특집논문-09-14-6-07

근접 화소들의 방향성을 이용한 디모자이킹 알고리즘

김희창^{a)*}, 정제창^{a)}

Demosaicing Algorithm Using Directional Neighboring Pixels

Heechang Kim^{a)*} and Jechang Jeong^{a)}

요약

대부분의 상업적 디지털카메라들은 가격과 크기를 줄이기 위해서 Color Filter Array (CFA)를 사용한다. CFA를 통과한 이미지는 픽셀 당 오직 단일 칼라정보만 가지고 있기 때문에, 정보를 잃어버린 나머지 2개의 색 정보를 얻기 위해서 보간을 해야하는데 이 과정을 디모자이킹 (Demosaicing) 이라고 부른다. 수 많은 디모자이킹 알고리즘 방법들이 제안되어 왔음에도 불구하고, 여전히 무지개 형태의 에러 (rainbow artifact) 와 지퍼 모양의 에러 (zippering artifact) 의 문제를 가지고 있다. 본 논문에서는 향상된 가중치 함수를 이용하여 주변 픽셀값들의 경향성을 이용한 디모자이킹 알고리즘 방법을 제안한다. 실험결과, 우리가 제안한 알고리즘은 주관적 화질뿐만 아니라 객관적 화질에서도 기존의 방법들보다 뛰어나다는 것을 보여준다.

Abstract

Most commercial digital still cameras use a single sensor array (e.g., CMOS or CCD) with color filter array (CFA) to reduce the cost and size. Since the image obtained with CFA has only one color value per pixel, the demosaicing is needed to acquire missing two color values. Although many demosaicing methods have been proposed, they still have artifacts such as rainbow and zippering artifact. In this paper, we propose the simple demosaicing algorithm using tendency of neighbor pixels with the enhanced weighting function. In the experimental results, our algorithm shows much better subjective qualities of the images than conventional demosaicing algorithm and improves objective qualities.

Keyword: Demosaicing, Bayer color filter, Color interpolation, Color filter array, Weighted direction

1. 서론

대부분의 디지털카메라는 가격과 사이즈의 크기를 줄이기 위해서 color filter array (CFA) 를 가진 단일 이미지 센서를 사용하고 있다. CFA 를 통해서 들어온 이미지는 오직 한가지의 칼라 정보만 가지고 있기 때문에, 잃어버린 색 정보를 보간하기 위해서 디모자이킹 (Demosaicing) 방법이

사용된다. 그림 1에서 보여주는 것처럼, 베이어 칼라 필터 어레이 패턴 (Bayer color filter array pattern) 이 CFA 중 가장 널리 사용되고 있다^{[1][2]}. 인간의 시각체계는 red (R) 나 blue (B) 색상성분 보다 green (G) 색상성분에 더 민감하기 때문에, 베이어 칼라 필터 어레이 패턴에서는 R 나 B 값보다 G 값이 2배 더 많이 배열되어 있는 것을 알 수 있다.

많은 디모자이킹 알고리즘들이 제안되어 왔다. 그 중에 가장 간단하고 일반적인 방법은 양선형 보간법 (Bilinear interpolation)이다. 그러나 이 방법은 구현이 간단하나 텍스처 부분에서 무지개 형태의 에러 (rainbow artifact) 를 발생

a) 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과

Hanyang Univ. Dept. of Electronics and Computer Engineering

* 교신저자 : 김희창(lychnisiris@naver.com)

※ 이 논문은 2006년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (KRF-2006- 005-J04101).

시키는 단점이 있다. Cok은 색비 (color ratio)가 급작스럽게 변하지 않는다는 점을 이용한 보간법을 제안하였다^[3]. Pei et al 에 의해 제안된 알고리즘은 색차 (color difference)에도 동일한 성질이 있다는 것을 발견하여^[4], 색차 채널(G-B, G-R)을 이용한 다양한 가중치 합 보간법을 제안하였다. 그러나, 이러한 방법들은 여전히 에지 영역에서 지퍼링 에러가 발생되어 이러한 문제를 해결하기 위해 Kehtarnavaz et al은 경사도 (gradient)를 이용한 보간 방법을 제안하였다^[5]. 이 밖에도 다양한 에지 판별 알고리즘을 이용한 다양한 알고리즘이 제안되었다^[6-10].

