

방향성을 고려한 새로운 디모자이킹

정회원 정태영, 정제창

A New Directionally Weighted Demosaicing

Tae-young Jung*, Jechang Jeong** *Regular Members*

요약

대부분의 디지털 카메라에선 크기와 가격을 줄이기 위해 컬러 필터 어레이를 포함한 단일 이미지 센서를 사용하고 있다. 이렇게 얻어진 이미지들은 각 픽셀 당 하나의 색상 정보만을 가지고 있기 때문에 사람이 볼 수 있는 이미지로 만들기 위해서는 나머지 두 개의 손실된 색상 정보를 복원해야 하며, 이 과정을 디모자이킹(Demosaicing) 혹은 컬러 필터 보간법(Color Filter Interpolation)이라 부른다. 본 논문에서는 방향성을 고려한 새로운 디모자이킹 알고리즘을 제안하고 있으며, 이 알고리즘에서는 개선된 가중치 함수를 통해 화질을 개선하고 있다. 보간 성능이 개선되었음을 보여주기 위해 기존의 방법들과 비교를 했으며, PSNR과 주관적인 화질 비교를 통해 더 나은 성능을 보여주는 것을 입증하였다.

Key Words : color filter interpolation, demosaicing, demosaicking

ABSTRACT

Most digital cameras use single sensor array with color filter array to reduce size and cost. However images taken by single sensor array have only one color component per pixel, to obtain a color image missing two color components need to be reconstructed. This reconstructing process is called as demosaicking. This paper propose a new directional demosaicking method and proposed method achieves better image quality with enhanced weighting function. With comparing objective and subjective performance, we show proposed method achieves better performance than the conventional methods.

I. 서론

단일 이미지 센서를 사용한 디지털 카메라들이 보편화 되면서, 단일 이미지 센서를 통해 얻어진 이미지의 질을 향상시키려는 연구가 활발히 진행되고 있다. 단일 이미지 센서를 이용해서 이미지를 얻어 내는 데는 컬러 필터 어레이(color filter array, CFA)가 사용되며, 이를 이용할 경우 각 픽셀들은 R(red), G(green), B(blue) 중 하나의 색상 정보만을 가지게 된다. 가장 널리 사용되는 CFA 패턴은 그림 1에 나타나 있는 베이어 패턴(Bayer pattern)이

다^[1]. 사람의 눈은 R 성분이나 B 성분에 비해 G 성분에 민감하게 반응하므로^[2] 베이어 패턴에서는 G 컬러 필터가 B 컬러 필터나 R 컬러 필터에 비해 두 배 더 많이 배치되어 있다.

CFA 를 통해 얻어진 이미지는 픽셀 당 한 가지 색상 정보만을 가지게 되므로 CFA 이미지라고 말한다. CFA 이미지를 사용자가 알아볼 수 있는 이미지로 만들기 위해서는 각 픽셀에서 손실된 색상 정보들을 보간해야 하며, 이 과정을 흔히 디모자이킹(demosaicing) 혹은 컬러 필터 보간(color filter interpolation)이라 부른다.

* 이 논문은 2010년도 두뇌한국21사업에 의하여 지원되었음.

* 한양대학교 전자컴퓨터통신공학부(aqua@ece.hanyang.ac.kr)

** 한양대학교 융합전자공학부(jjeong@ece.hanyang.ac.kr)

논문번호 : KICS2009-05-208, 접수일자 : 2009년 5월 18일, 최종논문접수일자 : 2010년 4월 16일

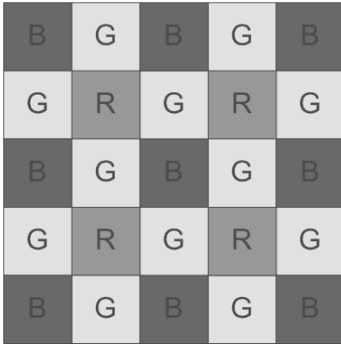
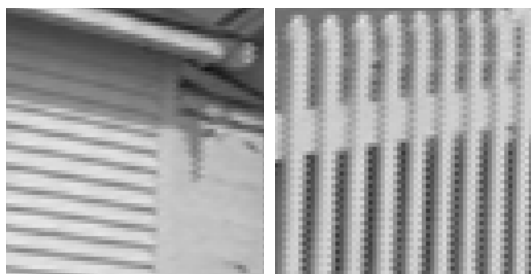


