auto exposure), 자동 화이트 밸런싱(Auto White Balance)등의 기능이 사용되어 왔다. 본 논문은 WDR(Wide Dynamic Range) 기능의 한 부분으로써 Retinex 알고리즘을 통한 방식을 제안한다.

E. Land는 실제 인간의 시각에 들어오는 빛은 물체의 반사를 통해서 들어오는 반사 성분과 광원을 통하여 들어오는 조명 성분으로 나눌 수 있음을 실험적으로 입증하였다[1].

D. J. Jobson은 앞서 언급한 E. Land의 시각 모델과 인간의 시각 모델인 Werber-Fachner Law를 바탕으로 Single Scale Retinex(SSR) 알고리즘을 제안하였다[2]. 상기 방법은 영상의 조명 성분을 최대한 배제하여 물체가 가지는 고유한 색을 유도할 수 있으나 필터 의존적이며 색신호 열화 현상 및 후광 효과 등의 결점이 존재한다.

상기 결점을 보완하기 위해 다수의 가우시안 필터를 사용하는 방식인 Multi Scale Retinex(MSR) 및 MSR 방식의 변형 형태인 Multi Scale Retinex with Color Restoration (MSRCR) 방식 등이 제안되었다[3,4]. 상기 방식들은 RGB 색신호 모델에 적용하는 방식으로써 3개의 채널에 대하여 각각의 필터를 처리하는 관계로 연산량이 높은 단점이 있으며 이로 인해 다양한 입력 영상에 적응적으로 대처하기 어려운 단점이 있다.

상기와 같은 방식들의 단점을 보완하기 위해 입력 영상에 대하여 좀 더 적응적이고 연산량을 줄인 방법으로서 Adaptive Muti Scale Retinex (AMSR)방식을 제안되었다[6]. 상기 방식은 RGB 색신호 공간이 아닌 YCbCr 영역에서 휘도 성분에 대해서 Retinex 알고리즘을 적용하여 입력 영상에 대한 적응성을 향상시키려는 했다. 그러나 단지 휘도(Luminance) 채널만을 이용했기 때문에 Retinex 알고리즘의 특성인 광원의 색도의 왜곡 성분을 제거 할 수 없었으며, 채도성분에 대한 표현이 자연스럽게 못한 단점이 있다[7].

본 논문에서는 상기 방식들의 문제점을 해결하기 위해 칼라 영상의 휘도 성분에 대해 국부 통계 특성인 비대칭도(Skewness) 정보를 이용하여 영상의 왜곡 특성을 검출하고 이를 기반으로 색차 신호를 보정하는 Retinex 기반의 WDR 알고리즘을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 Retinex기법에 대해 소개하고, III장을 통하여 본 논문이 제안하는 Skewness 기반의 적응적 WDR 방식에 대해 제안한다. IV장에서 제안한 방식에 대한 실험적 결과를 분석하고, 끝으로 V장에서 결론에 대해 기술한다.

## II. 배경 이론

E. Land는 실험적으로 인간 시각 기관이 인지하는 물체의 색이 광원과 물체의 반사성분의 곱으로 나타낼 수 있음을 입증하였으며 다음과 같이 기술 될 수 있다[1].

$$S = R \cdot L \tag{1}$$

위 식에서 S, R 및 L는 영상 화소의 밝기 값, 물체의 반사율 및 조명 값을 나타낸다. 상기 식은 조명 성분을 추정 할 수 있다면 산술적인 방법을 통하여 물체 고유의 색인 반사 성분을 알아 낼 수 있음을 의미한다.

Weber - Fechner's 법칙에 따르면 인간의 감각 기관이 인지하는 감각의 차이들이 Log 스케일을 갖고 있으며, 감지하는 감각의 차이는 다음과 같이 기술 될 수 있다.

$$p = k \ln \frac{S}{S_0} \tag{2}$$

식 (2)에서  $S_0$  및  $S$  는 최초 자극 및 다음 자극을 의미하며, 위 식은 인간이 인지하는 시각 기관은 자연 로그의 형태로써 표현됨을 나타낸다.

