

논문 2014-51-9-15

# 영상센서의 출력 해상도 모드를 고려한 색상 보간 알고리즘 (Color Interpolation Algorithm for Pixel Resolution Modus of Image Sensor)

김 부 공\*, 김 문 철\*\*

(Bu-Gong Kim and Moon-Cheol Kim<sup>©</sup>)

## 요 약

현재까지 단일 영상센서를 사용하는 디지털 이미징 장치들을 위해 다양한 보간 기법들이 제안되어 왔다. 그러나 기존 보간 기법들은 주기적 샘플링을 사용하는 영상센서의 출력 해상도 모드를 고려하지 않았다. 따라서 출력 영상에서 해상도 화질 열화 및 color artifacts(color moire, zipper)현상들이 문제점으로 나타난다. 본 논문은 영상센서의 출력 해상도 모드를 고려한 색상 보간 알고리즘을 제안한다. 제안하는 보간 알고리즘은 효과적으로 에지 예측을 보상하는 초기단계와 해상도 모드를 고려하여 최소한의 방향성을 이용한 화질 개선단계로 구성되었다. 기존 기법들과 제안하는 알고리즘 결과를 분석 하기위해 주관적 화질비교와 PSNR(Peak Signal to Noise Ratio)을 통한 객관적 화질평가를 비교하였다. 객관적인 수치와 시각적인 부분에서 기존 기법 대비 color artifacts를 효과적으로 개선하였다.

## Abstract

Various interpolations for digital imaging devices with a single image sensor have proposed. However, conventional methods did not consider the resolution modus of image sensor using periodic sampling. Therefore, the resulting images have problems such as quality degradation and color artifacts(color moire, zipper). In this paper, we propose a color interpolation algorithm for pixel resolution modus of image sensor. The proposed algorithm consisted of an initial step to compensate edge prediction effectively and refinement step using minimum directions for pixel resolution modus. To analyze a result of the proposed algorithm with conventional methods, we evaluated subjectively using images quality comparison and objectively using PSNR(Peak Signal to Noise Ratio). Experimental results showed that the proposed algorithm was more successful in eliminating the color artifacts than conventional methods judged by both objective and subjective criteria.

**Keywords** : Color Filter Array(CFA), Demosaicking, Interpolation, Binning, Skipping

## I. 서 론

\* 학생회원, 한국산업기술대학교 전자공학과  
(Department of Electronics Engineering, Korea Polytechnic University)

\*\* 정회원, 한국산업기술대학교 전자공학부  
(Department of Electronics Engineering, Korea Polytechnic University)

© Corresponding Author(E-mail: mckim@kpu.ac.kr)

접수일자: 2014년5월08일, 수정일자: 2014년8월15일  
수정완료: 2014년9월11일

디지털 카메라 및 캠코더, 휴대폰 카메라와 같은 디지털 이미징 장치들은 현대의 편리와 촬영된 영상을 바로 볼 수 있다는 장점으로 널리 이용되고 있다. 디지털 이미징 장치에서 영상정보를 획득하기 위한 영상센서는 CCD(Charge Coupled Device), CMOS(Complementary Metal Oxide Semiconductor)등을 사용한다. 이러한 센

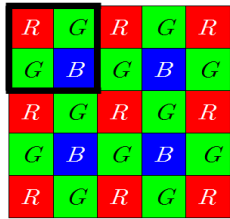


그림 1. 베이어 패턴  
Fig. 1. Bayer pattern.

서들은 빛의 밝기 정보만을 받을 뿐 색 정보를 분리할 수 없어 최소 세 개 이상의 컬러센서가 필요하다. 하지만 일반 소비자를 대상으로 하는 제품은 제조 단가를 절감하기 위해 단일 영상센서를 사용하여 각 화소 당 한 가지 색상 정보만을 배열한다. 다양한 배열 방법 중 가장 널리 사용되는 배열 구조는 그림 1과 같은 베이어 패턴(Bayer Pattern)<sup>[1]</sup>으로 2x2화소에 Green화소 2개, Red와 Blue화소 1개씩으로 구성되어 있다. 이러한 배열 구조는 Green성분이 사람의 눈에 가장 민감하고, 휘도 성분에 대하여 가중치가 가장 크기 때문이다. 영상은 한 화소 마다 세 가지 색정보가 필요하기 때문에 단일 영상센서로 배열된 베이어 패턴을 기준으로 각 화소 마다 나머지 두 가지 색 정보를 복원해야 한다. 이 과정을 디모자이킹(Demosaicking)<sup>[2~3]</sup> 혹은 색 필터 배열 보간(Color Filter Array Interpolation)이라 한다.

기존의 색 필터 배열 보간 기법들은 영상센서의 해상도 모드(Binning, Skipping)<sup>[4]</sup>를 고려하지 않은 채 제안되어 왔다. 영상센서의 해상도 모드는 Binning과 Skipping으로 구성되어 있어 영상 촬영 시 메모리 최소

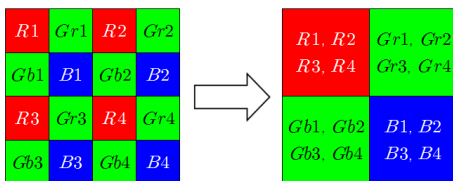


그림 2. Binning을 통해 재배열된 베이어 패턴  
Fig. 2. Bayer pattern's reconstruction using Binning.

표 1. 센서의 해상도 모드에 따른 Binning과 Skipping  
Table 1. Binning and Skipping for pixel resolution modulus of image sensor.

