

컬러 필터 배열 영상에서의 잡음제거 알고리즘

*이민석, **박상욱, ***권지용, ****강문기

연세대학교 TMS 정보기술사업단

*gasinamul@hotmail.com

Noise reduction Algorithm for CFA Images

*Min Seok Lee, **Sang Wook Park, ***Ji Yong Kwon, ****Moon Gi Kang

Institute of TMS Information Technology, Yonsei University

요약

대부분의 디지털 카메라는 컬러 필터 배열(Color Filter Array)을 가진 하나의 영상 획득 센서를 사용한다. 따라서 영상 획득 이후에 컬러 보간 알고리즘이 필수적으로 진행된다. 또 영상 획득 과정에서 센서의 열화나 암전류 등과 같은 잡음이 발생하여 영상 잡음 제거 알고리즘이 필요하다. 하지만 기존의 대부분의 영상 잡음 제거 알고리즘은 컬러 필터 배열 영상의 특징인 모자이크 데이터 기반이 아닌 컬러 보간 이후의 풀 컬러영상에(YCbCr) 적용되고 있다. 따라서 잡음이 포함된 영상으로 컬러 보간을 할 경우 잡음의 공간적 상관관계(spatial correlation)가 커짐에 의한 잡음 번짐 때문에 컬러 보간 이후의 잡음 제거는 더욱 어렵게 된다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해 컬러 필터 배열 영상에 대한 잡음제거 알고리즘이 연구되고 있으며, 본 논문에서도 CMOS/CCD의 이미지 센서에서 획득된 베이어 컬러 필터 배열 영상에서 잡음을 제거하는 알고리즘을 제안한다. 이를 위해서 베이어 컬러 필터 배열 영상 데이터에서 경계(edge)의 방향성을 고려한 LMMSE 방법을 기반으로 한 잡음제거 알고리즘을 제안한다. 제안하는 알고리즘은 영상의 경계를 보존해주며 잡음제거 과정 다음에 진행되는 컬러 보간 과정에서의 잡음 번짐의 문제를 해결할 수 있다. 실험 결과를 통해 향상된 잡음 제거 효과를 확인하였다.

1. 서론

대부분의 디지털 카메라는 컬러 필터 배열을 사용하여 하나의 화소에서 각각의 컬러 정보를 획득하는 단일 칩 이미지 센서를 사용한다. 주로 베이어 패턴 컬러 필터[1]를 사용하여 영상을 획득한다. 이러한 컬러 필터 배열에서는 각 화소마다 단 하나의 컬러 정보를 획득하는데 이로부터 3개의 원색을 복원해 내는 과정을 컬러 보간 이라고 한다.

현재 대부분의 컬러보간 알고리즘은 잡음이 없다고(noise-free) 가정된 데이터를 기반으로 한다[2][3]. 하지만 일반적으로 사용되는 영상 획득 센서인 CCD와 CMOS에서 획득된 영상신호에는 photon shot noise, dark-current shot noise, reset noise 그리고 thermal noise 등의 잡음이 발생하게 된다. 이러한 잡음은 컬러 보간 과정 중 잘못된 정보를 야기 시켜 보간된 이후의 결과 영상에는 시각적으로 크게 거슬리는 컬러 잡음(color artifact or noise)이 발생된다. 특히 핸드폰 카메라, 디지털 카메라 등의 저조도 영상의 경우에 잡음의 영향이 더 크기 때문에 열화된 컬러 필터 배열 영상에서 잡음을 제거하는 것은 필수적이다.

이러한 잡음 제거 과정은 크게 세 가지 경우로 나눌 수 있다. 컬러 보간 이후 잡음 제거[4], 잡음 제거 이후 컬러보간 그리고 잡음 제거와 컬러 보간을 동시에 하는 방법[5]이 있다. 이 중에서 잡음 제거 이후 컬러 보간을 하는 경우가 다른 경우에 비해 컬러 보간 이후의 결과영상에서 컬러 잡음(noise-caused color artifact)이 적게 나타나고 비용적인 측면에서 효율적(cost-effective)인 장점이 있다[6].