그림 1. 베이어 패턴

지난 수 년간 디모자이킹에 대한 연구가 활발히 진행되었고, 그 결과 다양한 디모자이킹 알고리즘들이 소개되었다. 가장 간단한 디모자이킹 알고리즘으로는 양선형 보간(Bi-linear interpolation)이 있다. 양선형 보간은 구현이 단순하나 에지 부분이나 텍스처 영역에서 그림 2. (a)와 같은 무지개 형태의 에러(rainbow artifact)를 발생시키게 된다. Cok 은 색비(color ratio)는 급하게 변하지 않는다는 사실을 발견하였고, 색비 채널(R/G, B/G)에서의 보간법을 제시하였다^[3]. Pei *et al.* 에 의해 색차(color difference) 정보에도 동일한 성질이 있음이 발견되었고^[4], 색차(G-R, G-B) 채널을 이용한 다양한 가중치 합 알고리즘들이 제시되었다. 하지만 색비, 색차 정보를 이용한 알고리즘들은 여전히 날카로운 경계 부분에서 그림 2. (b)에서와 같은 지퍼 모양의 에러(zippering artifact)를 발생시키므로, 이를 개선하기 위해 경사도(gradient)등을 이용한 다양한 에지 판별 알고리즘들이 제시되었다^[5-10]. 본 논문에서는 에지를 더 민감하게 판별하기 위해 12 방향의 경사도를 이용하였고, 각 픽셀들은 주위 픽셀들과 비슷한 특성을 가진다는 사실을 이용하여 더 좋은 결과를 이끌어내고 있다. 본 논문은 다음과 같은 구조를 가진



(a) 무지개 형태의 에러 (b) 지퍼 모양의 에러

그림 2. 여러 가지 형태의 컬러 에러

다. 우선 II장에서는 제안하는 알고리즘에 대해 자세히 설명하고 있으며, III장에서는 제안하는 알고리즘을 통해 보간된 이미지들이 기존의 알고리즘으로 보간된 이미지들에 비해 우수함을 확인한다. 마지막으로 IV장에서는 결론을 내리도록 한다.

II. 가중치 합을 이용한 디모자이킹

2.1 단계 1: R 혹은 B 위치의 G 보간

손실된 값들을 보간하는 데는 이웃하는 픽셀들을 이용하게 된다. 그림 3의 B33 위치에 있는 G 값을 보간하는 데는 대개 G32, G34, G23, G43 이렇게 네 개의 픽셀을 사용하지만 이 알고리즘에서는 에지 부분을 더 잘 보간해낼 수 있도록 G12, G13, G21, G25, G41, G45, G52, G54 이렇게 8개의 픽셀들을 추가로 사용하고 있다. 보간하는 데 사용되는 픽셀들의 방향은 표기의 편의성을 위해 1에서 12까지 번호를 매겨두었으며, 보간하려는 픽셀에서 n 번째 방향에 있는 픽셀까지의 수평 거리 h_n 과 수직 거리 v_n 은 표 1에 있다.

각 픽셀들은 같은 에지 상에 놓여있는 픽셀들과 유사한 성질을 보인다. 예를 들어 수평 방향 에지에 놓여있는 픽셀들은 좌우에 있는 픽셀들과 비슷한 특성을 가지고, 수직 방향 에지에 놓여있는 픽셀들은 아래위에 있는 픽셀들과 비슷한 특성을 가지므로 방향 n 에 대한 가중치 $w_n(x, y)$ 는 다음과 같이 정의 된다.

$$w_n(x, y) = 1 / (1 + D_n(x, y)) \quad (1)$$

D_n 은 주변 픽셀들의 n 번째 방향 경사도와 현재 픽셀의 n 번째 방향 경사도를 합친 값으로 다음과 같이 정의 된다.