Retinex 알고리즘은 앞서 언급한 두 가지의 이론을 기반으로 하고 있으며, 일반적으로 그림 1과 같은 순서도로 표현 될 수 있다.

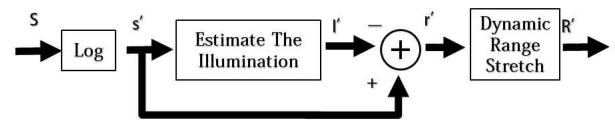


Fig. 1. Flow chart of Retinex Algorithm  
그림 1. Retinex Algorithm 순서도

위에서 간략히 기술한 Retinex 기법 기반의 다양한 동적 영역 확대 기법이 연구 되어 왔으며, 본 논문에서는 SSR 및 MSRCR 기법에 대해 간략히 설명한다.

### 1. SSR(Single Scale Retienx)

SSR 방식은 적절한 크기의 가우시안 필터로 필터링된 결과를 영상의 조명 성분으로 추정하며, 조명 성분을 이용하여 다음 식과 같이 반사성분을 도출한다 [2].

$$R_i(x, y) = \log \left[ \frac{I_i(x, y)}{F(x, y) * I_i(x, y)} \right] \tag{3}$$

위 식에서  $R_i(x, y)$  은  $i$  채널(R,G,B 채널) 반사 성분을 의미하며, ‘\*’는 컨볼루션(convolution) 연산을 나타낸다. 또한  $F(x, y)$  는 조명성분을 추정하기 위한 중심/주변(center/surround) 함수를 나타내며 다음과 같은 식으로 표현 된다.

$$F(x, y) = Ke^{-(x^2+y^2)/c^2}, \quad (4)$$

$$\iint F(x, y) dx dy = 1$$

식 (4)의 K는 정규화 계수, c는 Gaussian분포의 표준편차를 의미하는 Center/Surround 상수를 나타내며 가우시안 필터의 크기(scale)를 결정하는 상수를 의미한다[2, 5].

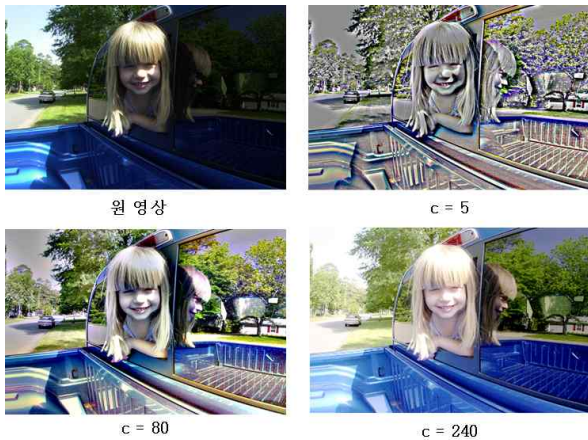


Fig. 2. Results with SSR algorithm  
그림 2. SSR 방식 결과 영상

SSR 방식은  $c$ 의 크기에 따라 결과에 큰 차이를 보인다. 그림 2.는 SSR 방식에서  $c$ 의 크기를 다르게 적용한 예이다.  $c$ 가 작은 경우 영상에서 윤곽 정보가 강조되고 어두운 부분의 정보에 대한 표현이 효과적이나 대조비가 감소하고 색 왜곡이 심해지는 문제점이 발생한다. 반면에  $c$ 의 값이 큰 경우 대조비가 상승하고 색 왜곡이 많이 제거 되지만 윤곽정보가 열화되고 후광 현상이 생기게 된다.

**2. MSRCR(Multi Scale Retinex with Color - Restoration)**

SSR 방식의 단점을 보완하기 위해 다수의 가우시안 필터를 사용하는 MSR 방식이 제안되었다[3]. 상기 방식은 그림 3에 도시된 바와 같이 각 가우시안 필터에 대하여 각각 다른 가중치를 적용하여 SSR 방식과 비교하여 필터 의존성을 감소시키려 하였다. 그러나 표준편차  $c$  값이 작은 가우시안 필터에서 발생하는 색 왜곡의 문제는 여전히 존재하게 된다.

