McMaster Dataset을 위한 색상 보간 알고리듬

*박범준 **이경준 ***정제창
*한양대학교 융합전자공학부
*kkbbbj1@naver.com, **kjlee888@naver.com, ***jjeong@hanyang.ac.kr

Color Filter Array Interpolation Algorithm for McMaster Dataset

*Bumjun Park **Kyungjun Lee ***Jechang Jeong
Dept. Electronic Eng. Hanyang University

요 약

본 논문은 Multiscale Gradients (MSG)를 기반으로 한 Color Filter Array Interpolation을 배경으로 Kodak Dataset보다 실제 디지털 카메라로 촬영한 이미지에 가까운 McMaster Dataset에서 개선된 성능을 내는 알고리듬을 제안한다. MSG는 녹색 채널 보간, 녹색 채널 갱신, 빨간색, 파란색 채널 보간의 과정을 거친다. 이때 높은 스펙트럼 상관관계, 낮은 색채도, 낮은 색 경사도를 가진 Kodak Dataset과 달리 자연 이미지에서는 녹색 채널 갱신 과정의 추정방법을 사용하면 화질 및 Color Peak Signal to Noise Ratio (CPSNR)이 저하되는 것을 확인하였다. 이러한 실험결과를 바탕으로 개선된 필터와 색상 보간 과정을 통해 기존의 알고리듬에 비해 향상된 성능을 보여주는 알고리듬을 제안한다.

1. 서론

흑백 이미지와 달리 컬러 이미지는 색을 표현하기 위해 빨간색, 파란색, 초록색의 값을 가지는 3가지 채널 값이 필요하다. 이 채널 값들을 정확히 얻기 위해서는 각각의 색을 위한 센서가 필요하지만 대부분의 디지털 카메라들은 가격 경쟁력을 얻기 위해 하나의 센서와 Color Filter Array (CFA)를 사용하여 각 픽셀은 빨간색, 파란색, 초록색 값 중 하나의 값만을 얻게 된다. 이때 CFA는 인간의 눈이 녹색 정보에 민감함에 착안하여 녹색 픽셀을 빨간색과 파란색 픽셀에 비해 두 배 많이 받아들이는 베이어 패턴 (Bayer Pattern)을 주로 사용한다 [1]. 하나의 값만을 얻은 픽셀들은 다른 픽셀들의 픽셀 값을 이용하여 얻지 못한 나머지 두 가지 색의 채널 값을 추정하게 되는데 이러한 추정 과정을 색상 보간 혹은 디모자이킹이라 부른다.

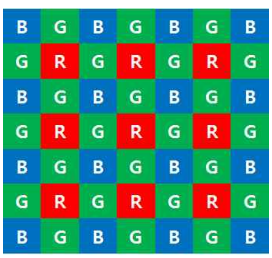

그림 1. 베이어 패턴(Bayer Pattern)

디모자이킹 알고리듬은 가장 기본적인 Bilinear보간법에서부터 Zhang이 제안한 Linear Minimum Mean Square-Error Estimation (LMMSE)를 사용한 알고리듬 [2], Demgwen이 제안한 Colour Demosaicking with Directional Filtering and Weighting (DDFW) [3], Pekkucuksen이 제안한 Edge Strngth Filter (ESF)를 이용한 알고리듬 [4] 등이 있다. 이러한 알고리듬은 기존 알고리듬에 비해 개선된 성능을 보이기에 제안된 것이지만 한 가지 큰 문제를 안고 있다.

본 논문에서 기반으로 삼고 있는 Pekkucuksen이 제안한 Multiscale Gradients (MSG)를 기반으로 한 알고리듬과 함께 많은 디모자이킹 알고리듬이 Kodak Dataset을 테스트 이미지로 사용하고 있다 [5]. 하지만 Kodak Dataset은 처음부터 디지털 카메라로 촬영된 영상이 아니라 필름 카메라로 촬영된 후 스캔된 영상이기 때문에 디지털 카메라로 촬영된 자연 영상과는 다소 상이한 특성을 가지고 있다. [6], [7], [8]은 Kodak Dataset은 실제 자연 영상에 비해 높은 스펙트럼 상관관계, 낮은 색채도, 낮은 색 경사도를 가지고 있다는 것을 보여주고 있다. 그 결과 Kodak Dataset을 테스트 이미지로 사용하고 이 이미지들에서 좋은 특성을 내기 위해 제안된 많은 디모자이킹 알고리듬이 실제 영상에서는 좋지 않은 성능을 보여준다.