표 1. 단계 1, 3, 4에서 사용하는 이웃 픽셀들까지의 수직, 수평 거리들

n	h_n	v_n	n	h_n	v_n
1	0	-1	7	0	1
2	1	-2	8	-1	2
3	2	-1	9	-2	1
4	1	0	10	-1	0
5	2	1	11	-2	-1
6	1	2	12	-1	-2

B11	G12	B13	G14	B15
G21	R22	G23	R24	G25
B31	G32	B33	G34	B35
G41	R42	G43	R44	G45
B51	G52	B53	G54	B55

그림 3. 단계 1, 3, 4에서 사용되는 이웃 픽셀들

$$D_n(x, y) = w_v(x, y)(d_n(x-2, y) + d_n(x+2, y)) + w_h(x, y)(d_n(x, y-2) + d_n(x, y+2)) + d_n(x, y) \quad (2)$$

w_v, w_h 는 수직, 수평 방향에 대한 가중치를 의미하며, 이 값들은 수평 경사도 dh 와 수직 경사도 dv 를 통해 결정되게 된다.

$$dh(x, y) = |2P(x, y) - P(x+2, y) - P(x-2, y)| + |P(x+1, y) - P(x-1, y)| \quad (3)$$

$$dv(x, y) = |2P(x, y) - P(x, y+2) - P(x, y-2)| + |P(x, y+1) - P(x, y-1)| \quad (4)$$

$$w_v(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{for } dv(x, y) \leq dh(x, y) \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

$$w_h(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{for } dv(x, y) \geq dh(x, y) \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

이 때 $P(x, y)$ 는 (x, y) 위치의 픽셀 값을 나타내며, n 번째 방향에서의 경사도 d_n 은 다음과 같다.

$$d_n(x, y) = |P(x+h_n, y+v_n) - P(x-h_n, y-v_n)| + |P(x+2h_n, y+2v_n) - P(x, y)| \quad (7)$$

B 픽셀 위의 G 값은 다음과 같이 보간된다.

$$G(x, y) = B(x, y) + \frac{\sum_{n=1}^{12} w_n(x, y)K_n^B(x, y)}{\sum_{n=1}^{12} w_n(x, y)} \quad (8)$$

K_n^B 는 n 번째 방향에 있는 이웃 픽셀에서의 G 값과 B 값의 차이를 나타내며 이는 다음과 같다.

$$K_n^B(x, y) = G(x+h_n, y+v_n) - B(x+h_n, y+v_n) \quad (9)$$

하지만 이 단계에서 $B(x+h_n, y+v_n)$ 값은 존재하지 않으므로 대신 양선형 보간을 통해 얻어진 값을 사용하게 된다. 이와 유사하게 R 픽셀 위의 G 값은 다음과 같이 정의된다.

$$G(x, y) = R(x, y) + \frac{\sum_{n=1}^{12} w_n(x, y)K_n^R(x, y)}{\sum_{n=1}^{12} w_n(x, y)} \quad (10)$$

K_n^R 는 n 번째 방향에 있는 이웃 픽셀에서의 G 값과 R 값의 차이를 나타내며 이는 다음과 같다.

$$K_n^R(x, y) = G(x+h_n, y+v_n) - R(x+h_n, y+v_n) \quad (11)$$

하지만 이 때 역시 $R(x+h_n, y+v_n)$ 값이 없으므로 양선형 보간을 통해 얻어진 값을 대신 사용한다.

