

# 디지털 카메라의 color filter array demosaicking을 위한 새로운 반복법

\*김세윤      \*\*조남익

서울대학교 전기컴퓨터공학부

\*light4u@ispl.snu.ac.kr      \*\*nico@snu.ac.kr

## New iterative method for color filter array demosaicking in digital still cameras

\*Kim, Seyun      \*\*Cho, Nam Ik

Department of EECS, Seoul National University

### 요약

디지털 카메라를 이용한 영상 취득은 일반적으로 한 픽셀에서 세 가지 색상(적색, 녹색, 청색)의 값을 얻는 것을 목표로 한다. 하지만, 비용의 문제로 한 픽셀에서 한 가지의 색상만을 얻어 나머지 두 색상을 복원하는 방식을 널리 사용한다. 이를 demosaicking이라 하는데, 이 과정에는 1)각 색상 영상 내의 상관관계와 2)세 가지 색상 사이의 상관관계가 동시에 이용된다. 본 논문에서는 이 두 가지 상관관계를 이용하여 각 채널의 고주파 성분과 밝기 성분의 고주파 성분을 반복적으로 향상시키는 방법을 제안하였다. 첫 번째 단계에서는 밝기 성분을 이용하여 각 채널의 고주파 성분을 강화하고, 두 번째 단계에서 관측값을 이용하여 밝기 성분의 고주파 성분을 복원한다. 제안된 방법이 기존 방법과 주관적인 방법과 객관적인 방법으로 비교하여 우수함을 보인다.

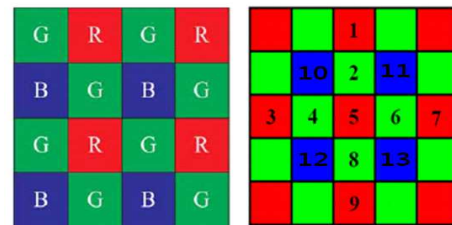
Index Terms - Demosaicking, color filter array(CFA), Bayer pattern, iterative method

## 1. 서론

디지털 이미지는 한 픽셀에 세 가지 색상—일반적으로 적색, 녹색, 청색—으로 이루어진다. 이를 위해서는 세 개의 센서 array가 필요하지만, 대부분의 카메라는 비용 상의 문제로 color filter array(CFA)가 올려진 한 개의 센서 array를 이용하여 얻은 mosaic 이미지를 이용하여 세 채널의 컬러 이미지를 복원하는 방식을 널리 사용한다. 이를 demosaicking이라 하며 CFA로는 그림 1과 같은 Bayer pattern[1]이 가장 널리 이용된다. 취득하지 못한 두 가지 색상을 추정하기 위해서 공간적 상관관계를 이용하는 bicubic이나 bilinear 보간법을 사용할 수도 있으나, 이 경우 색상 간의 상관관계를 충분히 이용하지 못한다.

Bayer pattern은 녹색 채널의 측정값이 다른 채널에 비해 두 배이므로, 녹색 채널의 고주파 성분이 가장 정확하다. 이 때문에, 먼저 녹색 채널을 추정한 뒤, 이를 이용하여 나머지 채널을 추정하는 방법들이 많이 제안되었다. 구체적인 예로서 Adams[2]는 경계의 방향을 이용한 보간법을 제안하였다. 이 방법에는 세 채널의 관측된 픽셀값을 이용하여 수직과 수평 방향의 변화량을 측정하고 변화가 적은 방향의 관측값을 이용하여 측정하지 못한 녹색 채널의 픽셀값을 추정한 뒤, 채널 간의 비율이 일정하다[3]는 가정을 이용하여 나머지 채널을 복원하였다. Gunturk[4]는 wavelet 영역에서 세 채널의 고주파 계수가 유사함을 이용하여 녹색 채널의 DWT 계수를 바탕으로 적색, 청색 채널의 DWT 계수를 추정하였다. 최근에는 선형 필터링을 바탕으로 밝기(흑백) 성분을 예측하고, 이를 바탕으로 세 채널의 고주파 성분을 추정하는 방법도 제안되었다[5, 6]. 특히, Lian[6]은 녹색 관측값이 없는 위치에서 밝기 성분을 예측하기 위한 적응 필터링 방법을 제안하여 좋은 결과를 얻었다.

본 논문에서는 밝기 성분의 고주파 영역을 예측하는 새로운 방법



(a) Bayer CFA pattern[1], (b) Adams[2]의

경계 방향을 이용한 보간법

을 제안한다. 추정된 밝기 성분을 바탕으로 세 채널의 영상을 복원하고, 다시 이를 이용하여 밝기 성분의 정확도를 높이는 반복법을 제안한다.