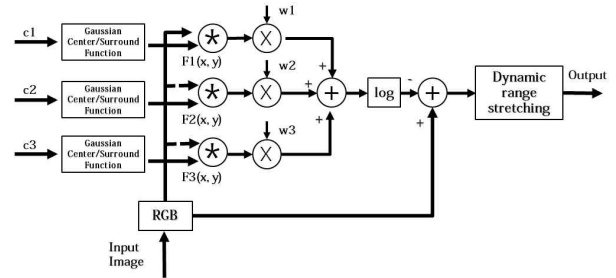


Fig. 3. Flow chart of MSR algorithm  
그림 3. MSR 방식 순서도

색 왜곡의 문제를 해결하기 위해 MSR 방식에서 칼라 복원 함수를 추가한 MSRCR 방식이 제안 되었다[4]. 상기 방식은 MSR 방식에서 단점으로 지적 받는 색 왜곡 현상을 감소시켰다. MSR 방식의 반사 성분은 다음과 같이 기술된다.

$$R_{MSRCR_i}(x, y) = C_i(x, y) \cdot R_{MSR_i}(x, y), \quad (5)$$

및

$$R_{MSR_i}(x, y) = \sum_{n=1}^N w_n \log \left[ \frac{I_i(x, y)}{F_n(x, y) * I_i(x, y)} \right], \quad (6)$$

$$\text{with } \sum_{n=1}^N w_n = 1.$$

식 (6)의  $R_{MSR_i}(x, y)$  는 MSR 방식에서 반사 성분을 표현한다. 또한  $F_n(x, y)$  는  $n$ 번째 가중치의 가우시안 필터를 나타낸다. 상기 과정의 가장 효율적인 가중치는  $w_n = \{0.3, 0.1, 0.6\}$  이며, 각 필터의 표준편차는  $C_{F_n} = \{5, 30, 240\}$  가 효과적임이 입증되었다[4]. 더불어, 색 성분에 대한 복원 함수를 사용하여 색 신호에 왜곡 현상을 감소시키려 했다. 색 신호에 대한 복원 함수는 원 영상을 기반으로 다음과 같이 기술된다.

$$C_i(x, y) = \beta \log[\alpha_i I_i(x, y)]. \quad (7)$$

식 (7)에서  $\alpha$ 는 이득 상수를 나타내며,  $\beta$ 는 임의의 상수를 의미한다.

Jobson이 제안한 Retinex 알고리즘은 영상 내에서 어두운 영역과 밝은 영역간의 대조비가 크게 된 영상 일 경우에 좋은 성능을 보인다. 그러나 전체적으로 어둡거나, 혹은 전체적으로 밝은 영상을 적용시키는 경우에는 한계점이 있으며, RGB 각 채널에 다중의 가우시안 필터를 적용하는 방식은 연산량 문제로 실시간 처리 기반의 응용 분야에 적합하지 않는 단점이 있다.

### III. 제안 방식

본 논문에서 제안하는 방식은 앞서 언급한 기존 Retinex 방법의 문제점을 해결하기 위해 휘도 및 색 신호 성분의 효율적인 보정을 위한 YCbCr 칼라 모델 이용을 이용하였다. 기존 방법은 RGB 칼라 모델에서 각 채널을 독립적으로 처리하기 때문에 색상 간 연관성이 떨어져 색 신호 성분에 대한 왜곡이 발생한다. YCbCr 영역에서 휘도 성분에 해당하는 Y 채널에 대하여 조명성분을 다음과 같이 추정한다.

$$R_{proposai}(x, y) = \sum_{i=1}^N w_i \log \left[ \frac{Y_i(x, y)}{F_i(x, y) * Y_i(x, y)} \right], \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^N w_n = 1$$

식 (8)에서  $Y_i(x, y)$ 는  $i$ 번째 Y채널의  $(x, y)$  번째 값을 의미한다. 위 식은 앞서 언급한 MSR 방법과 동일한 방법으로 3개의 다중 필터를 사용하였다.

