
CIEL*a*b* 색 공간에서 적응적 컬러 샘플링을 이용한 Mobile Phone 카메라용 자동 화이트 밸런스 알고리즘

김경린* · 손경수** · 하주영*** · 김상준**** · 강봉순*****

Novel Auto White Balance Algorithm Using Adaptive Color Sampling Based on
CIEL*a*b* color space for Mobile Phone Camera

Kyung-rin Kim* · Kyoung-soo Son** · Joo-young Ha*** · Sangchoon Kim**** · Bong-soon Kang*****

이 논문은 동아대학교 학술 연구비 지원에 의하여 연구되었음

요 약

본 논문에서는 카메라가 가지는 대표적인 기능중의 하나인 자동 화이트 밸런스에 대한 알고리즘을 제안한다. 화이트 밸런스는 흰색의 물체나 물건 고유의 색이 아닌 부분들을 제거하는 과정이다. 화이트 밸런스를 수행하기 위해 사람의 눈에 의해 느끼는 시각차와 색차의 표현이 동일한 CIEL*a*b* 색 공간에서 영상의 분포를 분석하여 흰색 물체의 색 변화 정도를 추정한다. 이를 기준 백색 추정이라 한다. 정확한 추정을 위하여 환경에 의해 변화 되었다고 추정되는 부분에 대해 그룹화 한다. 그룹화된 영상 정보를 통해 영상의 특성을 파악하여 기준 그룹을 정하여 기준 그룹까지의 누적 픽셀들을 선택하는 컬러 샘플링하여 기준 백색을 추정한다. 또한 영상 보정을 위한 컬러 이득은 영상의 포화(Saturation)를 고려하여 얻어진다. 이를 통한 제안된 자동 화이트 밸런스 알고리즘은 뛰어난 영상 보정 기능을 가진다.

ABSTRACT

In this paper, we propose a novel auto white balance algorithm which is one of the representative functions on cameras. White balance is the process of removing unrealistic color casts, which will make the captured white objects appear white. For white balance, we employ CIEL*a*b* color space which is the most complete color model available and is conventionally used to describe all the colors visible to the human eye and estimate the color difference on white objects with distribution of the image which is called the reference white estimation. For accuracy, we form groups or sets of pixels that are altered by the light sources and other elements. Moreover, Standard group is decided by judgment of specific-case images with the information of groups. Then, the reference white estimation is performed by the color sampling which is to choose all the accumulated pixels contained within the standard group. The color gain for image compensation by considering the color saturation is also computed. the proposed algorithm provides a significant performance.

키워드

Auto White Balance, CIEL*a*b* color space, Color Sampling, color gain

* 동아대학교 전자공학과 석사과정

접수일자 2008. 04. 10

** 삼성전기 중앙연구소 주임연구원

*** 삼성전기 중앙연구소 책임연구원

**** 교신저자 : 동아대학교 전자공학과 조교수

***** 동아대학교 전자공학과 부교수

I. 서론

카메라의 광전소자로부터 취득한 아날로그 영상 및 비디오 신호를 디지털 신호로 변환하여 컴퓨터나 범용 DSP(Digital Signal Processing) 프로세서 혹은 전용 칩(ASIC) 등의 디지털 연산 장치를 통하여 영상의 화질개선, 보정, 변환, 분석, 합성, 인식 등의 문제를 해결하는 과정이 디지털 이미지 프로세싱이다. 현재 Mobile phone에서의 카메라의 장착이 일반적이 됨으로써 카메라의 성능의 중요성 또한 대두되고 있다. 오토 화이트 밸런스(Auto White Balance)는 3A(Auto White Balance, Auto Focus, Auto Exposure) 중의 하나로 카메라의 성능을 돌보아 하는 기능 중 하나이자 필수적인 기능이다.