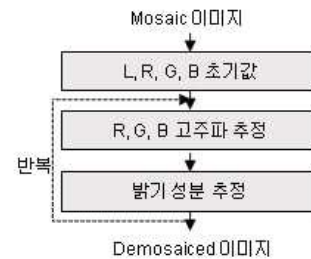


그림 2. 순서도

## 2. 제안 방법

제안하는 방법의 전체적인 구조는 그림 2와 같다. R, G, B는 각각 적색, 녹색, 청색 채널의 이미지이고, L은 밝기 성분이다. 적색과 청색

채널의 초기값은 채널 간의 상관관계를 이용하지 않고, bilinear 보간 방법으로 추정한다.

### 가. 녹색 채널의 초기값 추정

녹색 채널은 다른 채널에 비해 두 배의 비율로 샘플링되어 가장 많은 고주파 정보를 포함하고 있으므로, 이를 이용하여 보간하는 것이 중요하다. 먼저 경계의 방향을 이용한 보간법[2]을 이용하여 보간할 위치별로 경계의 방향을 얻는데, 그림 5와 같이 좁은 간격의 무늬가 존재하는 곳에서는 그 정확도가 낮다. 따라서, low-pass filtering을 통해 주변의 경계 정보를 이용한다. 이렇게 결정된 경계의 방향에 따라 경계의 방향을 이용한 보간법[2]과 같이 보간을 수행한다. 예를 들어, 그림 1(b)의 가운데(5) 위치의 녹색 픽셀값을 구하는 방법을 수식을 이용하여 설명하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \Delta H &= |G_4 - G_6| + |R_5 - R_3 + R_5 - R_7| \\ \Delta V &= |G_2 - G_8| + |R_5 - R_1 + R_5 - R_9| \\ E5 &= \Delta V - \Delta H \\ E5' &= 2 * E5 + (E10 + E11 + E12 + E13) + (E1 + E3 + E7 + E9) \end{aligned}$$

If  $E5' < 0$ ,

$$G_5 = (G_2 + G_8) / 2 + (R_5 - R_1 + R_5 - R_9) / 4$$

Else if  $E5' > 0$ ,

$$G_5 = (G_4 + G_6) / 2 + (R_5 - R_3 + R_5 - R_7) / 4$$

Else,

$$G_5 = (G_2 + G_8 + G_4 + G_6) / 4 + (R_5 - R_1 + R_5 - R_9 + R_5 - R_3 + R_5 - R_7) / 8$$

마지막으로, 밝기 성분의 초기값은 녹색 채널의 초기값과 같게 한다. 이는 두 번째 과정에서 밝기 성분의 고주파 성분만을 이용하는데, Bayer pattern으로 취득된 mosaic 데이터에서 녹색 채널의 고주파 성분이 가장 정확하기 때문이다.

### 나. R, G, B 고주파 영역 추정

Demosaic 문제에서 채널 간의 상관관계를 모델링하기 위한 가정은 크게 두 가지로 나눌 수 있다: 1) 같은 위치에서 각 채널의 픽셀값의 비는 일정하다. 2) 각 채널의 픽셀값의 차는 일정하다. 최근에는 많은 논문에 두 번째 가정이 명시적이거나 잠재적으로 사용되고 있다. 이 가정을 이용하면 다음의 식으로 고주파 성분을 포함한 이미지,  $C \in \{R, G, B\}$ 를 근사할 수 있다[6].

$$C \approx I(C_s - F_s) + F$$

여기서  $F$ 는 고해상도의 참조 이미지이고,  $C_s$ 와  $F_s$ 는 각각  $C$ 와  $F$ 의 subsampled 이미지,  $I(\cdot)$ 는 보간 함수이다. 여기서  $C$ 와  $F$ 의 subsampling 위치를 같게 하면 해당 위치에서  $C$ 와  $C_s$ 의 값이 같게 되는 장점이 있다. 제안하는 방법에서는 밝기 성분  $L$ 을 참조 이미지로 사용하고, bilinear 보간 함수를 이용하였다.

### 다. 밝기 성분 추정

밝기 성분은 적색, 녹색, 청색 채널의 평균으로 정의하고, 위의 가정을 이용하면 그 고주파 성분이 각 채널의 고주파 성분과 같아진다.