2.2 단계 2: G 위치의 R 과 B 보간

G 픽셀 위의 R 과 B 를 보간하는 데는 그림 4에 서처럼 12 방향 중 6가지 방향만을 사용할 수 있다. 이 6가지 방향에 있는 픽셀들까지의 거리 v_n 과 h_n 은 표 2와 표 3에 나타나 있고, R 값은 다음과 같이 보간된다.

$$R(x, y) = G(x, y) - \frac{\sum_{n=1}^6 w_n(x, y)K_n^R(x, y)}{\sum_{n=1}^6 w_n(x, y)} \quad (12)$$

이와 비슷하게 B 값은 다음과 같이 정의 된다.

$$B(x, y) = G(x, y) - \frac{\sum_{n=1}^6 w_n(x, y)K_n^B(x, y)}{\sum_{n=1}^6 w_n(x, y)} \quad (13)$$

G11	R12	G13	R14	G15	G11	B12	G13	B14	G15
B21	G22	B23	G24	B25	R21	G22	R23	G24	R25
G31	R32	G33	R34	G35	G31	B32	G33	B34	G35
B41	G42	B43	G44	B45	R41	G42	R43	G44	R45
G51	R52	G53	R54	G55	G51	B52	G53	B54	G55

(a) 수평 방향

(b) 수직 방향

그림 4. 단계 2에서 사용되는 이웃 픽셀들

표 2. 단계 2에서 사용되는 이웃 픽셀들까지의 수직, 수평 거리들 (수평 방향)

n	h_n	v_n	n	h_n	v_n
1	0	-1	4	0	+1
2	2	-1	5	-2	+1
3	2	+1	6	-2	-1

표 3. 단계 2에서 사용되는 이웃 픽셀들까지의 수직, 수평 거리들 (수직 방향)

n	h_n	v_n	n	h_n	v_n
1	-1	0	4	-1	+2
2	+1	0	5	+1	-2
3	-1	-2	6	+1	+2

2.3 단계 3: B, R 위치의 R 과 B 보간

G 위치의 R 과 B 값은 이전 단계에서 이미 보간 되었으므로 나머지 위치에서의 B, R 값을 보간할 때는 12방향의 이웃 픽셀을 모두 사용할 수 있다.

이 때의 B 값은 다음과 같다.

$$B(x, y) = G(x, y) - \frac{\sum_{n=1}^{12} w_n(x, y) K_n^B(x, y)}{\sum_{n=1}^{12} w_n(x, y)} \quad (14)$$

비슷하게 R 값은 다음과 같이 정의된다.

$$R(x, y) = G(x, y) - \frac{\sum_{n=1}^{12} w_n(x, y) K_n^R(x, y)}{\sum_{n=1}^{12} w_n(x, y)} \quad (15)$$

2.4 단계 4: R 혹은 B 위치의 G 재보간

단계 1에서는 G 값을 보간하는 데 양선형 보간된 B, R 값을 이용하였지만, 단계 2와 단계 3에서 더 정확한 B 값과 R 값을 구했으니 새로 계산된 B 값과 R 값을 이용해서 G 값을 다시 보간하도록 한다.

III. 실험 결과

실험에는 KODAK PhotoCD PCD0992에 포함되어 있는 24개의 샘플 이미지들을 사용하였으며, 이 이미지들은 그림 5에서 확인할 수 있다.