AWB(Auto White Balance)란 어떠한 영상을 촬영하였을 때 영상에서 표현된 색들은 다양한 환경에서도 원 영상이 가진 색을 항상 같게 표시되어야 한다는 것이다. AWB의 기능이 수행되어 있지 않다면 저장된 흰색의 물체는 흰색으로 나타나지 않을 것이다. 예로 형광등이나 백열등 같은 환경에서의 영상들은 푸르거나 붉은 색조를 띠는 영상들이 발생하게 되는데 이는 각 빛들의 환경이 각각 다른 색 온도(Color temperature)를 가지고 있기 때문이다[1]. 즉, 화이트 밸런스는 흰색의 물체나 물건 고유의 색이 아닌 부분들을 제거하는 과정인 것이다.

일반적으로, 카메라에서 AWB의 기능 없이는 흰색의 물체는 흰색으로 표현되지 않는다. 따라서 정확하게 표현되지 않는 부분에 대해 보상하기 위해서는 영상에서 흰색의 물체에 변화된 색의 차이가 어느 정도인지를 추정하는 것이 가장 중요하며 이는 기준 백색 추정이라 한다. 이러한 방법으로는 입력된 영상에서 각각의 최대 R, G, B값을 찾아 기준 백색 추정을 하는 White Patch 알고리즘, 기준 백색 추정을 위해 다르게 훈련된 2개 신경망을 이용하는 Neural Networks 알고리즘, 입력된 컬러 영상의 평균 R, G, B값을 회색으로 결정하고 이를 이용하여 기준 백색 추정을 하는 Grayworld 알고리즘[2], [3]과 같이 색 공간(color space) 변환에 의한 영상 정보 손실을 최소화하기 위한 RIMM/ROMM 색 공간에 존재하는 입력 영상을 YCbCr 색 공간으로 변환하여 그 픽셀의 수와 분포의 히스토그램을 통해 영상의 기준 백색 추정을 하는 히스토그램을 사용한 알고리즘 등이 있다.

또한 색 온도는 사진, 비디오, 출판 등 여러 분야에서 적용되고 있으며 다양한 광원의 특징을 나타내는 파라

미터로써 기준 백색 추정을 하는데 밀접한 관계를 가지고 있다[4]. 하지만 색 온도는 광원에 의한 영상의 변화만을 나타낼 때 유효하다. 일반적인 영상은 광원에 의해 서만 흰색의 물체가 영향을 받아 변화하는 것이 아니라 주위의 벽이나 놓여 있는 물체 등, 다른 모든 환경의 반사에 의해서도 변화함으로 색 온도를 통한 기준 백색 추정을 하는 것은 올바르지 않을 수 있다.

따라서 본 논문에서는 일반적인 영상을 기준으로 하므로 색 온도를 고려하지 않는다. 또한, 어두운 색에서의 영상의 변화는 사람이 쉽게 인지하지 못하므로 흰색 물체를 정확하게 표현하는데 초점을 맞추며 흰색의 물체가 광원과 그 주위의 환경에 의해 변화되었을 것이라 생각되는 경계 영역을 그룹화하여 이에 해당되는 픽셀 정보 중에 영상에 따른 필요한 픽셀 정보만을 Color Sampling하여 기준 백색 추정한다. 또한 실제 Mobile phone 카메라에 적용가능하며 Hardwired가 가능하도록 비교적 간단한 구조를 가지는 AWB알고리즘을 제안한다.

II. AWB를 위해 제안된 알고리즘

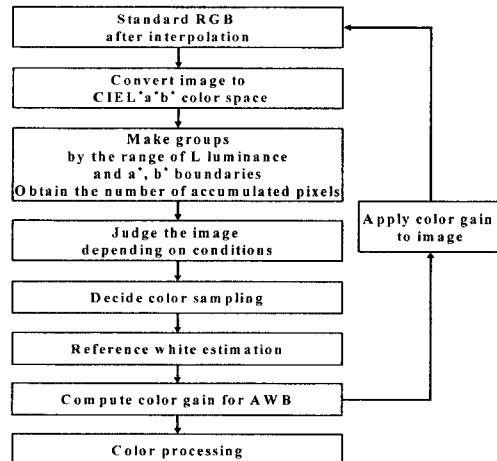


그림 1. 제안된 AWB 알고리즘의 흐름도
Fig. 1. Flow chart of the proposed AWB algorithm

일반적으로 Mobile phone 카메라는 카메라의 CCD나 CMOS 센서로 물체를 촬영하여 여러 단계의 영상 처리를 거친 후 영상을 표현하며 AWB는 많은 영상 처리 단계 중의 하나이다. 따라서 영상 처리 단계의 순서와 어느

단계의 영상 정보를 통해 AWB 기능을 수행 할 것인가 하는 것 또한 중요한 부분으로써 영상을 색을 모두 채워 넣는 Interpolation 기능을 거친 후 Standard RGB 색 공간(sRGB)의 영상을 입력 영상으로 한다.