따라서 고주파 성분이 가장 많이 남아있는 녹색 채널의 관측값으로 계산 가능한 고주파 성분이 밝기 성분에 포함되도록 보정한다. 먼저, 앞 단계에서 추정된 적색, 녹색, 청색 채널의 평균으로 밝기 성분의 저주파 성분을 추정한다. 다음으로 녹색 관측값이 있는 위치에서 다음 식을 이용하여 밝기 성분의 변경값  $D$ 를 계산한다(그림 4(a)).  $D_x$ 는 위치  $x$ 에서 밝기 성분의 변경값이다.

$$\begin{aligned} L_{high} &= L_x - (L_{nw} + L_{ne} + L_{sw} + L_{se}) / 4 \\ G_{high} &= G_x - (G_{nw} + G_{ne} + G_{sw} + G_{se}) / 4 \\ D_x &= D_x + (G_{high} - L_{high}) / 2 \\ D_{nw,ne,sw,se} &= D_{nw,ne,sw,se} - (G_{high} - L_{high}) / 8 \end{aligned}$$

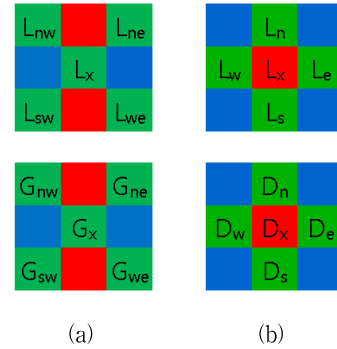


그림 3. 밝기 성분 추정 방법: (a) 녹색 위치, (b) 적색/청색 위치

적색이나 청색 관측값이 있는 위치에서  $D$ 의 값은  $L$  채널 내에서 경계 방향을 이용하여 다음 식과 같이 보간한다(그림 3(b)).

$$\begin{aligned} \Delta H &= |L_n - L_x| + |L_s - L_x| \\ \Delta V &= |L_w - L_x| + |L_e - L_x| \\ \text{If } \Delta H > \Delta V, & \quad D_x = (D_w + D_e) / 2 \\ \text{Else if } \Delta H < \Delta V, & \quad D_x = (D_n + D_s) / 2 \\ \text{Else,} & \quad D_x = (D_w + D_e + D_n + D_s) / 4 \end{aligned}$$

이렇게 구해진  $D$ 를 앞서 추정된  $L$ 의 저주파 성분과 합하여 밝기 성분  $L$ 을 추정하고, 이를 이용하여  $R, G, B$ 의 고주파 영역을 추정하는 과정을 반복한다. 제안하는 방법은 정확히 수렴하지 않았으며, 5회 반복하였을 때 실험적으로 가장 좋은 결과를 얻었다.



그림 4. 실험 영상

## 3. 실험 결과

본 논문에서 제안하는 방법을 평가하기 위해서 state-of-art 기술인 alternating projection(AP) [4], adaptive filtering(AF) [6]와

bilinear 방법과 비교하였다. Demosaicking 방법의 성능을 평가하기 위해서 대부분의 논문에서 사용하는 데이터인 Kodak color image database를 사용하였다(그림 4). 적색, 녹색, 청색 채널의 모든 픽셀값이 있는 데이터를 Bayer pattern에 따라 subsampling하여 mosaic 이미지를 만들고 각각의 방법으로 복원하여 원본과 PSNR을 측정하였다. 표 1에 일부 이미지의 결과(적색, 녹색, 청색)와 전체 24개 이미지의 결과의 평균을 나타내었다. 각 이미지의 채널 별로 가장 성능이 우수한 방법의 결과에 밑줄을 그어 표시하였다.

	Bilinear	AP	AF2	Proposed
18	27.320	35.520	36.320	<b>36.480</b>
	30.540	38.640	38.855	<b>39.267</b>
	26.820	<b>36.360</b>	35.357	35.627
19	26.780	37.900	39.105	<b>39.324</b>
	31.740	41.850	42.289	<b>42.406</b>
	26.950	<b>39.230</b>	38.962	39.105
20	30.810	39.250	40.362	<b>40.477</b>
	34.580	42.720	<b>43.483</b>	43.334
	30.590	38.010	38.367	<b>38.583</b>
21	27.630	38.260	<b>38.431</b>	38.214
	31.540	<b>41.630</b>	41.059	41.007
	27.530	<b>37.550</b>	37.333	37.136
22	29.840	37.090	<b>37.852</b>	37.058
	33.340	39.580	<b>41.126</b>	40.577
	29.220	36.810	<b>37.452</b>	37.099
23	34.430	37.610	39.387	<b>41.082</b>
	37.980	41.640	44.796	<b>45.188</b>
	34.120	40.420	40.746	<b>41.895</b>
24	26.400	34.870	<b>34.991</b>	34.324
	29.380	<b>37.330</b>	37.323	36.987
	25.290	32.700	<b>32.771</b>	32.285
24개 평균	29.270	37.765	<b>38.697</b>	38.589
	33.173	41.388	<b>42.176</b>	42.037
	29.223	38.245	38.506	<b>38.511</b>

표 1. PSNR(dB) 비교

24개의 이미지 중 9개 이미지에서 가장 우수한 성능을 보였으며, 평균적으로는 AP 방법[4] 보다 우수하고, AF 방법[6]과 비슷한 성능을 보여주었다. 특히 bilinear 방법의 성능이 낮게 나오는 어려운 이미지에 대해서 다른 방법들 보다 우수한 결과를 보였다. 평균 PSNR이 30dB 미만인 10개의 이미지 중 6개의 이미지에서 제안한 방법이 가장 우수하였다(AF는 3개).