본 논문에서는 획득 영상의 밝기 정도를 예측하기 위해 비대칭도(Skewness)를 이용하여 새로운 사상 함수(mapping function)를 적용하였다. 비대칭도는 모집단의 도수 분포에 대한 비대칭의 방향과 그 정도를 나타내는 통계 특성으로 본 논문에서는 획득 영상의 휘도 성분의 화소 값으로 비대칭도를 계산하여 이를 사상 함수를 이용하여 적응적으로 처리하는 방식을 이용하였다.  $M \times N$  크기의 휘도 성분에 대한 비대칭도는 다음과 같이 기술된다.

$$Skewness = \frac{\sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} [(Y(x, y) - Y_{mean}) / Y_{std}]^3}{M \times N - 1}. \quad (9)$$

위 식에서  $Y_{std}$ 는 휘도 성분에 대한 표준 편차를 의미한다. 임의의 영상에 대하여 비대칭도가 양수 일 경우 전반적으로 어두운 영상을 의미하며 비대칭도 값이 클수록 어두운 정도가 커짐을 의미한다. 반면에 비대칭도 값이 음수일 경우 해당 영상이 전체적으로 밝게 표현되어 있음을 나타낸다.

식 (9)의 비대칭도를 이용하여 동적 영역 확대 영상을 획득하기 위해서 본 논문에서는 대조비 보정 함수를 새로운 대조비 보정 함수를 이용하였다. 일반적으로 영상내에서 어두운 영역을 표현하는 범위는 충분하여 대조비가 높지만, 밝은 영역의 경우에는 화소 값의 범위가 좁아 대조비가 낮은 문제점을 해결하기 위해, 영상의 특성에 따라 함수의 형태를 적응적으로

적용시키는 비선형 동적영역 정규화 방법이다. 제안하는 보정함수는 위와 같은 특성을 반영하기 위해 식 (10) 와 식 (11)으로 정의한다.

$$\mu = \left( -\frac{Skewness}{2} + k \right), \quad (10)$$

및

$$\lambda(x, y) = \left( \frac{R(x, y) - R_{\min}}{R_{\max} - R_{\min}} \right)^\mu. \quad (11)$$

식 (10) 의  $k$ 는 보정 상수 값을 의미하며, 식 (11)의  $R_{\min}$  및  $R_{\max}$ 는 휘도 성분의 최소값 및 최대값을 나타낸다. 더불어, 식 (11)의 보정 함수 특성은  $\mu$  값에 따라 그림 4와 같은 특성을 갖고 있다.

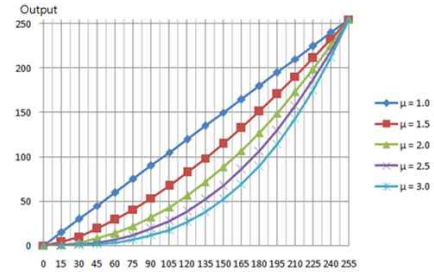


Fig. 4. A characteristic curve of contrast mapping function  
그림 4.  $\mu$  값에 따른 대조비 사상 함수 특성 곡선

위의 함수를 이용하여  $L$  비트 명암 표현이 가능한 디스플레이에 대해 보정된 휘도 성분은 다음과 같이 표현된다.

$$\bar{Y}(x, y) = \lambda(x, y) \times 2^{L-1}. \quad (12)$$

휘도 성분에 대한 보정 과정 후에 색차 성분에 대한 보정 과정을 수행하게 된다. 일반적으로 색차 성분의 경우 보정 처리를 하지 않을 경우 채도 값이 감소하여 색 성분에 대한 선명도를 손실하게 된다. 본 논문에서는 앞서 언급한 휘도성분의 보정량을 이용한 색차 성분의 보정 함수를 다음과 같이 정의한다.

$$C_{deg}(x, y) = \frac{\bar{Y}(x, y)}{Y(x, y)}, \quad (13)$$

및

$$\begin{aligned} \bar{Cb}(x, y) &= C_{deg}(x, y) \times (Cb(x, y) - 128) + 128 \\ \bar{Cr}(x, y) &= C_{deg}(x, y) \times (Cr(x, y) - 128) + 128. \end{aligned} \quad (14)$$

제안된 방식의 전체적인 순서도는 그림 5와 같다.