그러므로 컬러 필터 배열에서 잡음을 제거하는 것은 고품질 영상 획득을 위해 반드시 필요하다. 영상 처리 분야에서 잡음 제거는 오래 전부터 연구되어 왔다. 기존의 gray-scale 영상에 적용되는 잡음 제거 알고리즘은 그 종류가 다양하다. 하지만 베이어 패턴 컬러 필터에서 획득한 영상은 모자이크 데이터로서 기존의 잡음 제거 알고리즘으로는 영상의 경계(edge)등의 고주파를 효과적으로 보존하기 힘들다. 따라서 본 논문에서는 컬러 필터 배열 영상에서의 경계의 방향을 고려한 잡음 제거 알고리즘을 제안한다. 제안된 방법은 컬러 패턴 배열 영상에 바로 적용되는 것이며 방향을 고려하여 잡음을 제거된 Bayer CFA 영상을 획득하는 것이다.

2. 본론

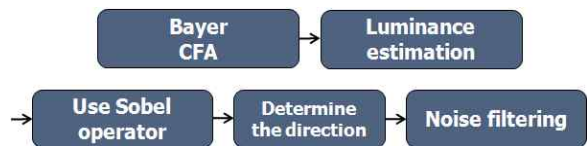


그림 1. 전체 블록도

그림 1은 제안되는 CFA 영상에서의 잡음제거 알고리즘의 전체적인 블록도이다. 일반적인 센서의 잡음은 가우시안 잡음(Gaussian noise)의 특성을 가지기 때문에 획득된 Bayer CFA 영상은 가우시안 잡음을 가정한다.

$$I_n = I + \eta \quad (1)$$

수식 (1)에서 I_n 는 획득된 CFA 영상에서의 각각 채널 값으로 열

화된 영상(noisy image)을 의미하며 I 는 언고자 하는 원본영상(noise-free signal)을 의미하고, η 는 화이트 가우시안 노이즈(Additive white Gaussian noise)를 의미한다. 본 논문에서는 이러한 가정을 바탕으로 하여 획득된 Bayer CFA 영상에서 방향성을 고려하여 잡음을 효과적으로 제거하는 것을 목표로 한다.

2.1 Bayer CFA 영상에서의 방향 정보 검출

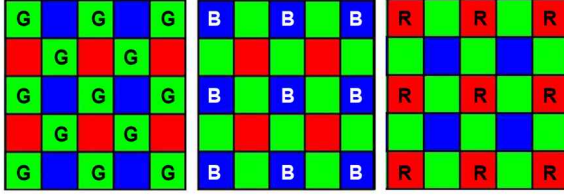


그림 2. Bayer CFA 영상을 위한 필터 마스크

제한하는 필터는 그림 2와 같이 컬러 필터 배열에서 R, G, B 각각 다른 필터 마스크를 가진다. 이처럼 모자이크한 형태의 영상이기 때문에 정확한 방향을 고려하기 위해서 먼저 다음과 같이 간단한 휘도 값(luminance) 추정 마스크를 사용하여 각각의 화소에서 휘도 추정 값을 사용한다.

1/16	1/8	1/16
1/8	1/4	1/8
1/16	1/8	1/16

그림 3. 3×3 Luminance estimation mask

$$L = I_{mo}^C * (\text{Luminance estimation mask}) \quad (2)$$

where

$$I_{mo}^C(i, j) = \begin{cases} I_{mo}^G(i, j), & \text{if } i \in \text{odd and } j \in \text{even} \\ I_{mo}^B(i, j), & \text{if } (i + j) \in \text{even} \\ I_{mo}^R(i, j), & \text{if } i \in \text{even and } j \in \text{odd} \end{cases}$$

수식 (2)에서 L 은 추정된 휘도 값을 의미하고, $I_{mo}^G(i, j)$, $I_{mo}^B(i, j)$, $I_{mo}^R(i, j)$ 는 각각 Bayer CFA 영상에서 (i, j) 위치에서의 각각의 R, G, B 컬러 화소 값을 의미한다. 추정된 휘도 값을 바탕으로 다음의 Sobel operator를 사용하여 Bayer CFA 영상에서 네 가지 방향으로의 변화 값을 추출해 낼 수 있다.

