

---

# 단일 센서 디지털 카메라를 위한 디모자이킹 기술에서의 보간법 성능 분석

신소정\* · 유 훈\*

\*상명대학교

## Performance Analysis of Interpolation in Demosaicing Techniques for Single Sensor Digital Camera

Sojung Synn\* · Hoon Yoo\*

\*Sangmyung University

E-mail : laser1004@gmail.com

### 요 약

본 논문에서는 단일 센서 디지털 카메라를 위한 디모자이킹 기술에서의 보간법 성능을 분석하고자 한다. 디모자이킹 기술에 사용되는 보간법들 중에서 상대적으로 복잡도가 낮고 영상 화질이 우수한 방법들인 BI(bilinear interpolation), ACPI(adaptive color plane interpolation), ECI(effective color interpolation), Ideal ACPI, EECI(Enhanced effective color interpolation)를 선택하여 분석한다. 각 방법들의 알고리즘을 소개하고 각 알고리즘에 대한 실험을 수행한다. 이 실험은 24개의 코닥 이미지를 이용하여 객관적인 영상 화질과 수행속도를 비교 평가한다. 실험 결과로 ECI가 복잡도 대비 영상 화질이 우수하다는 것을 보여준다.

### ABSTRACT

In this paper, we analyze the performance of interpolation in demosaicing techniques for single sensor digital camera. We choose BI(bilinear interpolation), ACPI(adaptive color plane interpolation), ECI(effective color interpolation), Ideal ACPI, and EECI(Enhanced effective color interpolation) in the literature of demosaicing techniques since they provide low-complexity and substantial image quality. We survey the algorithms and simulate them. To evaluate the methods in terms of objective image quality and complexity, 24 Kodak images will be used in this experiment. Experimental results show that the ECI method is better than others in terms of image quality versus complexity.

### 키워드

CFA, Bayer pattern, demosaicing, interpolation

### 1. 서 론

최근, 영상 획득이 용이하고 화질이 좋은 디지털 카메라가 널리 보급되어있다. 비용과 크기를 줄이기 위해 단일 센서의 중요성은 더욱 부각되었다. 이 특성상 RGB 컬러 필터를 적절히 혼합하여 만들어진 CFA(color filter array)를 사용하며 가장 널리 알려진 것은 그림 1에 나타난 Bayer CFA 패턴이다[1]. 각 픽셀은 오직 한 색만 저장 가능해 나머지 두 색의 정보를 추정해야만 한다. 이 과정을 디모자이킹이라고 한다[2].

현재 알려진 보간법 대부분은 휴리스틱 알고리즘이며 그 중 가장 간단한 방법은 BI[3]이며 각 R, G, B평면에서 독립적으로 잃은 샘플들을 보간한다. 따라서 출력 영상에서의 고주파 성분을 입력 영상처럼 유지하기 힘들다. 영상을 좀 더 정확하게 보존하기 위해 일부 디모자이킹 방법들은 공간적 상관관계 또는 주파수 영역 상관관계를 이용한다. 공간적 상관관계는 단일 평면에서 서로 이웃하는 픽셀 값들은 깊은 관계를 갖는 것을 의미하고 주파수 영역 상관관계는 각 평면(R, G, 또

는 B)간의 차(비)가 일정하여 상호 연관성이 높다는 것이다[4]. 이 두 관계 모두 이용한 ACPI[5]와 주파수영역 상관관계를 이용한 ECI[6]방법이 있다. 본 논문에서는 앞에 언급된 세 방법과 Ideal ACPI[8]와 EECI[4]를 소개하고 주관적 및 객관적으로 비교분석하여 결과를 도출할 것이다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II절에서는 디모자이킹에서 보간법들의 특징과 알고리즘을 소개하고, III절에서는 주관적이고 객관적인 실험을 통해 얻어진 결과를 분석한다. 마지막으로 IV절에서는 실험 결과를 바탕으로 결론을 맺는다.

## II. 디모자이킹에서의 보간 방법

### 2.1. BI

새로 생성될 화소 값을 위해 가장 가까운 화소들에 선형적으로 결정된 가중치를 곱한 값을 할당하는 방법으로 가중치는 존재하는 화소로부터의 거리에 정비례한다.

#### 2.1.1. G보간

가장 많은 정보를 가진 G평면을 채우기 위해서 보간 할 픽셀의 위, 왼쪽, 오른쪽, 아래 픽셀값의 평균을 구한다.

#### 2.1.2. R과 B보간

R과 B평면은 G평면 정보의 반만을 갖는 특성 때문에 보간 방법이 그림 2의 (d) - (f)와 같이 세 경우로 나뉜다. R을 보간 할 때, (d)는 대각선상에 존재하는 네 값의 평균을 구한다. (e)는 위, 아래의 (f)는 왼쪽, 오른쪽의 평균을 구한다.