제안된 AWB 알고리즘의 Flow Chart는 그림 1과 같다.

2.1. CIEL*a*b* 색 공간으로의 변환

제안된 알고리즘은 정확한 기준 백색 추정과 추정을 통한 보상을 위해 RGB 색 공간에 있는 영상 정보를 CIEL*a*b* 색 공간으로 변환하여 영상 정보와 분포를 이용한다. CIEL*a*b*의 컬러 gamut은 sRGB 색 공간의 컬러 gamut보다 크며 sRGB 색 공간의 컬러 gamut을 포함하고 있으므로 변환시 영상의 정보 손실을 줄이면서 밝기(L*: Luminance)와 색차(a*, b*: Chrominance)로 영상을 분류할 수 있으며 L*은 0~100까지의 밝기를 가진다.

CIEL*a*b* 색 공간은 좌표상의 색차와 시각상의 색 차 간의 비균일성을 줄인 USC(Uniform Chromaticity Scale)좌표계로써 기준 백색 추정값을 인간 시각상에서의 보정을 위한 색의 차이로 생각할 수 있으며 색 공간의 중심인 gray level을 기준으로 주위의 같은 색차를 가지는 범위 또한 쉽게 설정할 수 있다. sRGB 색 공간에서 CIEL*a*b* 색 공간으로의 변환식은 식 1, 2와 같다.

$$\begin{aligned} X &= 0.4124R + 0.3576G + 0.1805B \\ Y &= 0.2126R + 0.7152G + 0.0722B \\ Z &= 0.0193R + 0.1192G + 0.9505B \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} L^* &= 116f\left(\frac{Y}{Y_0}\right) - 15 \\ a^* &= 500\left[f\left(\frac{X}{X_0}\right) - f\left(\frac{Y}{Y_0}\right)\right] \\ b^* &= 200\left[f\left(\frac{Y}{Y_0}\right) - f\left(\frac{Z}{Z_0}\right)\right] \end{aligned} \quad (2)$$

여기서, X_0 , Y_0 , Z_0 는 sRGB 색 공간에서의 화이트 포인트 값이다.

2.2. 경계 영역에 따른 영상 정보의 그룹화

위에서 언급한 것과 같이 AWB를 수행하기 위해서는 흰색의 물체나 물건 고유의 색이 아닌 부분들을 통해 기준 백색을 어떻게 추정할 것인가가 가장 중요하다. 흰색의 물체의 변화에 대해 초점을 맞추었을 때 CIEL*a*b* 색 공간에서 중심을 나타내는 gray level의 주위가 광원

과 그 주위의 환경에 의해 백색이 변화되었을 가능성이 가장 높으므로 gray level 주위의 경계를 통해 경계 안에 포함되는 영상 정보들을 환경에 의해 변화된 정보라 가정하고 이를 통해 추정값을 얻는다.

그리고 같은 환경에서 gray level의 변화를 보았을 때 어두운 부분에 비하여 밝은 부분일수록 색상의 변화가 크게 나타나며 사람이 쉽게 인지 할 수 있다. 이와 같은 특징들을 반영하여 변화 되었을 것이라 추정되는 픽셀들에 대해 그룹화를 수행한다. 생성되는 각 그룹들은 밝기를 나타내는 L*에 의해 색차인 a*, b*의 경계를 설정하며, 그림 2와 같이 밝기 L*의 값이 클수록 a*, b*의 경계 영역을 크게 설정하여 밝은 부분에 가중치를 주도록 한다.