Sensor	Mode	Binning	Skipping
Sony ICX682	Fast AF	H 4, V 2	V 4/32
	Live View	H 4, V 2	V 4/16
	Movie Recording	H 4, V 2	V 4/8

화, 시간단축, 소비전력 절약 측면에서 효율성을 극대화시킬 수 있다. 먼저 Binning은 그림 2와 같이 기존의 Bayer pattern에서 동일 채널에 해당하는 컬러 성분들을 가산하여 그 평균을 사용하는 기법이다. Skipping은 영상의 수평방향으로 일부 화소 또는 수직방향으로 일부 라인을 Skip하는 기법으로 그림 3의 Movie Recording 모드를 보면 검은색으로 표기된 라인은 skip하게 된다. 표 1은 해상도 모드 종류인 Fast AF, Live View, Movie Recording에 해당하는 Binning과 Skipping을 나타낸 것이다. Sony ICX682센서의 Fast AF모드에서 Skipping은 수직방향으로 32라인 중 4라인(V 4/32), Live View는 16라인 중 4라인(V 4/16), Movie Recording은 8라인 중 4라인(V 4/8) 만을 사용하고, Binning은 수평방향으로 4화소, 수직방향으로 2라인(H 4, V 2)을 이용해 총 8화소가 사용된다. 예를 들어 그림 3과 같이 Sony ICX682 영상센서의 Movie Recording 모드를 보게 되면, 먼저 Skipping은 수직방향으로 8라인 중 검은색으로 표시된 4라인은 skip하고, 나머지 4라인만을 사용한다. Binning은 수평방향으로 4개 화소, 수직방향으로 2라인을 사용하여 총 8개 화소들의 평균값을 통해 표현된다. 이처럼 해상도 모드에 따라 재배열된 Bayer pattern을 제안하는 알고리즘의 입력영상으로 사용하게 된다.

현재까지 베이어 패턴을 사용한 다양한 색 필터 보간 기법<sup>[2~3, 5]</sup>들이 제안되었다. 그 중 영상의 방향성 및 에지 성분을 고려하지 않은 선형 보간 기법은 가장 간단한 보간 알고리즘으로 실행 속도 및 메모리 측면에서 효율적이고 평탄영역에서 대체적으로 좋은 특성을 보이지만, 영상의 에지와 같은 고주파 영역에서는 color moire, zipper현상들이 나타난다. 고정 휴(constant hue : 고정 색상)<sup>[6~8]</sup>를 이용한 기법은 채널간의 컬러 차이

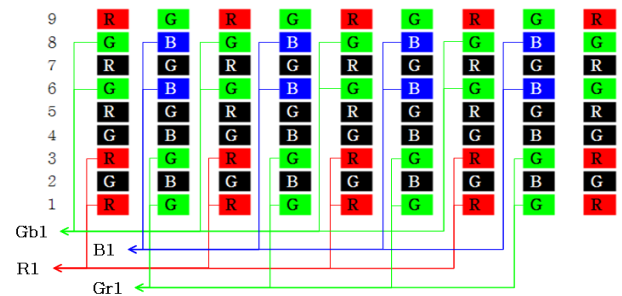


그림 3. Sony ICX682의 Movie Recording 모드  
Fig. 3. Movie Recording mode of Sony ICX682.

인 휴 값이 거의 일정하다고 가정하고 상호 채널을 이용하여 보간 한다. 이 기법은 급격히 변화하지 않는 색상에서는 매우 우수한 보간 성능을 보이지만 선형 보간 기법과 동일하게 에지 부근에서 문제점이 발생한다. 이러한 문제점을 보완하기 위해 영상의 에지 성분을 고려한 에지 센싱 기법<sup>[9~12]</sup>들이 제안 되었다. 이는 에지 영역에서 강인한 특성을 보이지만 수평, 수직간의 기울기 예측에 의존적인 성향을 보이기 때문에 신뢰성 높은 예측오차의 보상이 필요하다. 에지방향성과 고정 휴 기법을 사용하여 보간 하는 에지 방향성 컬러 보간 기법<sup>[13~16]</sup>들은 에지를 방향성에 따라 보간 하고, 이를 고정 휴 기법으로 개선함으로써 다른 기법들에 비해 상대적으로 우수한 결과를 보인다. 이처럼 다양한 보간 기법들이 제시되어 왔지만 기존 보간 기법들은 해상도 모드를 고려하지 않고 상대적으로 상관도가 떨어지는 주변 화소들을 사용하기 때문에 해상도 열화 현상 및 color artifacts가 발생한다.

본 논문은 영상센서의 출력 해상도 모드를 고려한 보간 기법을 제안한다. 제안하는 알고리즘은 신뢰성 있는 에지 예측을 기반으로 하는 초기단계와 해상도 모드에 따른 화질 개선을 위해 최소한의 방향성을 고려한 개선 단계로 진행 된다. 논문 구성은 다음과 같다. II장에서는 제안 알고리즘의 순서도를 통해 1절의 초기단계와 2 절의 개선단계를 설명한다. III장에서는 실험영상을 통해 제안하는 알고리즘과 기존 기법들을 해상도 모드에 따라 객관적 화질평가와 주관적 화질비교를 통해 각각의 결과를 비교 분석 한다. IV장에서는 본 논문의 결론을 제시한다.