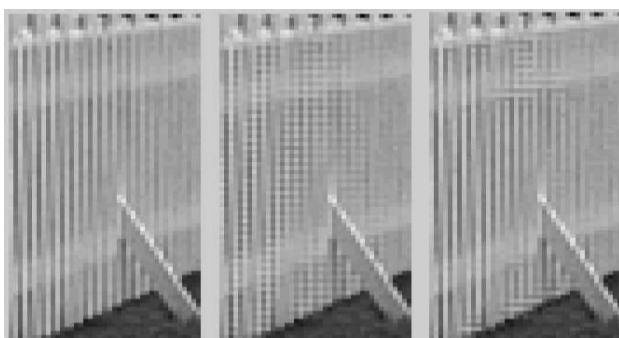


그림 5. 이미지 19의 일부(녹색 채널), (a) 원본, (b) AF[6]의 결과, (c) 제안하는 방법

주관적 화질에 있어서, 제안하는 방법은 기존의 AF 방법[6]보다 우수한 성능을 보인다. 특히 그림 5와 같이 복잡한 texture가 있는 곳에서 기존의 artifact가 감소된 결과를 얻었고, 그림 6과 같이 얇은 경계가 있는 이미지에서도 좋은 성능을 보여주었다.

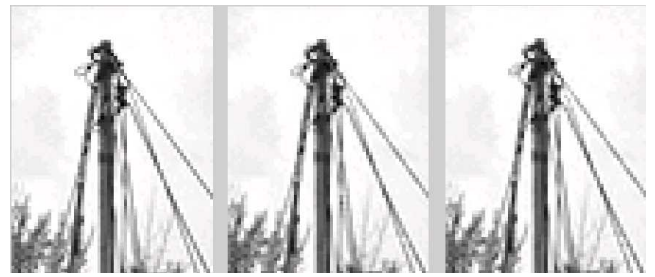


그림 6. 이미지 6의 일부(녹색 채널), (a) 원본, (b) AF[6]의 결과, (c) 제안하는 방법

#### 4. 결론

본 논문에서는 mosaic 이미지가 갖는 채널 간의 상관관계와 채널 내의 상관관계를 이용하여 각 채널의 고주파 성분과 밝기 성분의 고주파 성분을 반복적으로 향상시키는 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 객관적 화질과 주관적 화질에서 우수한 성능을 보이며, 특히 demosaicking이 어려운 이미지에서 가장 좋은 성능을 보였다.

#### 감사의 글

본 연구는 문화체육관광부 및 한국문화콘텐츠진흥원의 '08 문화기술(CT)개발 지원 사업 영상분야 정책 지정과제로 한국영상자료원이 주관한 연구 개발 사업으로 수행되었습니다.

#### 참고문헌

- [1] Bayer, Bryce E. "Color imaging array" U.S. Patent 3,971,065, Jul. 1976.
- [2] J. E. Adams and J. F. Hamilton, "Design of practical color filter array interpolation algorithms for digital cameras," in Proc. SPIE, vol. 3028, pp. 117-125, 1997.
- [3] D. R. Cok, "Signal processing method and apparatus for producing interpolated chrominance values in a sampled color image signal," U.S. Patent 4,642,678, February 1986.
- [4] B. K. Gunturk, Y. Altunbasak, and R. M. Mersereau, "Color plane interpolation using alternating projections," IEEE Trans. Image Processing, vol. 11, no. 9, pp. 997-1013, September 2002.
- [5] D. Alleysson, S. Susstrunk, and J. Herault, "Linear demosaicking inspired by human visual system," IEEE Trans. Image Process., vol. 14, no. 4, pp. 439-449, Apr. 2005.
- [6] N Lian, L Chang, Y Tan, V Zagorodnov, "Adaptive filtering for color filter array demosaicking," IEEE Tran. on Image Processing, VOL. 16, NO. 10, pp. 2515-2525, OCT 2007.
- [7] <http://www.site.uottawa.ca/~edubois/demosaicking>, images from KODAK Photo CD Photo Sampler, 1991.
- [8] B. K. Gunturk, J. W. Glotzbach, Y. Altunbasak, R. W. Schafer, and R. M. Mersereau, "Demosaicking: Color filter array interpolation," IEEE Signal Process. Mag., vol. 22, no. 1, pp. 44-54, Jan. 2005.