각 그룹들은 식 3와 같이 각 경계영역을 동시에 만족하는 픽셀들을 그 해당 그룹의 정보로써 포함한다.

$$\text{Group_num} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} L_{numR}^* < L^* \text{ value of pixel} &\leq L_{numL}^* \\ a_{numR}^* < a^* \text{ value of pixel} &\leq a_{numL}^* \\ b_{numR}^* < b^* \text{ value of pixel} &\leq b_{numL}^* \end{aligned}$$

Group_num의 num은 각 그룹의 번호를 나타내며 numR, numL은 각 그룹에 해당하는 경계영역의 값을 의미한다.

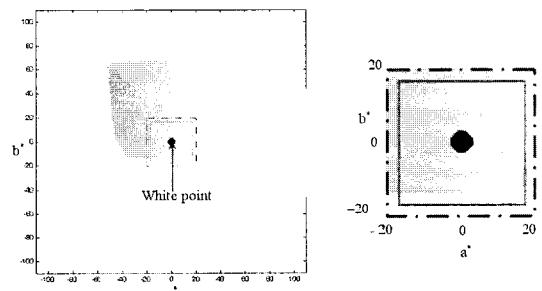


그림 2. 밝기 $L^*=90$ 일때에 따른 경계영역 설정의 예
Fig. 2. Examples of grouping with boundaries with color gamut $L^*=90$

각 밝기에 따라 경계영역을 정하는 것은 복잡하고 비효율적이므로 밝기 값의 5단위마다 경계영역을 변화시킨다. 또한, 가장 큰 L*값을 가지는 그룹을 최상위 그룹으로 정하고 밝기에 따라 순차적으로 그룹화 하여 각각

의 그룹의 정보를 사용할 수 있도록 하여 기준 백색을 추정하는데 사용한다. 제안된 알고리즘에서는 밝기의 순서대로 총 14개의 그룹을 설정하였으며 이러한 경계영역의 변화를 통해서도 AWB 수행 결과에 영향을 미친다.

2.3. 기준 백색 추정을 위한 컬러 샘플링

제안된 알고리즘은 변화된 흰색 물체를 어떻게 정확하게 보정 할 것인지에 대해 초점을 맞추고 있다. 따라서 앞서 그룹화를 통해 얻어진 그룹들 중에서 최상위의 그룹에 포함된 영상 정보들이 가장 밝은 부분에서의 환경에 의한 변화되었을 것이라고 가정한 픽셀들의 집합이므로 이 정보들을 통해 기준 백색 추정을 할 경우 정확한 추정값을 얻을 수 있다. 하지만 이와 같은 경우 저조도와 같이 최상위 그룹에 포함된 픽셀 수가 부족하거나 없는 경우에는 잘못된 기준 백색 추정이 수행될 수 있다.

따라서 잘못된 추정을 피하기 위해 정확한 기준 백색 추정을 위해서는 적정한 영상 정보를 얻을 수 있는 Color Sampling이 필요하다. 이를 위해 충분한 Color Sampling 수를 기준 샘플링 수(Standard_value)라 한다. 그리고 그룹화를 통해 얻어진 각 그룹의 정보들을 최상위 그룹을 기준으로 하여 누적하고, 누적된 픽셀들의 분포 특성을 이용하여 기준 그룹(Standard group)을 결정하여 기준 백색 추정을 위한 Color Sampling을 수행한다. 기준 그룹은 식 4과 같이 정의 된다.

$$n\text{그룹 까지의 누적픽셀수} \geq \text{Standard_value} \quad (4)$$

식 3을 만족하는 그룹이 기준 그룹이 되며 기준 그룹 까지의 누적픽셀들이 가지고 있는 정보를 통해 기준 백색 추정을 함으로 영상에 따라 기준 그룹과 Color Sampling은 적응적으로 변화하게 되며 기준 백색 추정을 하게 된다.

2.4. 특정 영상의 판단

위와 같은 Color Sampling 방식에서도 과잉 노출(Over-Exposed)된 영상이나 빛들이 국부적으로 비추어진 영상과 같이 전체적으로 어두운 배경에서 촬영되었음에도 이를 인지하지 못 하는 경우 잘못된 추정이 일어날 수 있다. 이와 같은 영상을 특정 영상이라 정의하고 이러한 영상에 대해서도 정확한 추정을 위해 영상을 특정영상과

일반영상으로 판단하는 방법이 필요하다.