## II. 본 론

제안하는 알고리즘의 순서도는 그림 4와 같다. 디지털 이미징 장치로부터 획득한 영상 정보를 해상도 모드의 선택에 따라 베이어 패턴으로 재배열한 후 입력영상으로 사용한다. 초기단계에서의  $G$ 채널 보간은 에지를 검출하여 기울기( $k$ )와 가중치( $w$ )를 추출하고, 이를 적용해 수평과 수직간의 적응적 가중치 평균 필터(Adaptive Weighting Average Filter)를 사용한다.  $R/B$ 채널은 각 채널의 저주파 성분과 보간이 완료된  $G$ 채널의 고주파 성분을 가산함으로써 보간을 완료한다. 개선단계에서의  $G$ 채널 개선은 주변 화소 4개를 사용하여

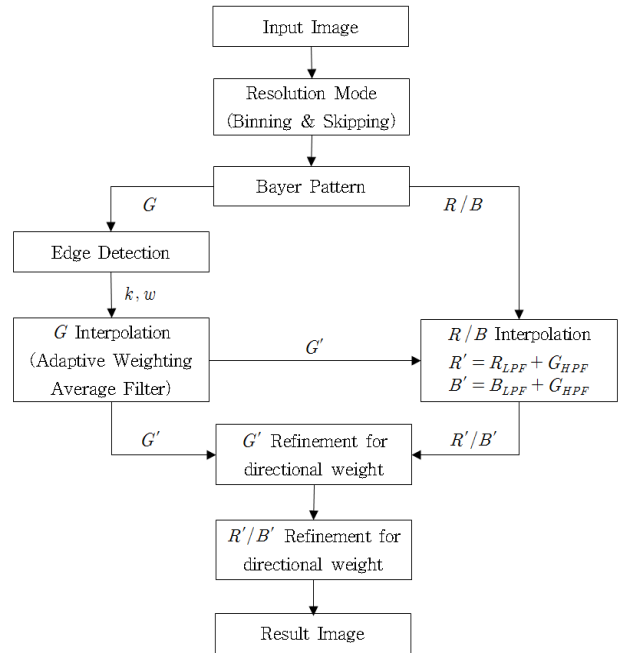


그림 4. 제안하는 알고리즘의 순서도  
Fig. 4. Flowchart of the proposed algorithm.

각각의 기울기에 반비례하는 가중치를 사용한다.  $R/B$  채널 개선도  $G$ 채널과 동일한 알고리즘을 따른다. 순서도에서  $R', G', B'$ 은 보간이 완료된 채널을 의미한다. 제안하는 알고리즘의 수식 적용에 이해를 돕기 위해 그림 5와 같이 그림 1의 기본 베이어 패턴영상에서  $R, B, Gr, Gb$  각 채널 중심 기준으로  $5 \times 5$  주변 화소들을 표현 하였다. 단, 수평방향으로 Blue와 인접한 Green 화소는  $Gb$ , Red와 인접한 화소는  $Gr$ 로 표기 되었다. 여기서  $i$ 는 수평 화소,  $j$ 는 수직 화소의 위치를 의미한다.

### 1. 초기단계

에지영역의 예측 신뢰도를 높이는 방법은 영상센서의 해상도 모드를 고려하기 위한 중요요소로써 두 가지 방향예측을 통해 에지영역과 평탄영역을 구분한다. 먼저, 주변 화소 간 상관도가 높은  $G$ 채널을 보간하고,  $R/B$ 채널 보간을 수행한다.

#### 가. G채널 보간

그림 5의 (c)  $Gr$ , (d)  $Gb$  채널 중심에서는 원신호인  $G$ 성분이 존재하므로  $G$ 채널 보간은 그림 5의 (a)  $R$ , (b)  $B$  채널 중심인 경우에 수행한다.  $G$ 채널 보간에 앞서 에지 검출을 위해 가중치( $w$ )의 기울기( $k$ )를 추출한다. 식 (1)과 같이 4개의  $G$ 화소 합으로 수평과 수직

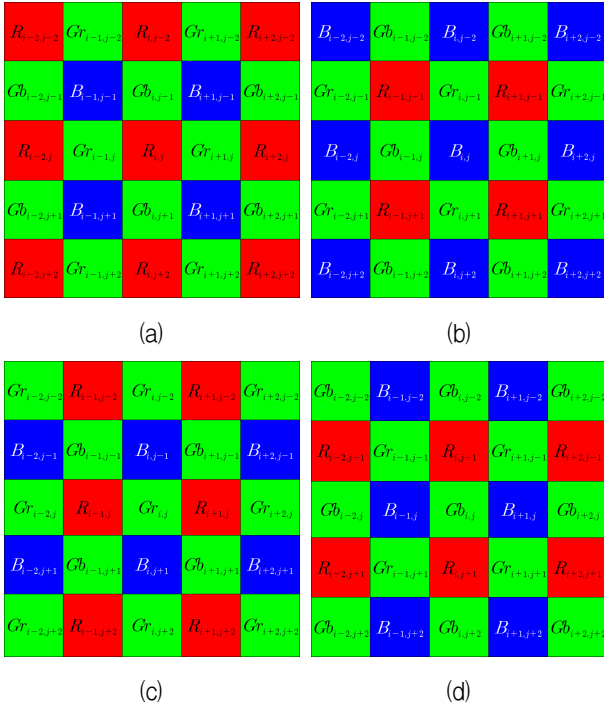


그림 5. (a)  $R$  중심의 주변 패턴,  
(b)  $B$  중심의 주변 패턴,  
(c)  $G_r$  중심의 주변 패턴,  
(d)  $G_b$  중심의 주변 패턴

Fig. 5. (a) Neighboring Pattern of  $R$ ,  
(b) Neighboring Pattern of  $B$ ,  
(c) Neighboring Pattern of  $G_r$ ,  
(d) Neighboring Pattern of  $G_b$ .