이러한 문제는 MSG에서도 나타나는데 MSG에서 사용하는 녹색 채널 갱신 과정이 높은 스펙트럼 상관관계,

낮은 색채도, 낮은 색 경사도를 가지는 Kodak Dataset에서는 좋은 특성을 보이게 하지만 실제 영상에서는 화질과 Color Peak Signal to Noise Ratio (CPSNR)이 저하되는 것을 확인하였다. 이를 해결하기 위해 본 논문은 녹색 채널 갱신 과정을 생략하고 개선된 필터와 색상 보간 과정을 통해 실제 영상과 가까운 McMaster Dataset에서 개선된 성능을 보여주는 알고리듬을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 개선된 필터와 색상 보간 과정을 이용하여 실제 영상에서 향상된 성능을 보여주는 알고리듬을 제안한다. 제 3장에서는 기존의 알고리듬과 제안하는 알고리듬의 CPSNR을 비교한 실험 결과를 보이고 제 4장에서 결론을 맺는다.

2. 제안하는 알고리듬

Ⅰ. 녹색 채널 보간

녹색 채널 보간은 수평방향과 수직방향의 녹색 채널 예측 값을 사용하여 계산된 값들의 조합을 활용한다. 파란색 픽셀에서 수직방향과 수평방향 녹색 채널 예측 값을 계산하는 방법은 아래와 같다.

$$\begin{aligned} G_v(i,j) &= [g(i-3,j),g(i-1,j),g(i+1,j),g(i+3,j)]\cdot f_1^T \\ &\quad + [r(i-2,j),r(i,j),r(i+2,j)]\cdot f_2^T \\ G_h(i,j) &= [g(i,j-3),g(i,j-1),g(i,j+1),g(i,j+3)]\cdot f_1^T \\ &\quad + [r(i,j-2),r(i,j),r(i,j+2)]\cdot f_2^T \end{aligned} \tag{1}$$

$$\begin{aligned} f_1 &= [1/16,7/16,7/16,1/16] \\ f_2 &= [-1/4,1/2,-1/4] \end{aligned} \tag{2}$$

수식 (1)에서 G_v와 G_h는 수식 (2)의 f_1과 f_2를 사용하여 5×5 범위의 픽셀 값을 사용한 MSG보다 넓은 7×7 범위의 픽셀 값을 사용하여 구한다. 이를 통해 Kodak Dataset 보다 스펙트럼 상관관계가 약한 McMaster Dataset 에서 보다 정확한 녹색 채널 예측 값을 구하는 효과를 얻을 수 있다. 빨간색 픽셀에서 수직방향과 수평방향 녹색 채널 예측 값은 r을 b로 대체하여 얻을 수 있다. 다음으로 녹색 채널 값은 수직방향과 수평방향 예측 값과 각 방향의 가중치를 이용하여 구한다. 각 방향의 가중치를 구하는 방법과 이들을 이용하여 보간된 녹색 채널 값은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} w_v &= 1/\left(\sum_{m=i-2}^{i+2}\sum_{n=j-2}^{j+2} D_v(m,n)\right)^3 \\ w_h &= 1/\left(\sum_{m=i-2}^{i+2}\sum_{n=j-2}^{j+2} D_h(m,n)\right)^3 \end{aligned} \tag{3}$$

$$G(i,j) = \frac{G_h\cdot w_h + G_v\cdot w_v}{w_h + w_v} \tag{4}$$

위 식에서 각 방향의 가중치를 구하기 위해 수직방향과 수평방향의 경사도 정보가 이용되는데 각 방향의 경사도 정보를 구하는 방법은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} D_v(i,j) &= \left|\frac{I(i+1,j)-I(i-1,j)}{2} - \frac{I(i+2,j)-I(i-2,j)}{3.5}\right. \\ &\quad + \frac{I(i+3,j)-I(i-3,j)}{7} - \frac{I(i+4,j)-I(i-4,j)}{14} \\ &\quad \left. + \frac{I(i+5,j)-I(i-5,j)}{28}\right| \\ D_h(i,j) &= \left|\frac{I(i,j+1)-I(i,j-1)}{2} - \frac{I(i,j+2)-I(i,j-2)}{3.5}\right. \\ &\quad + \frac{I(i,j+3)-I(i,j-3)}{7} - \frac{I(i,j+4)-I(i,j-4)}{14} \\ &\quad \left. + \frac{I(i,j+5)-I(i,j-5)}{28}\right| \end{aligned} \tag{5}$$