특정영상과 일반영상을 판단하기 위해 앞서 얻었던 그룹들 중 최상위 그룹을 포함한 그 하위 4개의 그룹의 관계를 이용하며 식 5를 만족할 때 특정영상이라 판단한다.

$$\text{Group1} + \text{Group2} \geq \text{Group3} + \text{Group4} \quad (5)$$

여기서 Group1은 최상위 그룹이 가진 픽셀 수를 나타낸다. 일반적인 영상 경우 모든 그룹에 영상 정보가 골고루 분포할 확률이 가장 크다. 하지만 식 5를 만족하는 경우 매우 밝은 부분에서 흰색의 물체가 변화 했을 확률이 있는 픽셀들을 가지는 Group1과 Group2가 다음 밝기를 가지는 Group3과 Group4에 비해 많은 픽셀들이 존재한다는 것을 의미하며, 이는 영상의 환경을 유추 할 때 밝은 빛이 영상의 특정 부분에만 존재하거나 과잉노출이 된 환경이라 판단하는 것이다. 하지만 식 5를 만족하는 영상 중에 영상 전체가 밝은 환경에서 촬영 된 경우도 있으므로 특정영상이라 판단된 영상 중에 다른 조건식을 통해 일반영상으로 재 판단한다.

이와 같은 조건들을 통해 최종 특정영상이라 판단된 영상들에 대해서는 기준 백색 추정을 위해 다른 Color Sampling 방법이 필요하다. 따라서 특정영상의 경우 식 6과 같이 누적 그룹이 아닌 각 그룹이 가진 픽셀 수와 기준 샘플링 수를 비교하여 기준 그룹을 정한다.

$$\text{각 그룹의 픽셀수} \geq \text{Standard_value} \quad (6)$$

특정영상의 특징에 의해 각 그룹의 픽셀 수의 비교에 최상위 그룹은 제외한다.

2.5. White Balance Adjustment

위에서 언급한 것과 같이 영상을 분류하고 기준 그룹을 통하여 Color Sampling하여 얻어진 픽셀들을 통해 영상의 변화를 추정하는 기준 백색 추정이 이루어진다. 이렇게 얻어진 기준 백색 추정값은 입력영상이 화이트 포인트으로부터 추정값만큼 치우쳐 있다는 것을 의미하며, 추정값 비율의 역수를 영상의 R, G, B의 요소에 반영하게 되면 화이트 밸런스를 수행할 수 있다. 영상에 보정하기 위한 비율 값을 컬러 이득이라 하며 식 7과 같다.

$$R_{gain} = G/R, G_{gain} = G/G=1, B_{gain} = G/B \quad (7)$$

하지만 컬러 이득이 클 경우 영상에 포화(Saturation) 현상이 발생할 수 있으므로 추정값에 대해 한 번에 보정하는 것이 아닌 알고리즘을 반복하여 화이트 포인트로 서서히 접근시킨다. 본 논문에서는 화이트 포인트로의 접근을 위해 적응 신호처리의 한 방법인 constant modulus algorithm (CMA)을 수정하여 적용하였으며 식 8과 같다[5].

$$\begin{aligned} A_p(m+1) &= W_p + \mu \times R_w(m) \\ &\times \left(W_p^T \times R_w(m) - \frac{W_p^T \times R_w(m)}{|W_p^T \times R_w(m)|} \right) \end{aligned} \quad (8)$$

$R_w(m)$ 은 m번쨰 알고리즘 수행 할 때의 추정값, W_p 는 화이트 포인트, $A_p(m+1)$ 은 보정을 위한 접근 지점이며, μ 는 보정 속도를 제어하는 상수이다. 식 8을 통해 얻어진 접근값을 R, G, B 로 변환하여 컬러 이득을 얻는 것이다.