-1 0 1	-1 -2 -1	0 1 2	2 1 0
-2 0 2	0 0 0	-1 0 1	1 0 -1
-1 0 1	1 2 1	-2 -1 0	0 -1 -2
(a)	(b)	(c)	(d)

그림 4. Sobel operator. (a) The horizontal mask. (b) The vertical mask. (c) The $(\pi/4)$ -diagonal mask. (d) The $(-\pi/4)$ -diagonal mask.

$$\begin{aligned} \Delta I_{dm}^H &= L * (\text{Sobel operator} - (a)) \\ \Delta I_{dm}^V &= L * (\text{Sobel operator} - (b)) \\ \Delta I_{dm}^{\pi/4} &= L * (\text{Sobel operator} - (c)) \\ \Delta I_{dm}^{-\pi/4} &= L * (\text{Sobel operator} - (d)) \end{aligned} \quad (3)$$

수식 (3)에서 $\Delta I_{dm}^H, \Delta I_{dm}^V, \Delta I_{dm}^{\pi/4}, \Delta I_{dm}^{-\pi/4}$ 는 각각 그림 4에 (a), (b), (c), (d)에 해당하는 Sobel operator와 휘도 추정 값을 콘볼루션한 값으로 각각 네 방향으로의 변화값(gradient)를 의미한다. 이를 통

해 획득된 Bayer CFA 영상에서의 경계(edge)정보를 추정할 수 있다.

2.2 Bayer CFA 영상에서의 잡음 제거

$$\hat{I}(n) = \frac{\sigma_I^2}{\sigma_\eta^2} (I_\eta(n) - \mu_{F_\eta}) + \mu_{F_\eta} \quad (4)$$

수식 (4)는 기존의 알고리즘 중의 하나인 국부 영역의 확률적 특성을 이용한 방법(LMMSE : local linear minimum mean square error)으로 계산량이 많지 않으면서 평탄 영역의 잡음을 효율적으로 제거 하여 많은 영상처리 응용분야에서 사용되어 왔다.

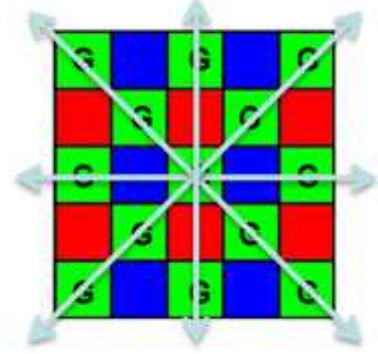


그림 5. 변화값(gradient)에 의한 방향 정보

$$\hat{I}(n) = \begin{cases} \hat{I}(n) & \text{if any two of the response} \approx \min(\Delta I_{dm}) \\ \hat{I}^H(n) & \text{if } \Delta I_{dm}^H = \min(\Delta I_{dm}) \\ \hat{I}^V(n) & \text{if } \Delta I_{dm}^V = \min(\Delta I_{dm}) \\ \hat{I}^{\pi/4}(n) & \text{if } \Delta I_{dm}^{\pi/4} = \min(\Delta I_{dm}) \\ \hat{I}^{-\pi/4}(n) & \text{if } \Delta I_{dm}^{-\pi/4} = \min(\Delta I_{dm}) \end{cases} \quad (5)$$

본 논문에서는 앞에서 추출한 영상의 방향 값(gradient)를 사용하여 수식 (5)와 같이 잡음을 제거하였다. 평탄영역에서는 수식 (4)의 필터를 Bayer CFA 영상에 적용하여 잡음을 제거 하고 경계가 되는 부분에서는 그림 (5)와 같이 최소가 되는 방향으로 수식 (4)의 필터를 적용하여 잡음을 제거 하였다.

3. 실험 결과 비교

본 논문에서 제안된 알고리즘의 성능 확인을 위해서 실제 카메라에서 획득된 Bayer CFA 데이터를 이용하여 알고리즘을 적용한 후 컬러 보간을 수행하여 얻은 컬러 영상을 비교하였다. 먼저 Bayer CFA 잡음 영상을 잡음 제거 알고리즘 처리 없이 컬러 보간을 하였을 경우, 평균 필터가 적용된 경우 그리고 제안된 알고리즘이 적용된 경우를 비교하였다. 컬러 보간 후 최종 영상에서 확인 할 수 있는 바와 같이 잡음에 의해 열화된 Bayer CFA 영상을 잡음 제거 알고리즘을 거치지 않고 컬러 보간을 수행하였을 경우 얻어지는 결과에서는 잡음에 의해 영상의 열화 정도가 크고 또한 잡음이 컬러 보간시에 주변 화소에 영향을 미쳐 컬러 잡음(artifact)가 많이 보이고 있다. 다음의 평균 필터가 적용된 경우에도 잡음을 효과적으로 제거하지 못해 컬러 잡음이 많이 보이고 있음을 확인 할 수 있다. 본 논문에서 제안하는 알고리즘을 적용 후에 컬러 보간을 수행하였을 경우에는 대부분의 잡음이 제거되어 다른 영상들에 비해서 해상도 많이 향상된 것을 확인할 수 있다.