에 대한 방향성을 비교한다.

$$H_T = \sum_{m=0}^1 \sum_{n=0}^1 |G_{i+2n-2, j+2m-1} - G_{i+2n, j+2m-1}| \quad (1)$$

$$V_T = \sum_{m=0}^1 \sum_{n=0}^1 |G_{i+2m-1, j+2n-2} - G_{i+2m-1, j+2n}|$$

여기서,  $G_{i,j}$ 는 수평( $i$ ), 수직( $j$ )의  $G$  채널 화소 위치를 의미한다.

$$k = \begin{cases} \alpha, & \text{if } H_T > V_T \\ \beta, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

식 (1)에 의해 추출된 수평과 수직의 방향성 강도를 식 (2)의 조건으로 사용하여 기울기( $k$ )를  $\alpha$ 와  $\beta$ 로 구분한다. 이 기울기( $k$ )는 최적의 보간을 위해 식 (4)-(6)에서의 저주파 성분에 고주파의 보상 정도를 조절하는데 사용된다. 보상 정도는 HVS(Human Visual System)과 영상센서에 영상이 입력되는 동안의 주파수

전달 함수에 의존적이기 때문에 물리적인 신호세기  $H_T$ 와  $V_T$ 에 정확히 비례하지는 않는다. 본 논문에서 사용되는  $(\alpha, \beta)$ 는 그림 6의 실험영상들을 사용하여 주관적 화질비교 및 객관적 화질평가인 PSNR(Peak Signal to Noise Ratio)를 통해 최적화 하였다. 자세한 실험 및 결과는 III장에 기술되었다.

결정된 기울기( $k$ )로 가중치( $w$ )를 추출한다. 이때, 수평과 수직간의 방향성과 예지성분을 파악하기 위해 식 (3)과 같이 수평성분( $D_H$ )과 수직성분( $D_V$ )을 계산한다. 이는  $G$ 성분의 1차 미분 값에  $R$  또는  $B$ 의 2차 미분 값을 가산한 값으로 방향성을 확인 할 수 있다. 예를 들어 그림 5의 (a)  $R$  중심일 경우, 수평성분  $G$ 는  $G_r$ 이고, 수직성분  $G$ 는  $G_b$ 이며  $A$ 는  $R$ 성분 이다. 반대로 그림 5의 (b)  $B$  중심일 경우, 수평과 수직 성분이 서로 바뀌고,  $A$ 는  $B$ 성분을 의미한다. 계산된 식 (2)와 (3)을 통해 식 (4)와 같이 가중치( $w$ )를 추출할 수 있다. 이는 식 (6)에 사용되는 적응적 가중치 평균 필터의 가중치 값으로 식 (3)의 방향성 조건에 따라  $G_h$ 와  $G_v$ 에 적용된다.

$$D_H = |G_{i+1, j} - G_{i-1, j}| + |2A_{i, j} - A_{i-2, j} - A_{i+2, j}| \quad (3)$$

$$D_V = |G_{i, j-1} - G_{i, j+1}| + |2A_{i, j} - A_{i, j-2} - A_{i, j+2}|$$

$$w = k * |D_H - D_V| \quad (4)$$

$$G_h = \frac{G_{i+1, j} + G_{i-1, j}}{2} + \frac{2A_{i, j} - A_{i+2, j} - A_{i-2, j}}{4} \quad (5)$$

$$G_v = \frac{G_{i, j+1} + G_{i, j-1}}{2} + \frac{2A_{i, j} - A_{i, j+2} - A_{i, j-2}}{4}$$

식 (5)에서 계산된 수평, 수직방향의  $G$  채널 저주파 성분과  $A$  ( $R$  or  $B$ ) 채널의 고주파 성분이 가산된  $G_h$ 와  $G_v$ 로 식 (6)과 같이  $D_V$ 와  $D_H$  조건에 따라  $G$  채널을 보간 한다.

$$G'_{i, j} = \begin{cases} w * G_v + (1-w) * G_h, & \text{if } D_V > D_H \\ w * G_h + (1-w) * G_v, & \text{if } D_H > D_V \\ (G_v + G_h) / 2, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

나. R/B채널 보간

$R/B$  채널은  $G$  채널 보간 대비 상대적으로 간단한 알고리즘을 사용한다. 이는  $G$  채널 대비 주변 화소에 대

표 2. 화소 위치의 재정의  
Table 2. Redefinition of pixel position.

$x$	$y$	$z$
$2n-1$	$1-m$	$1-2m$

한 정보가 부족하고, 화소간 거리가 멀어 고주파 성분을 포함하고 있지 않아 보간 시 color moire 및 zipper 현상 등의 부작용이 나타나기 때문이다. 그림 5의 (a), (b)인 R중심과 B중심인 경우 식 (7)과 같이 앞서 보간이 완료된 G성분( $G'$ )을 통하여 R/B 채널에 결여된 고주파 성분을 추출하고, 이를 보간 하려는 각 채널 정보의 저주파 성분에 가산한다. 그림 5의 (a) R 중심인 경우  $A$ 는  $B$ ,  $A'$ 은 보간이 완료된  $B$ 를 의미하고, (b) B 중심인 경우는  $R$ 을 의미한다.

수식의 간소화를 위해 화소 위치를 표 2과 같이 재정의 하여 사용한다.

$$A'_{i,j} = \frac{1}{4} \left( \sum_{m=0}^1 \sum_{n=0}^1 A_{i+z, j-x} \right) + G'_{i,j} - \frac{1}{4} \left( \sum_{m=0}^1 \sum_{n=0}^1 G'_{i+z, j-x} \right) \quad (7)$$

$G_r$ 과  $G_b$ 중심인 그림 5의 (c), (d)경우는 G채널 주변 R과 B성분의 두 화소씩을 사용하여 식 (8)과 같이 보간 한다. 단, 식 (8)은 그림 5의 (c)를 기준으로 구성 되었으며 그림 5의 (d)경우는 R과 B채널의 화소 변화를 고려하여 수평과 수직을 교차한 후 동일 식을 사용한다.

$$R'_{i,j} = \frac{1}{2} \left( \sum_{m=0}^1 R_{i+z, j} \right) + G_{i,j} - \frac{1}{2} \left( \sum_{m=0}^1 G'_{i+z, j} \right)$$

$$B'_{i,j} = \frac{1}{2} \left( \sum_{m=0}^1 B_{i, j+z} \right) + G_{i,j} - \frac{1}{2} \left( \sum_{m=0}^1 G'_{i, j+z} \right) \quad (8)$$

## 2. 개선단계

초기단계에서 예지 방향성을 고려하여 보간이 완료된 R, G, B채널은 주변 화소 대비 색차의 변화폭이 큰 영상에서 방향성 예측의 오차가 발생한다. 따라서 개선단계에서는 주변 화소에 적응적인 색차 가중성분을 사용하여 추가 개선함으로써 color artifacts를 보완할 수 있다. 단, 영상센서의 해상도 모드를 고려한 제안 알

고리즘은 개선단계에서 최소한의 주변 화소만을 사용한다. 이는 Binning과 Skipping이 증가할수록 영상의 주파수 대역 감소와 더불어 주변 화소와의 상관도가 감소하기 때문이다.