제안한 알고리즘이 효율적임을 증명하기 위해 우

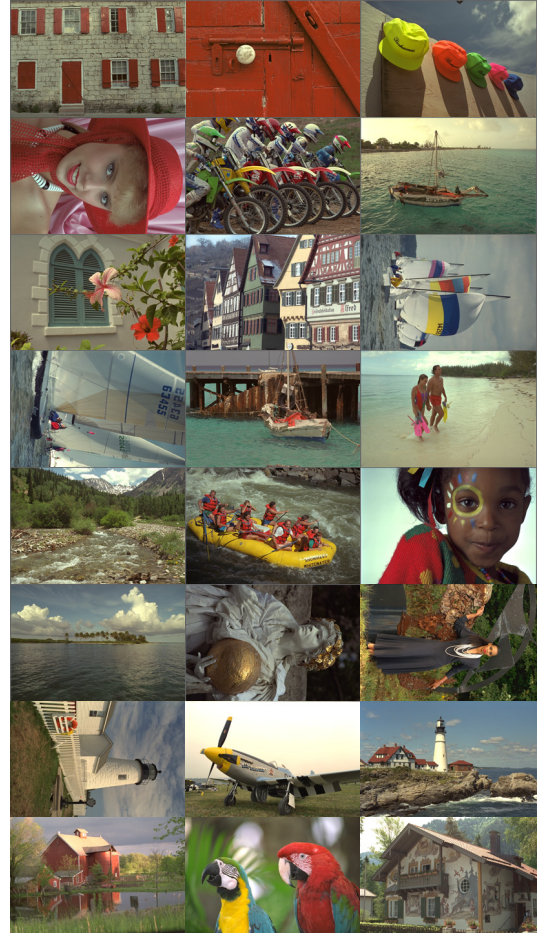


그림 5. 실험에 사용된 이미지들 위에서 아래, 왼쪽에서 오른쪽 순서로 1-24

선 이미지들을 베이어 패턴에 투영시켜 CFA 이미지로 만든 뒤 각각의 알고리즘을 이용하여 컬러 이미지로 복원하였다. 비교에는 양선형 보간법(Bi-linear), Adaptive Color Plane Interpolation (ACPI)^[5], Directionally Weighted Color Interpolation (DWCI)^[8] 등의 알고리즘들이 사용되었고, 객관적 화질 지표로는 PSNR을 이용하였다. 각 알고리즘으로 복원된 이미지의 PSNR은 표 4에서 확인할 수 있고, 모든 경우 제안하는 알고리즘이 최고의 결과를 나타내고 있다.

그림 6에는 각각의 알고리즘을 통해 복원한 5번 (오토바이) 이미지의 확대된 모습이 나타나 있다. 그림 6을 확인해 보면 제안하는 알고리즘으로 복원된 영상이 양선형 보간법이나 ACPI로 복원된 영상보다 무지개 모양의 에러를 더 적게 보이는 것을 확인할 수 있다. 또한 그림 6 (c), (d)에 나와있는