III. Experimental Results

입력 영상 그림 3(a),(d),4(a),(d)와(g)는 mobile phone 카메라용 Micron사의 3메가 CMOS image sensor로 촬영 하였으며 Interpolation과정을 거친 후 sRGB 색 공간에서 나타난 영상이다. 영상 결과의 비교를 위해 히스토그램을 이용한 AWB알고리즘의 결과를 그림 3(b),(e),4(b),(e)와(h),에 나타내었다.

그림 3(c),(f),4(c),(f)와(i)는 제안된 AWB알고리즘의 결과이다. 제안된 AWB알고리즘의 성능 평가를 위해 영상에서 화이트 포인트까지의 Euclidean distances(ΔE_{ab}^*)를 CIEL*a*b* 색 공간에서 구하였으며 그 결과는 그림 3(i)이다.

그림 3(c)와 (f)에서의 Euclidean distances를 나타내는 ①,②,③과④의 결과는 그림 3(b)와 (e)의 값과 비교하였을 때 매우 작은 것을 확인할 수 있다. 이는 제안된 알고리즘이 더 훌륭한 수행 능력을 가지고 있음을 보여준다. 하지만 그림 3(b)-④의 경우 3(c)-④보다 화이트 밸런스가 더 잘 이루어 졌음을 확인할 수 있다. 이는 제안된 알고리즘의 경우 밝은 부분에 대해 더 많은 가중치를 두었기 때문이며 어두운 부분에서의 색차는 사람의 눈에서 잘 구별되지 않는다는.

그림 4(a)는 일반적인 영상으로써 그림 4(b)와 (c)가 결

과 영상이다. 그림 4(d)는 영상의 전체 밝기에 비해 부분적으로 빛이 들어와 특정영상으로 분류된 경우이며 그림 4(e)와 (f)에 AWB 후의 결과를 나타내었다. 그림 4(g)는 처음에는 특정영상으로 판단되었다가 다시 일반영상으로 판단한 경우이며 그에 따른 결과는 4(h)와 (i)이다.

IV. 결 론

본 논문에서는 CIEL*a*b* 색 공간을 바탕으로 한 AWB알고리즘을 제안하였으며 영상에 따른 적응적 Color Sampling을 통해 기준 백색 추정을 하여 흰색 물체에 여러 환경에 의해 변화량을 추정하여 이를 보정하였다. 적응적 Color Sampling과 특정영상과 일반영상을 구별하는 기준식은 백색 추정을 정확하게 하는데 큰 영향을 주었다. 그리고 알고리즘의 반복을 통하여 영상의 포화(Saturation)을 방지하였다. 시뮬레이션 결과와 같이 제안된 알고리즘은 뛰어난 AWB기능을 수행한다.