### 가. G채널 개선

각 채널 간 일정한 색차 값을 갖는 고정 휴(constant hue)기법을 적용하여 G채널을 개선한다. 먼저, 식 (9)의 색차( $C$ )는 그림 5의 (a)와 (b)인 경우 동일 화소 위치의 G성분과 초기단계에서 보간이 완료된  $A'$  ( $R'$  or  $B'$ )성분의 차로 계산하고, 방향성( $D$ )는 중심채널 기준으로 주변 4개 G화소 차의 절대 값과 R 또는 B화소 차의 절대 값을 가산하여 4방향에 대한 움직임 정도를 계산한다. 추출된 방향성( $D$ )값이 큰 경우 색차에 대한 가중치를 줄이기 위하여  $Kn$ 과 같이 색차( $C$ )와 방향성( $D$ )를 반비례 관계로 계산 한다.  $Kd$ 는 주변 4개 화소의 방향성에 따라 가중치를 주기 위해 사용되었다. 추출된  $Kn$ 과  $Kd$ 를 사용하여 일정한 색차 값을 갖는 고정 휴 기법을 적용한다. 중심채널  $A$ (R or B)에 계산된  $Kn$ 과  $Kd$ 를 가산하여 G채널을 개선 한다.

$$C = G_{i+xm, j+xy} - A'_{i+xm, j+xy}$$

$$D = |A_{i,j} - A'_{i+xm, j+xy}| + |G_{i+m, j-y} - G_{i-m, j+y}|$$

$$Kn = \sum_{m=0}^1 \sum_{n=0}^1 \frac{C}{D}, \quad Kd = \sum_{m=0}^1 \sum_{n=0}^1 \frac{1}{D} \quad (9)$$

$$G'_{i,j} = A_{i,j} + \frac{Kn}{Kd}$$

### 나. R/B채널 개선

R/B채널 개선은 G채널 개선과 동일한 알고리즘을 따른다. 단, 개선이 완료된 G성분을 사용한다. 그림 5의 (a), (b)와 같이 R과 B중심인 경우는 신뢰도 높은 대각선 4방향의 원 신호를 고려하여 색차( $C$ )와 방향성( $D$ )를 식 (10)과 같이 계산하여 R/B채널을 개선하고, 그림 5의 (c), (d)인  $G_r$ 과  $G_b$ 중심은 수평과 수직방향으로 2개의 원 신호  $A$ (R or B)가 존재하기 때문에 이를 사용해 색차( $C$ )와 방향성( $D$ )를 추출한 후 방향성에 반비례하는 색차성분을 가감함으로써 R/B채널을 개선한다.

$$C = G'_{i+x, j+yz} - A_{i+x, j+yz}$$

$$D = |G'_{i, j} - G'_{i+x, j+yz}| + |A_{i+x, j+yz} - A_{i-x, j-yz}|$$

$$Kn = \sum_{m=0}^1 \sum_{n=0}^1 \frac{C}{D}, \quad Kd = \sum_{m=0}^1 \sum_{n=0}^1 \frac{1}{D} \quad (10)$$

$$A'_{i, j} = G'_{i, j} - \frac{Kn}{Kd}$$

### III. 실험

II장에서 언급한 기율기( $k$ )는 일반적으로 다양한 영상들과 HVS(Human Visual System)에 의존적이다. 따라서 본 논문에서는 ( $\alpha, \beta$ )를 그림 6과 같이 널리 사용되는 24개의 Kodak 영상을 통해 실험적으로 최적화하였다. 실험은 객관적 화질평가인 PSNR(Peak Signal to Noise Ratio)와 주관적으로 color artifacts를 비교하였다.

24개의 Kodak 영상을 토대로  $\alpha$  [0, 0.6],  $\beta$  [0, 0.3]의 범위를 충분한 간격을 두고 원본 영상과 보간이 완료된 영상을 비교 실험 하였다. 그림 7은 24개 실험영상의 평균 PSNR 결과로  $\alpha$ 와  $\beta$ 가 동일한 0.05 값일 때 최대 PSNR값을 보였다. 본 논문에서는 이를 “average scene optimum”이라 정의한다.



그림 6. 실험 영상 (Kodak images)  
Fig. 6. Test images (Kodak images).

반면 영상에 따라 최적화된  $\alpha$ 와  $\beta$ 는 보편적으로 영상에 의존적이기 때문에 이를 “algorithm optimum”이라 정의한다. 이 값은 영상 별 최대 PSNR 수치로 결정되었다. “algorithm optimum”과 “average scene optimum”의 PSNR 차이는 그림 8에서 확인 할 수 있다. 결과는 평균 0.11dB, 표준편차 0.1dB로 무시할만한 수치이지만, 실험영상 13과 같이 영상 전반적으로 복잡도가 높은 고주파 영상에서는 최대 0.4dB 차이가 나타난다.