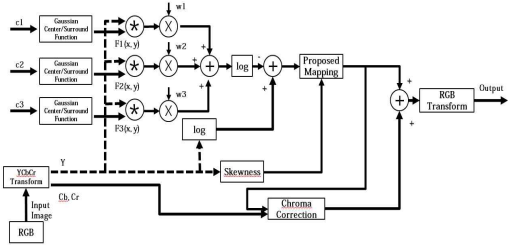


Fig. 5. Flow chart of proposal method  
그림 5. 제안 방법 순서도

IV. 실험 결과

본 논문에서 제안 방법의 성능 평가를 위하여 각각 다른 환경에서 촬영된 역광 영상들을 이용하고, 기존의 방식인 Histogram Equalization, MSRCR 방법들과 비교를 하였다. 각 방식들은 Intel CPU 3.3 GHz 환경에서 실험하였다. 실험에 적용한 가우시안 필터의 계수는 앞서 언급한 Jobson 방식에서 제안한 스케일과 가중치를 사용하였다[5].

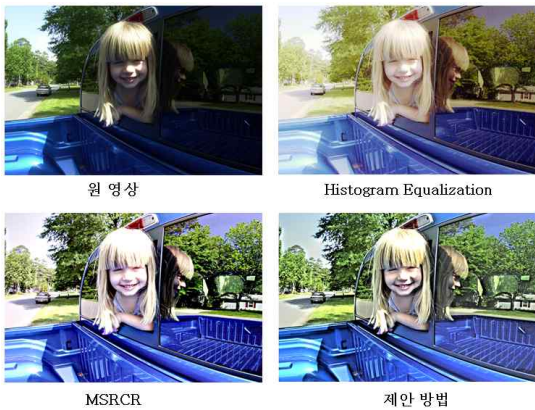


Fig. 6. Performance comparisons 1  
그림 6. 성능 결과 비교 1

그림 6은 640×360 크기의 원 영상을 기존의 방식과 제안 방식과 비교한 결과 이다. 실험 결과를 통해 제안된 방법이 기존의 방법보다 어두운 영역에서 인식하기 쉬운 것을 볼 수 있으며, 색상 또한 원 영상의 색상을 잘 보존한 것을 확인 할 수 있다.

실제 환경에 적용한 성능 평가를 위해 그림 7과 같이 스마트 폰을 사용하여 획득한 1902×1080크기의 영상을 사용하였다. 상기 영상에 대한 결과도 유사하게 어두운 영역에서의 윤곽선 정보 등이 효과적으로 표현 되었으며 밝은 영역 또한 적절한 대조 비를 통해 표현되었음을 알 수 있다.



Fig. 7. Performance comparisons 2  
그림 7. 성능 결과 비교 2

제안된 방식의 성능을 정량적으로 평가하기 위한 지표로서 CPP(Contrast Per Pixel)을 이용하였으며,  $M \times N$  크기의 영상에 대해 다음과 같이 기술된다 [5].

$$CPP = \frac{\sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} \left( \frac{1}{9} \sum_{m=-1}^1 \sum_{n=-1}^1 |\bar{Y}(i,j) - \bar{Y}(i+m,j+n)| \right)}{M \times N} \quad (15)$$

CPP는 주변 화소와의 변화 정도를 표현하는 지표로서 특정 물체에 대한 세부 표현 정도를 측정할 수 있다. 실험에 사용한 영상을 각 방식에 적용한 CPP 결과를 표 1에 나타내었다. 저조도 특성을 갖고 있는 원 영상은 가장 작은 CPP 값을 가지고 있으며 비교 방식들의 CPP는 향상된 결과를 나타내고 있다. 특히 제안 방법 CPP 개선도는 기존 방식보다 우월함을 확인할 수 있었다.