이 방법은 계산과정이 간단하지만 인접한 이웃 화소의 평균값을 사용하므로 영상의 에지 주변에 blurring 현상과 보관 잡음이 뚜렷하게 보이는 단점이 있다[7].

### 2.2. ACPI와 Ideal ACPI

ACPI는 공간적 그리고 주파수 영역의 상관관계를 둘 다 적용한다. ACPI의 핵심은 에지 방향을 찾아 BI에 의해 생기는 blurring 현상과 잡음을 개선하는 것이다.

#### 2.2.1. G보간

그림 2의 (a)와 같이 R5위치의 G5를 보간 한다고 가정하자(그림 2의 (b)에서 G5도 동일 알고리즘). 식 (1)으로 수평(DH)과 수직(DV)식별자를 계산한다. DH가 DV보다 작거나 같으면 G5에 식 (2)의 H값을 DV가 DH보다 작으면 G5에 V값을 채워준다.

#### 2.2.2. R과 B보간

완성된 G평면을 이용하여 R과 B평면을 보간한다. 이 때, 보간 된 G값을 G'으로 하고 그림 2의 (c)와 같이 R7위치의 B7을 보간 한다고 가정하자((d)에서 R7도 동일 알고리즘). CFA배열 특성상 대각선 방향으로 오른쪽 아래(DN)와 왼쪽 아래(DP) 식별자를 식 (3)으로 계산한다. DN이 DP보다 작거나 같으면 B7에 식 (4)의 N값을



그림 1. Bayer CFA Pattern(GRBG)

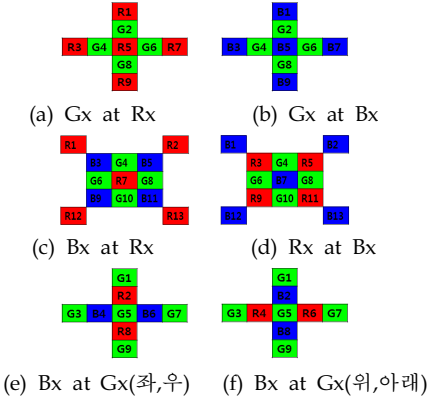


그림 2. 보간 위치 이미지

$$DH = |-R3 + 2 * R5 - R7| + |G4 - G6|, \\ DV = |-R1 + 2 * R5 - R9| + |G2 - G8|. \quad (1)$$

$$H = \frac{G4 + G6}{2} + \frac{-R3 + 2 * R5 - R7}{4}, \\ V = \frac{G2 + G8}{2} + \frac{-R1 + 2 * R5 - R9}{4}. \quad (2)$$

$$DN = |-G'3 + 2 * G'7 - G'11| + |B3 - B11|, \\ DP = |-G'5 + 2 * G'7 - G'9| + |B5 - B9|. \quad (3)$$

$$N = \frac{B3 + B11}{2} + \frac{-G'3 + 2 * G'7 - G'11}{2}, \\ P = \frac{B5 + B9}{2} + \frac{-G'5 + 2 * G'7 - G'9}{2}. \quad (4)$$

DP가 DN보다 작으면 B7에 P값을 채워준다.

Ideal ACPI는 기본적으로 ACPI 알고리즘이 바탕이 되고 G평면을 보간 할 때, 방향성을 찾는 식별자 없이 수평, 수직, 모든 방향의 평균값들 중 원본의 같은 위치 G값과 가장 근접한 값을 채워주는 것이다[8].

### 2.3. ECI와 EECI

ECI는 주파수 영역의 상관관계를 사용한 방법으로 두 평면의 차분 평면  $KR = G - R$ 과  $KB = G - B$ 를 사용한다. KR과 KB평면에 없는 값들을 채우기 위해서는 BI방법을 사용한다.

#### 2.3.1. G보간

식 (5)를 이용하여 그림 2의 (a)에서 R5위치의 G5값을 계산한다. (b)에서 B5위치의 G5값을 보간 할 때에는 컬러 차분 KR대신 KB평면을 사용하고

같은 알고리즘을 적용한다.