“average scene optimum”의  $k$ 값은 복잡도가 낮은 알고리즘을 지향하는 일반 소비자용 제품 측면을 고려하면 매우 합리적인 값이다. 단, 평균적으로 PSNR 수치는 좋은 편이지만, 사람의 눈이 고주파 영역에서 매우 민감하기 때문에 시각적 화질비교가 필요하다. 시각적 화질비교는 실험영상 19의 “light house”를 이용한 고주

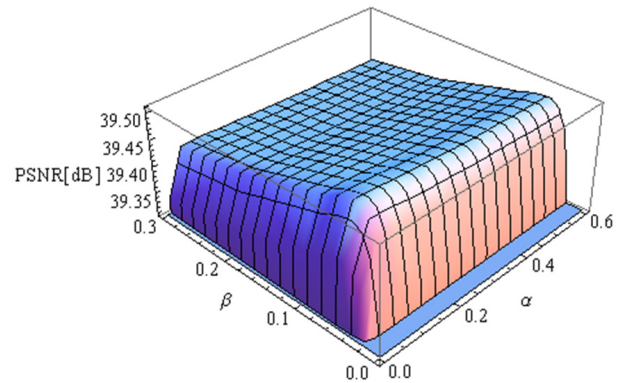


그림 7. ( $\alpha, \beta$ )에 따른 평균 PSNR  
Fig. 7. Average PSNR for function of the ( $\alpha, \beta$ ).

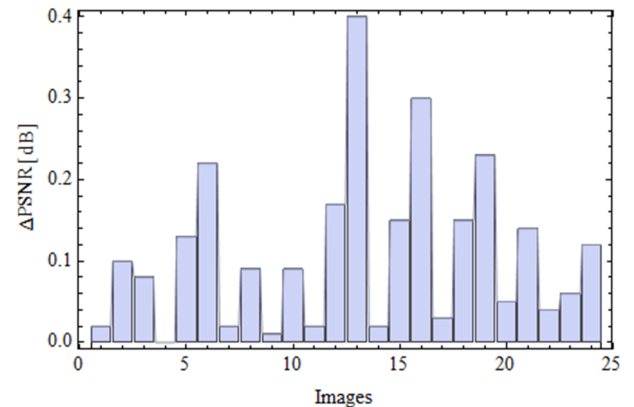


그림 8. 24개의 실험영상을 통한 “algorithm optimum”과 “average scene optimum”의 PSNR 차  
Fig. 8. The differences PSNR between for the “algorithm optimum” and for the “average scene optimum” for 24 test images.

파 패턴 영상을 사용하였고, 패턴영상을 추출하기 위해 “light house” 영상의 일부분인 “fence” 영역을 사용하였다. 그림 9와 표 3은 이에 대한 실험결과 보여준다.

그림 9의 (a)와 (b)에서 보듯이 여전히 color artifacts 현상들이 보이고 있다. 시각적으로 가장 좋은 결과를 보이는 (c)는 “fence”영상에서 PSNR 36.34dB로 가장 높은 수치지만 전체영상인 “light house”에서 PSNR 40.04dB로 가장 낮은 수치이다. 반면, (d) 영상은 “light house”와 “fence”에서 상대적으로 높은 PSNR값

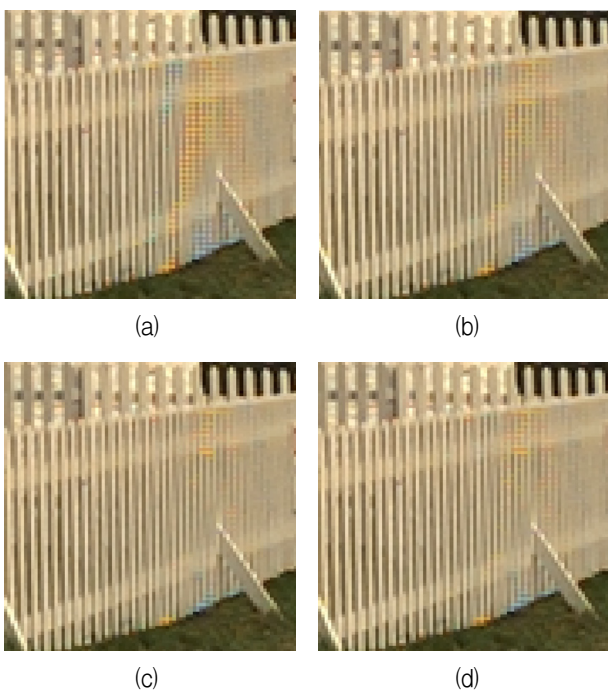


그림 9. 파라미터( $\alpha, \beta$ ) 설정에 따른 결과 영상들; “light house” 전체영상 (a) “average scene optimum”, (b) “algorithm optimum”, “fence” 국부영상 (c) “algorithm optimum”, (d) “algorithm optimum”;  $\alpha = 0.01, \beta = 0.2$

Fig. 9. Image results for parameter ( $\alpha, \beta$ ) setting of (a) “average scene optimum”, (b) “algorithm optimum” for the whole image “light house”, (c) “algorithm optimum” for the crop image “fence” and (d) “algorithm optimum”;  $\alpha = 0.01, \beta = 0.2$ .

표 3. ( $\alpha, \beta$ ) 설정에 따른 PSNR 결과  
Table 3. The PSNR results for ( $\alpha, \beta$ ) setting.

Setting Mode	(a)	(b)	(c)	(d)
( $\alpha, \beta$ )	(0.05, 0.05)	(0.01, 0.1)	(0, 0.5)	(0.01, 0.2)
“light house” PSNR[dB]	40.05	40.28	40.04	40.27
“fence” PSNR[dB]	31.86	34.85	36.34	35.75

을 보임을 확인 할 수 있다. 이는 시각적으로 최소한의 color artifacts와 높은 PSNR 수치를 만족시키기 위해 국부적으로 다양한 파라미터 값들이 존재할 수 있음을 보여준다. 이 부분은 향후 연구가 더 진행되어야 할 사항이고 본 논문에서는 영상에 독립적인 “average scene optimum”으로 제한한다. 영상 화질 평가에서의 “algorithm optimum”은 전체영상과 국부영상을 고려하여 (d)의 파라미터 ( $\alpha, \beta$ )값이 사용 되었다.