본 논문에서는 주변 화소값들의 방향성을 이용한 가중치 함수를 가지고 보간하는 디모자이킹 알고리즘을 제안한다. 이 방법을 사용하여 기존의 알고리즘들 보다 더 좋은 성능의 결과를 얻을 수 있다. 본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 먼저 II장에서는 제안하는 알고리즘 방법인 근접픽셀의 방향성을 이용한 디모자이킹 알고리즘의 상세한 설명을 한다. 그리고 III장에서는 KODAK photoCD PCD0992에서 제공한 샘플 이미지들에 대한 기존 알고리즘들과 비교한 실험 결과를 보여주고, 마지막으로 IV장에서 결론을 맺는다.

그림 1. 베이어 칼라 필터 어레이
Fig. 1. Bayer color filter array pattern

II. 제안하는 알고리즘

1. R 혹은 B 위치에서의 G 보간

우선, 주변 화소들에 의해 정보를 잃어버린 화소 값들을

보간한다. 그림 2에서 보여주는 것처럼 에지 부분을 향상시키기 위해서 주변 12개의 화소들을 이용한다. 예를 들어, B33 위치의 G 값을 보간하기 위해서, 일반적으로 주변의 4개의 화소 G23, G32, G34, G43 을 사용하지만, 우리는 여기에 더해서 에지영역을 좀 더 향상시키기 위한 방향을 탐지하기 위해 G12, G14, G21, G25, G41, G45, G52, G54 의 위치를 더 고려한다. 보간하는 데 사용되는 화소들의 방향은 표기의 편의성을 위해 1에서 12까지 번호를 매겨두었으며, 보간하려는 화소에서 n 번째 방향에 있는 화소까지의 수평 거리 h_n 과 수직거리 v_n 은 표 1에 있다. 수평과 수직 에지 방향의 상관성은 그 주변의 오른쪽, 왼쪽, 위, 아래와 유사하기 때문에, n 방향에 대한 가중치를 다음 식 (1) 과 같이 정의한다.

$$w_n(x, y) = \frac{1}{(1 + D_n^2(x, y))} \bigg/ \sum_{k=1}^{12} \frac{1}{(1 + D_k^2(x, y))} \quad (1)$$

그림 2. 단계 1, 3, 4 에서의 주변화소 방향
Fig. 2. Directions of nearby pixels in 1, 3, and 4.

표 1. 단계 1, 3, 4에서 주변화소의 오프셋
Table 1. Offset of nearby pixels in 1, 3, and 4.

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

수평방향의 에지성분들은 양옆의 화소들과 비슷한 특성을 가지고, 수직방향의 에지성분들은 위아래의 화소들과 비슷한 특성을 가지고 있기 때문에, n 방향에서의 방향적 차이 D_n 은 식 (2)와 같이 정의된다.

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

n 방향에 대한 에지경사도 $d_n(i, j)$ 은 바로 인접한 주변 2개의 화소값의 상관도뿐만 아니라, 그것의 범위를 좀 더 확장해 추가의 2개의 화소값의 상관도를 반영해서 식 (3)과 같이 나타내고, 여기서 $P(i, j)$ 는 (i, j) 위치에서의 화소 값을 나타낸다.

$$d_n(i, j) = |P(i+h_n, j+v_n) - P(i-h_n, j-v_n)| + |P(i+2h_n, j+2v_n) - P(i, j)| \quad (3)$$

B 화소 위치에서의 G 값의 보간은 식 (4)와 같이 한다.

$$G(i, j) = B(i, j) + \sum_{n=1}^{12} w_n(i, j) \cdot K_n^B(i, j) \quad (4)$$

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

$$K_n^B(i, j) = G(i+h_n, j+v_n) - B(i+h_n, j+v_n) \quad (4)$$

하지만, 이 단계에서 B 값이 존재하지 않으므로 양선형 보간을 통해 얻어진 값을 대신 사용하게 된다. 이와 유사하게 R 화소 위치에서의 G 값은 다음과 같이 정의된다.

$$G(i, j) = R(i, j) + \sum_{n=1}^{12} w_n(i, j) \cdot K_n^R(i, j) \quad (5)$$

여기서, 앞에서와 같이 K_n^R 는 n 번째 방향에 있는 이웃

화소에서의 G 값과 R 값의 차이를 나타내며 다음과 같다.

$$K_n^R(i, j) = G(i+h_n, j+v_n) - R(i+h_n, j+v_n) \quad (6)$$

하지만, 역시 이 단계에서도 R 값이 존재하지 않으므로 양선형 보간을 통해 얻어진 값을 대신 사용하게 된다.