$$G5 = R5 + \frac{KR'2 + KR'4 + KR'6 + KR'8}{4},$$

$$KR'2 = G2 - R'2 = G2 - \frac{1}{2}(R1 + R5),$$

$$KR'4 = G4 - R'4 = G4 - \frac{1}{2}(R3 + R5),$$

$$KR'6 = G6 - R'6 = G6 - \frac{1}{2}(R5 + R7),$$

$$KR'8 = G8 - R'8 = G8 - \frac{1}{2}(R5 + R9). \quad (5)$$

$$B7 = G'7 - \frac{1}{4}(KB'4 + KB'6 + KB'8 + KB'10). \quad (6)$$

$$B5 = G5 - \frac{1}{2}(KB2 + KB8). \quad (7)$$

$$B5 = G5 - \frac{1}{2}(KB4 + KB6). \quad (8)$$

### 2.3.2. R과 B보간

그림 2 (c), (e), (f)와 같이 세 개의 경우로 나누어 보간 해야 한다. R과 B보간 방법이 동일하기에 B보간 방법만 설명하겠다. (c)는 식 (6)으로 계산하고 KB'X는 4, 6, 8, 10위치에 B값이 없기 때문에 그 위치에 좌, 우, 위, 아래에 존재하는 B 값을 사용한 차분 값을 나타낸다. (e)는 식 (7)으로, (f)는 식(8)으로 계산한다. 식 (7), (8)에서 KBX 값은 G평면의 G'X값을 사용하여 계산된다.

EECI방법은 크게 초기스텝과 개선스텝으로 나뉜다. 초기스텝에서 ECI방법을 바탕으로 공간적 상관관계를 이용하여 가중치를 준다. 초기스텝이 끝나면 각 픽셀에 모든 값들이 채워져 완성된 R, G, B 세 평면들을 얻게 된다. 개선스텝에서는 이 세 평면들을 바탕으로 새로운 KR과 KB평면을 만들어 낸다. 이 컬러 차분 평면을 이용해 초기스텝을 한 번 더 수행하여 얻은 영상은 ECI보다 화질이 더 개선된다.

## III. 실험 결과

테스트를 위해 24개의 코닥 이미지를 사용하였고 그 중 그림 3에서 보이듯 다섯 개의 이미지를 선별하여 테스트했다.

주관적인 평가로 그림 4를 이용하여 원본 영상과 복원 영상을 직접 눈으로 비교해 보았다. 그림 4에서 (b)이미지에서 에지 부분에 blurring 현상과 보간 잡음을 뚜렷하게 볼 수 있다. (c), (d) 이미지는 (b)보다 화질이 좋아졌음을 육안으로도 쉽게 확인 할 수 있다. 녹색 철 아래 부분을 보면 (c)에서 보이는 보간 잡음이 (d)에서 조금 제거된 것을 확인할 수 있었다. (e), (f)는 (c), (d)보다 에지부분이 매끄러우며 보간 잡음이 눈으로 확인하

기가 어렵고 원본 영상과 거의 비슷해 보인다.

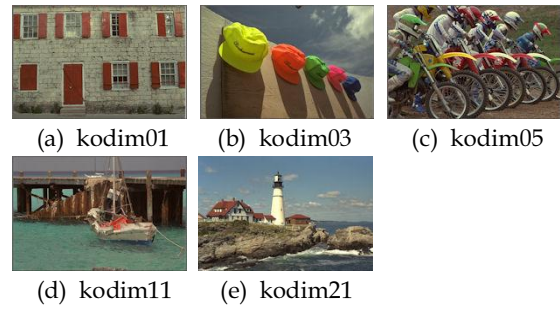


그림 3. 테스트 이미지

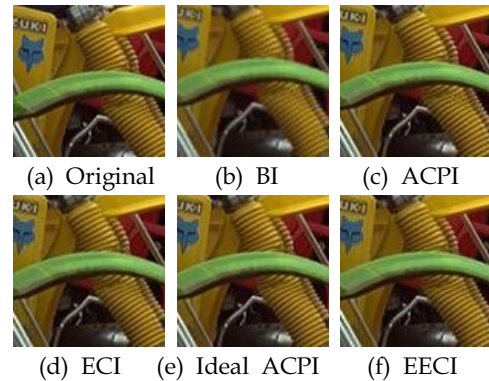


그림 4. 원본 영상과 복원된 영상들

표 1. CPSNR(dB)값과 수행 시간(msec)

Img	BI [3]	ACPI [5]	Ideal ACPI [8]	ECI [6]	EECI [4]
1	26.36	33.59	38.66	34.08	37.62
2	34.52	40.40	43.36	40.71	42.40
3	26.70	34.85	38.80	35.50	37.91
4	29.19	36.13	40.80	36.40	39.45
5	28.52	35.20	39.74	35.88	38.76
Avg	29.06	36.03	40.27	36.52	39.22
Time	32	92	112	48	736