Ⅱ. 빨간색과 파란색 채널 보간

다음 과정으로 녹색 픽셀의 빨간색과 파란색 채널을 보간하기 위해서는 먼저 빨간색 픽셀의 파란색 채널 값과 파란색 픽셀의 빨간색 채널 값을 보간해야 한다. 이 채널 값 보간에는 다음과 같은 7×7 크기의 필터를 사용한다.

$$f_3 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 10 & 0 & 10 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 10 & 0 & 10 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & -1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \frac{1}{32} \tag{6}$$

이때 빨간색 픽셀에서의 파란색 채널 값과 파란색 픽셀에서의 빨간색 채널 값은 다음과 같은 방법으로 구한다.

$$\begin{aligned} B(i,j) &= G(i,j) + d_B(i-3:i+3, j-3:j+3) \otimes f_3 \\ R(i,j) &= G(i,j) + d_R(i-3:i+3, j-3:j+3) \otimes f_3 \end{aligned} \tag{7}$$

위 식에서 $\otimes$ 는 행렬 곱을 의미하고, d_B와 d_R은 각각 파란색 채널과 녹색 채널 값의 차, 빨간색 채널과 녹색 채널 값의 차로 다음과 같다.

$$\begin{aligned} d_B(i,j) &= B(i,j) - G(i,j) \\ d_R(i,j) &= R(i,j) - G(i,j) \end{aligned} \tag{8}$$

이와 같이 빨간색 픽셀의 파란색 채널 값과 파란색 픽셀의 빨간색 채널 값이 보간되면 녹색 픽셀의 빨간색 채널 값과 파란색 채널 값을 보간 할 수 있다. 녹색 픽셀의 빨간색 채널 값과 파란색 채널 값을 보간하는 방법은 다음과 같다.

$$R(i,j) = G(i,j) + \frac{w_v \cdot (d_R(i-1,j) + d_R(i+1,j))}{2(w_v + w_h)} + \frac{w_h \cdot (d_R(i,j-1) + d_R(i,j+1))}{2(w_v + w_h)}$$
$$B(i,j) = G(i,j) + \frac{w_v \cdot (d_B(i-1,j) + d_B(i+1,j))}{2(w_v + w_h)} + \frac{w_h \cdot (d_B(i,j-1) + d_B(i,j+1))}{2(w_v + w_h)} \quad (9)$$

3. 실험 결과

실험은 그림 2의 18개의 McMaster Dataset을 이용하여 진행되었다. 높은 해상도의 디지털 카메라로 촬영된 McMaster Dataset은 필름 카메라로 촬영된 후 스캔되어 실제 자연 영상에 비해 높은 스펙트럼 상관관계, 낮은 색채도, 낮은 색 경사도를 가지는 Kodak Dataset에 비해 자연 영상에 가까워 McMaster Dataset에서 좋은 성능을 내는 알고리듬이 실제 이미지에서도 좋은 성능을 낼 수 있다는 것을 유추할 수 있다. 모든 이미지의 크기는 500×500으로 동일하고 CPSNR을 측정할 때 가장자리 10 픽셀은 제외하였다.

그림 2. McMaster Dataset, 왼쪽 상단부터 오른쪽 하단까지 1~18.