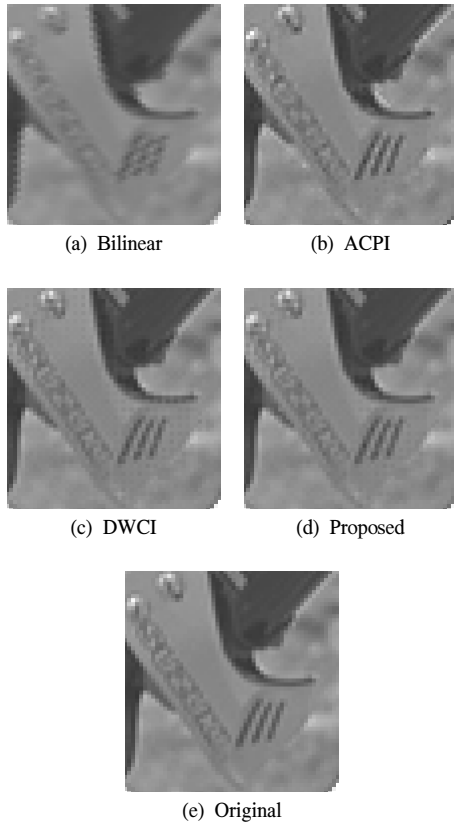


그림 6. 이미지 5번의 복원된 결과들

오토바이 헬멧의 경계 부분을 확인해보면 제안하는 알고리즘으로 복원된 영상이 DWCI로 복원된 영상보다 더 적은 지퍼 모양의 컬러 에러를 발생시키는 것을 확인할 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 방향성을 고려하는 디모자이킹 알고리즘을 위해 개선된 가중치 함수를 제안하였다. 제안된 방법은 가중치를 좀 더 효율적으로 지정하기 위해 현재 위치의 경사도만이 아니라 주위의 경사도를 함께 고려하였다. 그 결과 제안한 알고리즘은 객관적 화질 평가에서 전체적으로 0.1~0.3dB 더 높은 PSNR을 보여주고 있으며, 주관적인 화질 평가에서도 다른 알고리즘으로 보간된 경우보다 무지개 형태의 에러와 지퍼 모양의 에러를 적게 보여줌으로써 이전의 알고리즘들보다 우수함을 확인시켜주었다.

참 고 문 헌

- [1] J. A. Weldy, "Optimized design for a single-sensor color electronic camera system," in *Proc. SPIE*, pp.300-307, 1988.
- [2] B. E. Bayer, "Color imaging array," *U.S. Patent 3971065*, Jul., 1976.
- [3] D. R. Cok, "Signal Processing method and apparatus for producing interpolated chrominance values in a sampled color image signal," *U.S. Patent 4642678*, Feb., 1987.
- [4] S.C. Pei and I. K. Tam, "Effective color interpolation in CCD color filter arrays using signal correlation," *IEEE Trans.Circuits Syst. Video Technol.*, Vol.13, No.6, pp.503-513, Jun., 2003.
- [5] B. Eamanath, 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.
- [6] Bahadir K. Gunturk, Yucel Altunbasak, and Russell M. Mersereau, "Color plane interpolation using alternating projections," *IEEE Trans. Image Process.*, Vol.11, No.9, pp.997-1013, Sept., 2002.
- [7] N. Kehtarnavaz, H. Oh, and Y. Yoo, "Color filter array interpolation using correlations and directional derivatives," *Journal of Electronic Imaging*, Vol.12, No.4, pp.621-632, Oct., 2003.
- [8] Hung-An Chang and Homer Chen, "Directionally weighted color interpolation for digital cameras," in *proc.IEEE Int. Symp. on Cir. and Syst.*, Vol.6, pp.6284-6287, 23-26 May, 2005.
- [9] D. Darian Muresan and Thomas W. Parks, "Demosaicing using optimal recovery," *IEEE Transactions Image Processing*, vol.14, no. 2, pp.267-278, Feb., 2005.
- [10] Wonjae Lee, Seongjoo Lee, and Jaeseok Kim, "Cost-effective color filter array demosaicing using spatial correlation," *IEEE Trans. on Consumer Electronics*, Vol.52, No.2, pp.547-554, May, 2006.

정 태 영 (Tae-young Jung)

정회원



2007년 홍익대학교 전자공학과
학사

2007년 홍익대학교 컴퓨터공학
과 학사

2009년 한양대학교 전자컴퓨터
통신공학 석사

2009년~현재 한양대학교 전자
컴퓨터통신공학과 박사과정

<관심분야> 컬러 필터 보간법, 3차원 영상처리 분
야 및 영상 압축

정 제 창 (Jechang Jeong)

정회원



1980년 서울대학교 전자공학과
학사

1982년 KAIST 전기전자 공학
과 석사

1990년 미국 미시간대학 전기
공학과 공학박사

1980년~1986년 KBS 기술연구
소 연구원(디지털 TV 및 뉴미디어 연구)

1990년~1991년 미국 미시간대학 전기공학과 연구교
수 (영상 및 신호처리 연구)

1991년~1995년 삼성전자 멀티미디어 연구소 (MPEG,
HDTV, 멀티미디어 연구)

1995년~현재 한양대학교 전자통신컴퓨터공학과 교
수 (영상통신 및 신호처리 연구실)

1998년 과학기술자상 수상

1998년 정보통신부장관상 표창

<관심분야> 영상처리 및 영상압축