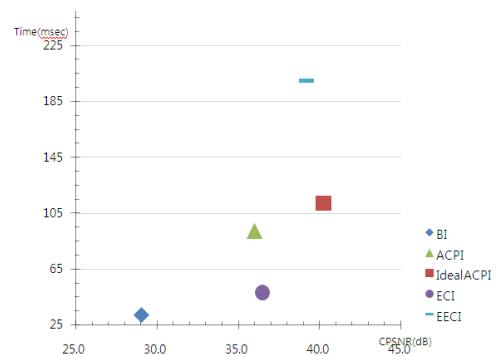


그림 5. CPSNR값과 수행 시간 관계

객관적인 평가를 위해 표 1은 CPSNR(Color

Peak Signal to Noise Ratio)[8]값과 수행 시간을 그리고 그림 5는 복잡도 대비 영상 화질 그래프를 나타낸다(그래프 Y축 수행 시간의 최댓값은 EECI의 영향으로 736이지만 차이를 좀 더 정확히 보기 위해 범위를 225로 좁힘). 그림 4의 (c)와 (d)의 CPSNR값은 36.03dB와 36.52dB로 (b)의 29.06dB에 비해 7dB정도 올랐다. 육안으로 확인하기가 쉽지 않았던 (c) - (f)의 관계를 보면 평균적으로 (d)가 (c)보다 0.5dB정도 좋아졌고 (e)는 (c)에 비해 4dB이상이 높고 (f)또한 (d)보다 3dB정도 높다. 이상적인 방법인 (e)와 비교해 1dB정도 차이로 영상화질 면에서 (f)방법이 가장 좋았다. 하지만 수행 시간을 비교하면 알고리즘이 간단한 BI가 32msec로 가장 빨랐고 다음으로 ECI, ACPI, Ideal ACPI, EECI순으로 나왔다. 여기서 ECI는 48msec로 BI보다 알고리즘은 더 복잡하지만 수행 시간은 비슷한 결과를 보였다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 단일 센서로 이루어진 CFA의 한계점을 극복하기 위해 제안된 보간법들을 연구하였다. 많은 보간법 들 중에 상대적으로 복잡도가 낮으면서 영상 화질이 우수한 방법을 선별해 실험해 보았다.

결과를 주관적으로 보나 객관적으로 보나 ACPI와 ECI는 BI에 비해 눈으로 확인 될 정도로 에지 부분을 훨씬 잘 보존하였다. 또한 두 방법들은 BI에 비해 CPSNR값이 7dB정도 올라 보간 잡음이 눈에 띄게 줄 만큼 영상 화질을 개선했다. Ideal ACPI와 견주어 볼 때, EECI가 가장 근접한 CPSNR값을 보였지만 수행시간이 736msec으로 ECI에 비해 15배가 느렸다.

따라서 화질 면에서는 EECI보다 다소 떨어지지만 CPSNR값이 거의 비슷한 ACPI보다 두 배 정도 속도가 빠른 ECI가 복잡도 대비 영상 화질이 우수하다는 평가를 할 수 있다.

또한, Ideal ACPI를 통해 적절한 에지 방향을 알아내는 것이 영상 화질 개선에 큰 도움을 주는 것을 알았다. 이 점을 고려하여 Ideal ACPI에서의 접근법을 EECI와 ECI에 적용한다면 좀 더 복잡도 대비 화질이 우수한 디모자이킹 방법이 구축될 수 있을 것이다.

#### 참고문헌

[1] B. E. Bayer, "Color imaging array", U.S. Patent 3 971 065, July 1976.  
 [2] B. K. Gunturk, J. Glotzbach, Y. Altunbask, R. W. Schafer, and R. M. Mersereau, "Demosaijing: color filter array interpolation", IEEE

Signal Processing Magazine, vol.22, no. 1, p.44-54, Jan. 2005.  
 [3] T. Sakamoto, C. Nakanishi, and T. Hase, "Software pixel interpolation for digital still camera suitable for a 32-bit MCU," IEEE Trans. Consum. Electron., vol. 44, no. 4, pp. 1342 - 1352, Nov. 1998.  
 [4] L. Chang and Y. P. Tan, "Effective use of spatial and spectral correlations for color filter array demosaicking," IEEE Trans. Consum. Electron., vol. 50, no. 1, Feb. 2004.  
 [5] J. Hamilton and J. Adams, "Adaptive color plane interpolation in single sensor color electronic camera," U.S. Patent No. 5,629,734, 1997.  
 [6] S. C. Pei and I. K. Tam, "Effective color interpolation in CCD color filter array using signal correlation," IEEE Int. Conf. Image Processing, vol. 3, 2000.  
 [7] J. E. Adams, "Interactions between color plane interpolation and other image processing functions in electronic photography," Proceedings of SPIE, vol. 2416, pp. 144-151, Feb. 1995.  
 [8] K. H. Chung, Y. H. Chan, "Color demosaicing using variance of color differences", IEEE Transactions on image processing, vol.15, no. 10, Oct.. 2006.