표 1. 기존 알고리듬과 제안하는 알고리듬의 CPSNR[dB] 비교

	LMMSE	DDFW	ESF	MSG	**Proposed**
1	26.98	27.14	26.07	27.05	**27.87**
2	33.68	33.54	33.07	33.67	**34.46**
3	32.59	32.63	32.31	32.93	**33.17**
4	34.32	34.72	34.66	35.49	**36.19**
5	31.27	31.11	30.30	31.12	**32.42**
6	33.84	33.75	32.10	33.56	**35.38**
7	38.64	38.98	38.80	39.17	**37.49**
8	37.45	37.33	37.31	37.61	**38.08**
9	34.41	34.78	33.95	34.69	**35.72**
10	36.34	36.93	35.57	36.47	**37.33**
11	37.25	37.50	36.44	37.28	**38.11**
12	36.60	36.83	35.89	36.80	**37.75**
13	38.79	38.64	38.28	38.83	**39.72**
14	37.23	37.14	36.66	37.13	**37.97**
15	37.27	37.32	36.70	37.19	**37.97**
16	30.46	30.05	28.98	30.18	**31.53**
17	29.31	29.79	28.35	29.30	**30.49**
18	33.92	33.81	33.49	34.10	**34.65**
average	34.46	34.56	33.83	34.59	**35.35**

표 1은 기존의 Kodak Dataset에서 좋은 성능을 나타내는 알고리듬인 LMMSE, DDFW, ESF, MSG와 제안하는 알고리듬의 McMaster Dataset 실험 결과 CPSNR을 비교한 결과이다. 표 1의 실험 결과를 통해 기존 알고리듬과 제안하는 알고리듬의 CPSNR을 비교해 보면 기존 알고리듬에 비해 제안하는 알고리듬의 CPSNR이 최소 0.7dB 에서 최대 1.5 dB 까지 향상된 것을 볼 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 높은 스펙트럼 상관관계, 낮은 색채도, 낮은 색 경사도를 가진 Kodak Dataset을 테스트 이미지로 사용하는 기존의 알고리듬의 문제점에 착안하여 MSG를 기반으로 개선된 필터와 색상 보간 과정을 통해 실제 영상과 가까운 McMaster Dataset에서 향상된 성능을 보여주는 알고리듬을 제안하였다. 실험결과를 통해 제안하는 알고리듬이 McMaster Dataset에서 기존의 알고리듬에 비해 CPSNR이 상승한 것을 확인 할 수 있고 실제 영상과 가까운 McMaster Dataset에서 개선된 성능을 보여주는 제안하는 알고리듬이 기존 알고리듬에 비해 실제 영상에서 향상된 성능을 발휘할 것이라는 것을 유추할 수 있다.

감사의 글

이 논문은 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (NRF-2015R1A2A2A01006004)

참고문헌

[1] B. E. Bayer, "Color Imaging Array," U.S. Patent 3971065, Jul. 1976.

[2] Lei Zhang and Xiaolin Wu, "Color Demosaicking Via Directional Linear Minimum Mean Square-Error Estimation," *IEEE Trans. Image Process.,* Vol. 14, No. 12, pp. 2167-2178, Dec. 2005.

[3] Zhou Dengwen and Shen Xiaoliu, "Colour Demosaicking with Directional Filtering and Weighting," *IEEE Trans. Image Process.,* Vol. 6, No. 8, pp. 1084-1092, Nov. 2012.

[4] I. Pekkucuksen and Y. Altunbasak, "Edge Strength Filter-based Color Filter Array Interpolation," *IEEE Trans. Image Process.,* Vol. 21, No. 1, pp. 393-397, Jan. 2012.

[5] I. Pekkucuksen and Y. Altunbasak, "Multiscale Gradients-Based Color Filter Array Interpolation," *IEEE Trans. Image Process.,* Vol. 22, No. 1, pp. 157-165, Jan. 2013.

[6] A. Buades, B. Coll, J.-M. Morel, and C.Sbert, "Self-similarity Driven Color Demosaicking," *IEEE Trans. Image Process.,* Vol. 18, No. 6, pp. 1192-1202, June. 2009.

[7] F. Zhang, X. Wu, X. Yang, W. Zhang, and L. Zhang, "Robust Color Demosaicking with Adaptation to Varying Spectral Correlations," *IEEE Trans. Image Process.,* Vol. 18, No. 12, pp. 2706-2717, Dec. 2009.

[8] Xin Li, B. Gunturk, and L. Zhang, "Image Demosaicking: a Systematic Survey," *Visual Communications and Image Processing 2008, Proceedings of the SPIE*, Vol. 6822, pp. 68221J-68221J-15 (2008). San Jose, CA, USA.

[9] Yonghoon Kim and Jechang Jeong, "Subdivided Weight Interpolation based on Multiscale Gradients for Color Filter Array," *CSC 2014*, 2014. 02. 22.