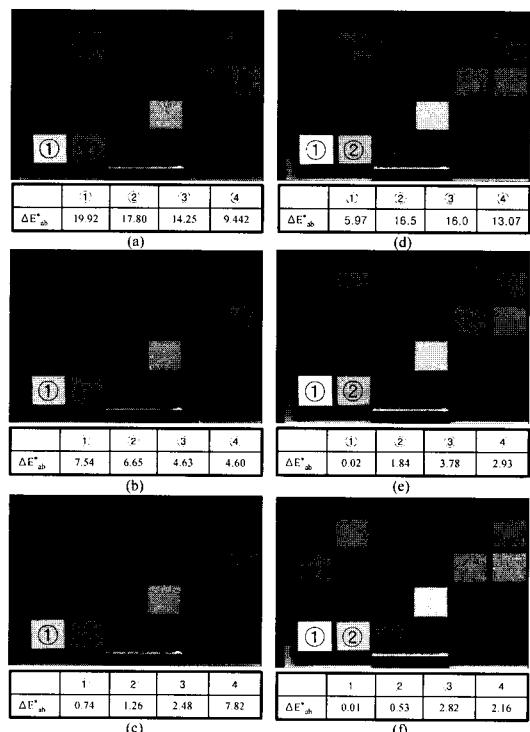


그림 3. 제안된 알고리즘의 시뮬레이션 결과
Fig. 3. Simulation results for novel AWB algorithm

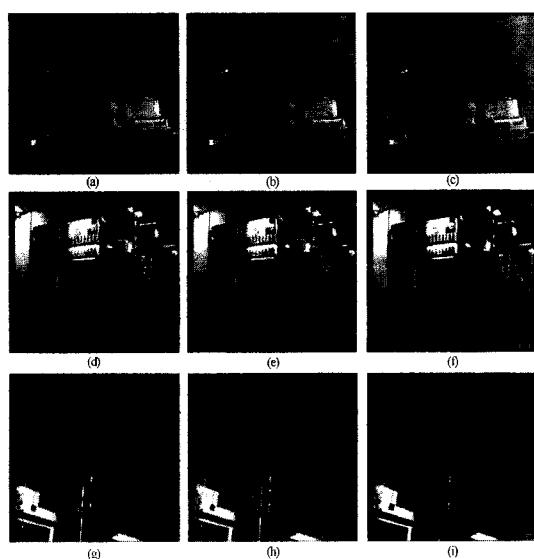


그림 4. 제안된 알고리즘의 시뮬레이션 결과

Fig. 4. Simulation results for novel AWB algorithm

저자소개



김경린(Kyungrin Kim)

2007년 2월 동아대학교 전기전자컴퓨터공학부 전자공학과(공학사)
2007년 3월 ~ 현재 동아대학교 전자공학과 석사과정

※ 관심분야 : VLSI algorithm/architecture design, image /video processing, and wireless communication



손경수(Kyoungsoo Son)

2006년 2월 동아대학교 전기전자컴퓨터공학부 전자공학과(공학사)
2008년 2월 동아대학교 전자공학과(공학석사)

2008년 3월 ~ 현재 삼성전기 중앙연구소 주임연구원

※ 관심분야 : VLSI algorithm/architecture design, image /video processing, and wireless communication



하주영(Jooyoung Ha)

2003년 2월 동아대학교 전기전자컴퓨터공학부 전자공학과(공학사)
2005년 2월 동아대학교 전자공학과(공학석사)

2008년 2월 동아대학교 전자공학과(공학박사)

2008년 3월 ~ 현재 삼성전기 중앙연구소 책임연구원

※ 관심분야 : VLSI algorithm/architecture design, image /video processing, and wireless communication



김상준(Sangchoon Kim)

1993년 연세대학교 전자공학과(공학사)
1995년 미국 University of Florida 전기 공학과(공학석사)

1999년 미국 University of Florida 전기 및 컴퓨터공학과(공학박사)

2000년 ~ 2005년 LG전자 책임연구원

2005년 ~ 현재 동아대학교 전자공학과 조교수

※ 관심분야 : 이동/무선통신

- [1] J. Huo, Y. Chang, J. Wang, and X. Wei, "Robust automatic white balance algorithm using gray color points in image," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol.52, issue 2, pp. 541-546, May 2006
- [2] V. Cardei, B. Funt, and K. Barnard, "White point estimation for uncalibrated images," *Proc. of the IS&T/SID 7th Color Imaging Conf.*, pp. 97-100, Nov. 1999.
- [3] Eastman Kodak Company, "Reference Output Medium Metric RGB Color Space (ROMM RGB) White Paper," Version 2.2, 1999.
- [4] K. WNUKOWICZ and W. SKARBEK, "Colour temperature estimation algorithm for digital images properties and convergence," *Opto-Electronics Review*, 11, no. 3, pp. 193-196, 2003
- [5] B. Agee, "Blind sequence and capture of communication signals using a multitarget constant modulus beamformer," in *Proc. MILCOM Oct. 1989*.



강봉순(Bongsoon Kang)

1985년 연세대학교 전자공학과
(공학사)

1987년 미국 University of Pennsylvania
전기공학과(공학석사)

1990년 미국 Drexel University 전기 및 컴퓨터공학과
(공학박사)

1989년~1999년 삼성전자 반도체 수석연구원

1999년~현재 동아대학교 전자공학과 부교수

2006년~현재 멀티미디어 연구센터 소장

2006년~현재 2단계 BK21 사업팀장

※ 관심분야 : VLSI algorithm/architecture design, image
/video processing, and wireless communication