2. G 위치에서의 R 과 B 보간

이 단계에서는, G 위치에서의 R 과 B 값을 보간하는 단계이다. 그림 3에서처럼, 12 방향 중에서 오직 6방향만 사용해서 보간한다. 수평방향 오프셋 h_n 과 수직방향 오프셋 v_n 은 n 번째 방향에 위치된 화소와 보간될 화소 사이의 거리를 나타낸다. 이것은 표 2와 표 3에 각각 보여준다.

그림 3. 단계 2에서의 주변화소 방향
Fig. 3. Directions of nearby pixels in 2

표 2 단계 2 에서 주변화소의 오프셋(수평방향)
Table 2. Offset of nearby pixels in 2 (horizontal)

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

표 3. 단계 2에서 주변화소의 오프셋(수직방향)
Table 2. Offset of nearby pixels in 2 (vertical)

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

G 위치에서의 R 과 B 값은 다음과 같이 각각 보간된다.

$$R(i, j) = G(i, j) - \sum_{n=1}^6 w_n(i, j) \cdot K_n^R(i, j) \quad (8)$$

$$B(i, j) = G(i, j) - \sum_{n=1}^6 w_n(i, j) \cdot K_n^B(i, j) \quad (9)$$

여기서, $w_n(i, j), K_n^B(i, j), K_n^R(i, j)$ 는 각각 식 (1), (5), (7) 과 같다.

3. R 혹은 B 위치에서의 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. 이때의 B 값과 R 값은 다음과 같다.

$$B(i, j) = G(i, j) - \sum_{n=1}^{12} w_n(i, j) \cdot K_n^B(i, j) \quad (10)$$

$$R(i, j) = G(i, j) - \sum_{n=1}^{12} w_n(i, j) \cdot K_n^R(i, j) \quad (11)$$

여기서, $w_n(i, j), K_n^B(i, j), K_n^R(i, j)$ 는 각각 식 (1), (5), (7) 과 같다.

4. R 혹은 B 위치에서의 G 재보간

단계 1에서는 G 값을 보간하는데 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 및 분석

우리는 그림 4에 나타나 있는 KODAK PhotoCD PCD-0992의 샘플 이미지 24개를 사용하였다. 제안한 알고리즘이 효율적임을 증명하기 위해 이미지들을 베이어 패턴에 투영시켜 CFA 이미지를 얻은 뒤 각각의 알고리즘을 이용하여 컬러 이미지로 복원하여, 복원된 이미지들을

그림 4. KODAK photoCD PCD0992 의 24개 샘플 이미지. 왼쪽 위부터 차례대로 1~24

Fig. 4. 24 sample images of KODAK photoCD PCD0992

표 4. CPSNR (dB) 비교

Table 4. CPSNR (dB) comparison

Image	Bilinear	GBI	ACPI	DWCI(stochastic)	Proposed
1	25.872	28.550	31.686	37.125	38.099
2	31.918	34.088	36.893	37.583	38.697
3	33.058	35.044	37.801	40.455	40.497
4	32.060	34.645	36.319	38.545	39.181
5	26.263	28.541	31.068	35.489	34.548
6	27.547	29.320	32.818	37.134	37.812
7	32.305	35.244	36.525	39.772	40.058
8	23.052	26.571	30.522	33.588	34.748
9	31.114	34.654	37.615	40.433	40.863
10	31.028	33.687	36.867	40.061	39.307
11	28.809	30.996	34.052	37.923	38.633
12	32.044	34.906	38.162	40.800	41.222
13	23.852	25.406	28.556	34.189	34.540
14	28.764	30.626	32.825	34.860	35.699
15	30.230	34.040	35.514	37.178	37.799
16	30.721	32.604	36.250	39.939	40.926
17	31.761	34.158	36.278	40.139	40.124
18	27.586	29.332	32.064	35.814	36.204
19	27.671	30.870	35.136	38.030	39.503
20	29.752	30.879	35.318	38.739	38.790
21	28.383	30.207	33.003	38.014	38.472
22	29.885	31.754	34.254	36.776	37.529
23	33.467	34.995	37.573	39.214	39.733
24	26.535	28.207	30.598	33.584	33.787

비교하였다. 비교대상으로는 양선형 보간법(bi-linear interpolation) 과 gradient based interpolation (GBI) 과 adaptive color plain interpolation (ACPI) 와 directionally weighted color interpolation using stochastic method (DWCI-stochastic) 등의 알고리즘들이 사용되었고, 객관적 수치를 측정하기 위해서 color image peak signal to ratio (CPSNR) 이 사용 되었다. 이는 표 4에서 확인할 수 있으며, 모든 실험 영상에 대해서 CPSNR 이 월등히 높다는 것을 알 수 있다. 특히, 샘플 19번의 영상은 기존의 DWCI 보다 약 1.5dB 좋아진 것을 알 수 있다.