객관적 화질평가 지표인 PSNR은 평균 30dB이상에서 두 개의 영상이 유사하다고 판단되는 수치지만 예지 영역이나 정밀하고 복잡도가 높은 영상에서는 color moire와 zipper 현상들이 눈에 띄게 됨으로써 추가적으로 주관적 화질비교가 이루어져야 한다. 객관적 화질평가 지표는 식 (11)을 사용하고,  $MAX$ 는 최대 화소 값,  $m$ 은 영상의 width,  $n$ 은 height,  $I$ 는 원본영상,  $K$ 는 알고리즘이 적용된 영상을 의미한다.

$$MSE = \frac{1}{mn} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} [I(i, j) - K(i, j)]^2$$

$$PSNR = 10 \log \frac{MAX^2}{MSE} \quad [dB] \quad (11)$$

해상도 모드의 변화에 따라 Full Resolution부터 Fast

표 4. 해상도 모드에 따른 평균 PSNR[dB]  
Table 4. Average PSNR[dB] for pixel resolution modulus.

Mode	BI	ACPI [10]	ECI [6]	DWCI [8]	EECI [15]	algorithm optimum	average scene optimum
Full Resolution	30.49	35.27	37.43	38.53	38.69	<b>39.36</b>	<b>39.51</b>
Movie Recording	30.66	34.44	34.72	34.36	35.12	<b>35.90</b>	<b>36.35</b>
Live View	30.90	34.91	35.17	33.59	35.27	<b>36.05</b>	<b>36.32</b>
Fast AF	26.39	30.48	29.80	29.30	30.16	<b>32.13</b>	<b>32.61</b>

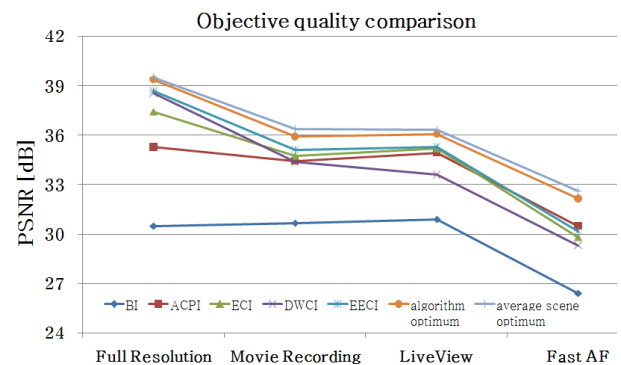


그림 10. 해상도 모드에 따른 평균 PSNR 비교  
Fig. 10. PSNR comparison for pixel resolution modulus.



그림 11. Kodak 14 영상의 결과  
Fig. 11. Results of Kodak 14 image.

AF까지 기존 알고리즘들과 “algorithm optimum”, 제안하는 알고리즘(“average scene optimum”)을 비교하였다. 표 4는 PSNR비교 수치이고, 그림 10은 이를 도식화한 그래프이다. 기존 기법들 중 PSNR이 가장 높은 EECI기법 대비 최소 0.82dB에서 최대 2.45dB로 객관적 화질평가에서 수치적으로 상승한 결과를 확인할 수 있다. 특히, Full Resolution에서 Fast AF모드로 갈수록



그림 12 Kodak 8 영상의 결과  
Fig. 12. Results of Kodak 8 image.

PSNR의 차이가 상승한 것을 볼 수 있다. 이는 해상도 모드에 의해 Skipping과 Binning을 하는 화소수가 증가할수록 주변 화소 간 상관도가 낮아지기 때문이다. 기존 보간 기법들이 이를 고려하지 않았기 때문에 제안하는 알고리즘의 성능이 Fast AF 모드에서 가장 큰 PSNR 상승 효과를 보임을 확인할 수 있다. 또한, “algorithm optimum”도 EECI 기법 대비 최소 0.67dB에



서 최대 1.97dB PSNR 상승효과를 보였다.

그림 10의 그래프 특성과 같이 제안하는 알고리즘은 주기적 샘플링 수가 감소하는 해상도 모드 일수록 기존 알고리즘 대비 뚜렷한 차이를 볼 수 있다.

주관적 화질비교는 기존 기법들과 제안하는 알고리즘을 그림 11, 12와 같이 문제영역이 두드러지는 대표 영상들을 선별하여 실험하였다.

그림 11은 평탄영역과 에지영역이 공존하는 영상으로 (a)의 원본영상 대비 (b)영상과 같이 color artifacts(color moire, zipper)들이 두드러짐을 확인 할 수 있다. 제안하는 알고리즘이 적용된 (h)영상에서 문제 되는 color artifacts들이 대부분 제거 되었다. 이는 해상도 모드를 고려하여 최소한의 주변 화소를 사용하였기에 평탄영역과 에지영역 사이에서 보다 정확한 영상을 추출 할 수 있었다. 그림 12는 에지영역이 두드러지는 영상으로 그림 11과 마찬가지로 기존 기법들에서 보이는 color artifacts들이 대부분 감소하였고, 결과적으로 복잡도가 높은 영상일수록 제안하는 알고리즘의 성능이 우수함을 확인 하였다.