표 1. Comparisons of CPP indicator

표 1. CPP 지표 비교

구 분	그림 6	그림 7
원 영상	7.47	3.01
Histogram Eq	10.3	4.33
MSRCR	15.7	6.19
제안 방법	16.1	7.13

각 방식의 연산속도 비교를 결과를 표 2에 나타내었다. 히스토그램 등화 방식은 단순화된 형태를 취하는 관계로 대상 방식 중 가장 빠른 연산속도를 나타내었다. 또한 MSRCR 방식은 RGB 각 채널별로 콘볼루션 연산 수행 과정으로 인하여 가장 낮은 연산 속도를 보였다. 반면에 제안 방식은 휘도 성분에만 콘볼루션 연산을 수행함으로써 기존 MSRCR 방

식과 비교하여 40% 정도의 연산속도 절감 효과가 있음을 확인할 수 있었다.

표 2. CPU computational speed comparisons (unit: sec)  
표 2. CPU 연산 속도 비교

구 분	그림 6	그림 7
Histogram Eq	0.0110	0.0699
MSRCR	0.0206	0.1478
제안 방법	0.0124	0.0937

### V. 결론

본 논문에서는 영상의 동적 영역 개선을 위한 비대칭도를 이용한 적응적인 WDR 방법을 제안하였다. 반사 성분에 대한 처리 과정으로 휘도 성분 사용하였으며, 새로운 휘도 성분 보정 함수 및 색 신호 보정 함수를 제안하였다. 상기 과정을 통해 기존 방법과 비교하여 동적 영역의 개선이 있었으며 색 신호 성분의 왜곡 현상을 감소되었고 연산량 절감 효과가 있음을 확인할 수 있었다.

### 참고문헌

[1] E. Land and J. McCann, "Lightness and retinex theory", *Journal of the optical Society of America*, vol. 61, no. 1, pp. 1-11, Jan. 1971.

[2] D. J. Jobson, D. Jobson, G. Woodell, "Properties and Performance of a Center/Surround Retinex", *IEEE Transaction on Image Processing*, vol 6, no 3, pp. 451-462, Mar. 1997.

[3] D. J. Jobson, Z. Rahman, and G. A. Woodell, "A multi-scale retinex for bridging the gap between color images and the human observation of scenes", *IEEE Transaction on Image Processing*, vol. 6, no. 7, pp. 965-976, July 1997.

[4] Z. Rahman, G. A. Woodell, and D. J. Jobson, "A comparison of the multi scale retinex with other image enhancement techniques", *NASA Langley Technical Report*, 1997.

[5] L. Wang, T. Horiuchi, and H. Kotera, "High dynamic range image compression by fast integrated surround retinex model", *Journal of Imaging Science and Technology*, vol. 51, no. 1, pp. 34-43, Jan. 2007.

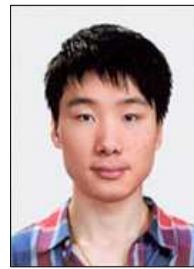
[6] T. Watanabe, Y. Kuwahara, and T. Kurosawa, "An adaptive multi-Scale retinex algorithm realizing high color quality and high-speed processing",

*Journal of Imaging Science and Technology*, vol. 49, no. 5, pp. 486-497, May 2005.

[7] K. Kim, J. Bae and J. Kim, "Natural HDR Image Tone Mapping Based on Retinex", *IEEE Transaction on Image Processing*, Vol 57, pp.1807 - 1814, Jan. 2012.

### BIOGRAPHY

#### JongGeun Oh (Student Member)



20013 : BS degree in school of electronic Engineering, Soongsil University.  
2013~2013 : Research Associate, Korea Internet & Security Agency.

#### Beomsu Kim(Student Member)



2007 : BS degree in school of electronic Engineering, Soongsil University.  
2009 : MS degree in school of electronic Engineering, Soongsil University.  
2010~2012 : Research Associate, Korea Internet & Security Agency.

#### Min-Cheol Hong(Member)



1988 : BS degree in Electrical Engineering, Yonsei University.  
1990 : MS degree in Electrical Engineering, Yonsei University.  
1997 : PhD degree in Electrical & Computer Engineering, Northwestern University.  
1998~2000 : Research Engineer, LG Electronics.  
2000~ : Professor, school of electronic Engineering, Soongsil University.