주관적 화질을 비교하기 위해서 그림 5에서 보여주듯이 원본 사진과 비교대상 알고리즘 5개를 나타내었다. 제안하는 알고리즘이 주관적 화질에서도 무지개 모양의 에러나 지퍼 모양의 에러를 최소화 하여 원본과 가장 근접한 화질의 영상을 보여준다. 특히, 샘플 7번의 확대영상에서 양선형 보간법이나 GBI 나 DWCI 은 지퍼모양의 에러가 눈에 띄게 나타나는데 비하여, 제안하는 알고리즘은 지퍼모양의 에러가 거의 보이지 않을 정도로 나타난 것을 알 수 있다. 또한, ACPI 는 영상에서의 붉은화소들이 눈에 띄게 나타나는데 반해, 제안하는 알고리즘은 원본 영상과 매우 유사한 것을 볼 수 있다. 하지만, 평평한 영역에서 우수한 화질을

그림 5. 원본 이미지(7)와 복원된 이미지 : (a) 원본 (b) bi-linear (c) GBI (d) ACPI (e) DWCI(stochastic) (f) 제안하는 알고리즘

Fig. 5. Reconstructed images and the original image: (a) original (b) bi-linear (c) GBI (d) ACPI (e) DWCI(stochastic) (f) Proposed

그림 6. 원본 이미지(4)와 복원된 이미지 : (a) 원본 (b) bi-linear (c) GBI (d) ACPI (e) DWCI(stochastic) (f) 제안하는 알고리즘
Fig. 6. Reconstructed images and the original image: (a) original (b) bi-linear (c) GBI (d) ACPI (e) DWCI(stochastic) (f) Proposed

보이는 ACPI로 인해 그림 6에서의 녹색부분은 ACPI가 좀 더 주관적 화질이 좋아 보인다.

IV. 결 론

본 논문에서는 주변 화소들의 방향성을 고려하는 디모자이킹 알고리즘을 제안한다. 이를 위해, 에지영역에서 가중치 함수를 이용하여 좀 더 효율적으로 지정하기 위해 현재 위치의 화소값의 경사도 뿐만 아니라 주위 화소값들의 경사도도 함께 고려하여 손실 화소를 보간하게 된다. 마지막 단계에서 재보간을 함으로써 좀 더 정확한 화소값을 예측하여 보간할 수 있다. 그 결과 제안하는 알고리즘은 평균적으로 이전의 알고리즘들 보다 0.475dB 높아졌다. 주관적인 화질에서도 무지개 형태의 에러와 지퍼 형태의 에러가 거의 눈에 띄지 않는다. 하지만, 다른 포맷 (HSV, YUV 등)에는 R, G, B의 화소값 정보가 없기 때문에, 제안하는 알고리즘으로 다른 포맷에 적용하는 것은 과제로 남았다.

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] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [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 Consumer Electronics, vol.52, no. 2, pp 547-554, May 2006.

 저 자 소 개

김 희 창

- 2008년 2월 : 한양대학교 전자전기컴퓨터공학부 졸업 (공학사)
- 2008년~현재 : 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 석사과정
- 주관심분야 : 영상 화질 개선, H.264/AVC 및 차세대 영상 압축 기술

정 제 창

- 1980년 2월 : 서울대학교 전자 공학과 졸업 (공학사)
- 1982년 2월 : KAIST 전기전자 공학과 석사 (공학석사)
- 1990년 : 미국 Univ. of Michigan 전기공학과 졸업 (공학박사)
- 1980년 ~ 1986년 : KBS 기술연구소 연구원 (디지털 TV 및 뉴미디어 연구)
- 1990년 9월~1991년 1월 : 미국 Univ. of Michigan 전기공학과 연구교수
- 1991년 ~ 1995년 : 삼성전자 멀티미디어 연구소 (MPEG, HDTV, 멀티미디어 연구)
- 1995년 ~ 현재 : 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 교수 (영상통신 및 신호처리 연구실)
- 1998년 11월 27일 : 과학기술자상 수상
- 1998년 12월 31일 : 정보통신부 장관상 수상
- 주관심분야 : 영상처리 및 영상압축