또한, 그림 11과 12에서 볼 수 있듯이 제안하는 (h) 영상과 (g) 영상의 차이가 거의 보이지 않는 것을 확인 할 수 있는데, 이는 대부분의 영상에서 “algorithm optimum” 파라미터의 값이 “average scene optimum” 과 같이 color artifacts 제거에 효과가 있음을 보여준다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 영상 센서의 출력 해상도 모드를 고려한 색상 보간 알고리즘을 제안하였다. 제안하는 보간 알고리즘은 영상에 최적화된 보상 파라미터  $k$ 를 사용하여 기존 알고리즘들의 부족한 에지 예측을 보상하는 초기단계와 해상도 모드를 고려하여 최소한의 방향성을 고려한 개선단계로 구성하였다. 객관적 화질평가 분석 결과 평균적으로 Full Resolution은 0.82dB, Movie Recording모드는 1.23dB, Live View모드는 1.05dB, Fast AF모드는 2.45dB상승 하였다. 이는 주기적 샘플링 수가 감소하는 해상도 모드 일수록 제안하는 알고리즘의 성능이 우수함을 증명한다. 결과적으로 제안하는 알고리즘은 강인한 에지 예측을 통해 복잡도가 높은 영상에서 발생하기 쉬운 해상도 열화 현상 및 color artifacts(color moire, zipper)가 효과적으로 제거 및 개

선됨을 주관적 화질비교와 객관적 화질평가를 통해 확인 하였다. 향후, 추가적으로 기술기( $k$ )를 국부영역에 따라 적응적으로 변화 할 수 있는 방법이 연구된다면, 추가적 영상 화질 향상 및 범용적 사용에 있어서 상당한 효과를 보일 것으로 기대된다.

#### REFERENCES

- [1] B.E. Bayer, “Color imaging array,” U.S. Patent 3 971 065, Jul. 1976.
- [2] R. Ramanath, W.E. Synder and G.L. Bilbro, “Demosaicking methods for Bayer color array,” *Journal of Electronic Imaging*, Vol. 11, No. 3, pp. 306-315, Jul. 2002.
- [3] B.K. Gunturk, J. Glotzbach, Y. Altunbasak, R.W. Schafer and R.M. Mersereau, “Demosaicking: color filter array interpolation,” *IEEE Signal Processing Magazine*, Vol. 22, No. 1, pp. 44-54, Jan. 2005.
- [4] E.N. Linzer and W. Kwok, “Digital video camera with binning or skipping correction,” U.S. Patent 7 414 670 B1, Aug. 2008.
- [5] P.S. Tsai, T. Acharya and A.K. Ray, “Adaptive fuzzy color interpolation,” *Journal of Electronic Imaging*, Vol. 11, No. 3, pp. 293-305, Jul. 2002.
- [6] S.C. Pei and I.K. Tam, “Effective color interpolation in CCD color filter arrays using signal correlation,” *IEEE Transactions on Circuits and System for Video Technology*, Vol. 13, No. 6, pp. 503-513, Jun. 2003.
- [7] W. Lu and Y.P. Tan, “Color filter array demosaicking: New method and performance measures,” *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 12, No. 10, pp. 1194-1210, Oct. 2003.
- [8] H.A. Chang and H. Chen, “Directionally weighted color interpolation for digital cameras,” *IEEE International Symposium on Circuits and Systems*, Vol. 6, pp. 6284-6287, May 2005.
- [9] C. Laroche and M. Prescott, “Apparatus and method for adaptively interpolating a full color image utilizing chrominance gradients,” U.S. Patent 5 373 322, Dec. 1994.
- [10] J.E. Adams and J.F. Hamilton, “Adaptive color plane interpolation in single sensor color electronic camera,” U.S. Patent 5 652 621, Jul. 1997.
- [11] D.C. Sung and H.W. Tsao, “A gradient based

- edge sensing scheme for color filter array demosaicking," *IEEE 2dn Global Conf. on Consumer Electronics*, pp. 249-252, Tokyo, Japan, Oct. 2013.
- [12] J.H. Seo and Y.J. Jeong, "A New Demosaicking Algorithm for Honeycomb CFA CCD by Utilizing Color Filter Characteristics," *Journal of The Institute of Electronics and Information Engineers*, Vol. 48, No. 3, pp. 62-70, May 2011.
- [13] K. Hirakawa and T.W. Parks, "Adaptive homogeneity-directed demosaicing algorithm," *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 14, No. 3, pp. 360-369, Mar. 2005.
- [14] J. Lee, T. Jeong and C. Lee, "Edge-adaptive demosaicking for artifact suppression along line edges," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, Vol. 53, No. 3, pp. 1076-1083, Aug. 2007.
- [15] L. Chang and Y.P. Tan, "Effective use of spatial and spectral correlations for color filter array demosaicking," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, Vol. 50, No. 1, pp. 355-365, Jan. 2004.
- [16] D.S. Yoo, K.S. Song and M.G. Kang, "A Deblurring Algorithm Combined with Edge Directional Color Demosaicing for Reducing Interpolation Artifacts," *Journal of The Institute of Electronics and Information Engineers*, Vol. 50, No. 7, pp. 205-215, Jul. 2013.

---

 저 자 소 개
 

---



김 부 공(학생회원)  
2012년 한국산업기술대학교  
전자공학과 학사.  
2014년 한국산업기술대학교  
전자공학과 석사.

<주관심분야 : Color Signal Processing, 디스플레이 시야각특성 모델링, 영상 잡음제거>



김 문 철(정회원)  
1990년 독일 아헨공과대학 전기  
전자공학부 Vordiplom.  
1995년 독일 아헨공과대학  
전자통신공학부 Diplom.  
2000년 독일 아헨공과대학  
Institute for Technical  
Electronics 전자공학박사.

2001년~2006년 삼성전자 Digital Media 연구소  
수석연구원

2007년~현재 한국산업기술대학교 전자공학과  
교수

<주관심분야 : Color Management System, Color Device Calibration, Color 표준화, Video Signal Processing>