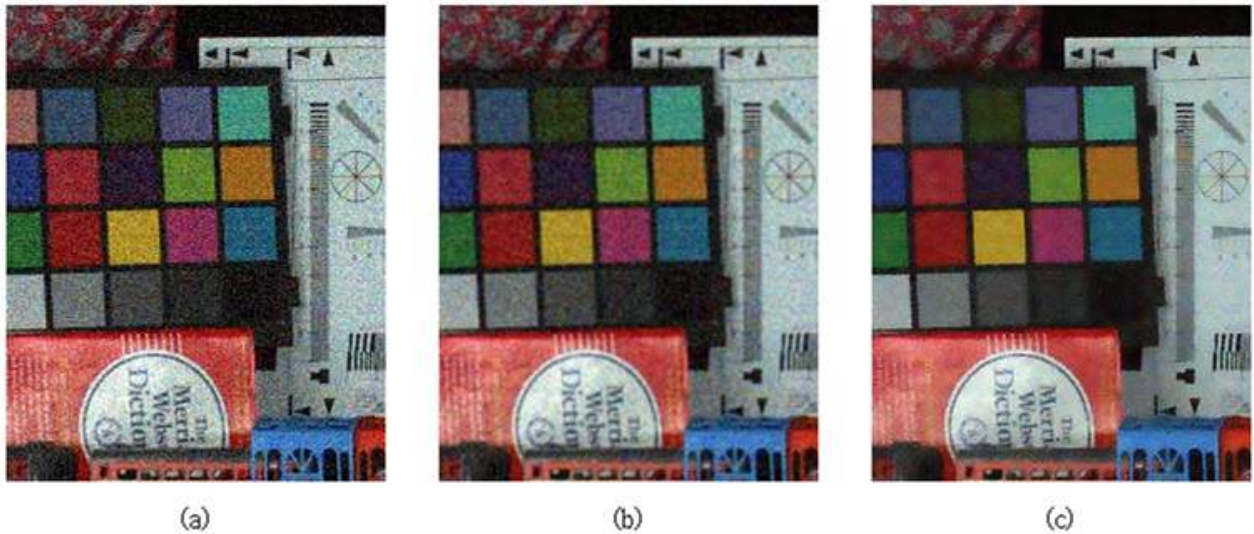


그림 6. (a) 잡음 영상 (b) 평균 필터 (c) 제안하는 방법

4. 결론

본 논문에서 제안된 알고리즘은 컬러 필터 배열에서 획득된 영상에서 생긴 잡음을 영상의 경계의 방향성을 고려하여 경계를 잘 보존해 줌과 동시에 잡음을 효과적으로 제거하였다. 또한 잡음 제거 이후에 컬러 보간이 수행되어 컬러 보간시 발생 하는 컬러 잡음을 효과적으로 제거되고 비용적인 측면에서도 효율적임이 확인 되었다.

Acknowledgement

본 연구는 지식경제부, 문화체육관광부 및 정보통신연구진흥원의 IT산업원천기술개발사업의 일환과 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행하였음. [KI001820, 영상 및 비디오 콘텐츠를 위한 계산사진학 기술 개발, (NIPA-2010-(C1090-1011-0003))

참 고 문 헌

- [1] B. E. Bayer, "Color imaging array," U.S. Patent 3 971 065, Jul. 1976.
- [2] Chung and Chan, "Color Demosaicing Using Variance of Color Differences," IEEE Trans. Image processing. , Oct. 2006.
- [3] LI and Randhawa, "Color Filter Array Demosaicking Using High-Order Interpolation Techniques With a Weighted Median Filter for Sharp Color Edge Preservation," IEEE Trans. Image processing. , SEP. 2009.
- [4] Darwin T. Kuan, "Adaptive Noise Smoothing Filter for Images with Signal-Dependent Noise", IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, PAMI-7, 1985
- [5] K. Hirakawa and T. W. Parks, "Joint Demosaicing and Denoising", IEEE Trans. Image processing. AUG. 2006.
- [6] L. Zhang, R. Lukac, X. Wu, and D. Zhang, "PCA-Based Spatially Adaptive Denoising of CFA Images for Single-Sensor Digital Cameras", IEEE Trans. Image processing. APR. 2009.