

# Bayer 패턴의 de-mosaicing 과정에서 발생하는 색상잡음 제거를 위한

## 검열기반 적응적 평탄화 기법

황성현, 김채성, 문지혜  
매그나칩반도체, ISD, CIS 개발팀

### Adaptive Smoothing Algorithm Based on Censoring for Removing False

### Color Noise Caused by De-mosaicing on Bayer Pattern CFA

Sunghyun Hwang, Chaesung Kim, Jihe Moon  
CIS Development Team, ISD, Magnachip Semiconductor  
E-mail: [sunghyun.hwang@magnachip.com](mailto:sunghyun.hwang@magnachip.com)

#### Abstract

The purpose of this paper is to propose ways to remove false color noise (FCN) generated during de-mosaicing on RGB Bayer pattern images. In case of images sensors adapting Bayer pattern color filters array (CFA), de-mosaicing is conducted to recover the RGB color data in single pixels. Here, FCN phenomena would occur where there is clearer silhouette or contrast of colors. The FCN phenomena found during de-mosaicking process appears locally in the edges inside the image and the proposed method of eliminating this is to convert RGB color space to YCbCr space to conduct smoothing process. Moreover, for edges where different colors come together, censoring based smoothing technique is proposed as a way to minimize color blurring effect.

#### I. 서론

최근에 와서 CMOS 이미지 센서의 응용분야는 광대하게 확산되고 있다. 대표적인 예로, 현재 출시되고 있는 대부분의 휴대전화에는 사용자의 요구에 따라 CMOS 이미지 센서가 기본적으로 탑재되는 추세다. 그리고 PC 카메라는 물론 감시용 비디오 카메라와 얼굴인식 등을 위한 지능화 시스템에서도 이미 CMOS 이미지

센서가 다양하게 활용되고 있다.

이처럼 광범위하게 사용되고 있는 CMOS 이미지 센서의 대부분은 Bayer 패턴의 칼라필터배열 (color filter array, CFA)을 채용하고 있다[1]. Bayer 패턴 CFA의 단위 픽셀은 단일 색상, 즉 RGB 색상 중 하나의 색상만을 포함하고 있기 때문에 완전한 칼라 영상을 얻기 위해서는 de-mosaicing 이 필요하다[2]. De-mosaicing 기술은, 가장 단순하게 이웃하는 픽셀의 색상정보를 차용하는 영차 보간 기법과 선형 보간 기법, 패턴기반의 복원 기법 등이 있다[2,3,5].

참고문헌 [6]에서, Cok 은 부분적인 이미지 영역 안에서 채널간 색상 비율이 동일하다는 가정을 기반으로 de-mosaicing 을 수행함으로써 원본 색상을 추정하였다. 그리고 Freeman 은 de-mosaicing 과정에서 나타나는 색상잡음(false color noise, FCN)을 억제하기 위해 칼라 채널간 차이값에 중간값 필터(median filter)를 적용함으로써 색상을 보상하는 방법을 제안한 바 있다[4].

하지만 이상에서 상술한 de-mosaicing 방법들이 정도의 차이를 두고 FCN 을 줄일 수는 있지만 완벽하게 제거하지는 못한다. 따라서 본 논문은 기존의 de-mosaicing 기술이 가지고 있는 FCN 에 대한 약점을 보강하기 위해 RGB 색상을 YCbCr 칼라공간으로 변환하여 평탄화함으로써 잔존하는 FCN 을 제거하는 방법을 제안한다.

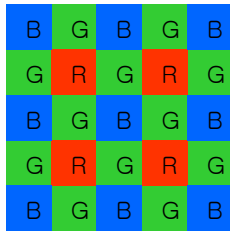


그림 1. Bayer 패턴 CFA

## II. De-mosaicing 과정의 FCN 모델

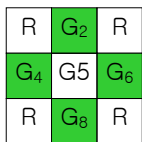
일반적으로 단일채널 CMOS 이미지센서는 Bayer 패턴의 CFA 를 채용하고 있으며 그림 1 에서 보는 것과 같이 각 픽셀이 가지고 있는 정보는 단일 색상에 대한 정보로 제한되며 격자형태로 색상평면이 구성된다. 이와 같은 Bayer 패턴의 CFA 에서 RGB 모든 색상 평면을 구성하기 위해서는 de-mosaicing 기술이 필요하다.

2 차원 de-mosaicing 에 앞서 1 차원에 대해서 살펴보면, CFA 를 구성하는 각 픽셀의 크기와 배열이 균일하다고 가정할 때 격자 단위의 픽셀에 대해서 픽셀 내에 존재하지 않는 색상정보는 인접한 두 픽셀의 평균값으로 복원 될 수 있다.

$$P(i) = \frac{P(i-1) + P(i+1)}{2} \quad (1)$$

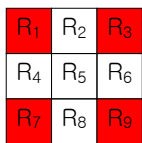
이때 FCN 은, Freeman[4]에 따르면, 1 차원 배열에서 밝기가 급격히 변하는 부분에서 발생한다. 그림 2a 는 계단함수 형태의 경계영역을 가진 1 차원 배열을 예시한 것이다. 이와 같은 배열에 대해서 식 1 을 적용하여 de-mosaicing 을 수행하면 그림 2b 와 같이 경계면에서 원래의 값과는 상이한 오차가 발생하게 되고 이는 FCN 으로 나타난다.

하지만 2 차원 Bayer 패턴 CFA 에 대한 de-mosaicing 과정은 1 차원과는 다르며 선형보간 방법을 적용할 경우 다음과 같이 수행된다[5].

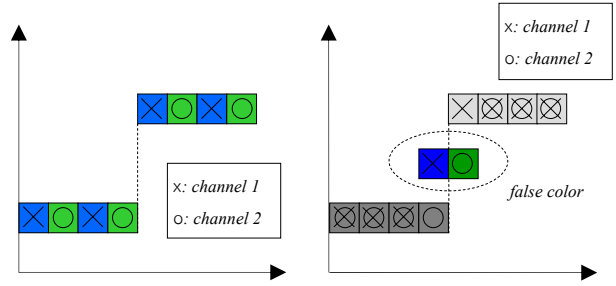


1) Green :  
 $G_5 = (G_2 + G_4 + G_6 + G_8) / 4$

2) Red :  
 $R_2 = (R_1 + R_3) / 2$   
 $R_4 = (R_1 + R_7) / 2$   
 $R_5 = (R_1 + R_3 + R_7 + R_9) / 4$



3) Blue :  
 Red 와 동일한 방법.



(a) 경계영역이 존재하는 1 차원 격자배열 (b) De-mosaicing 과정에서 발생한 FCN

그림 2. 1 차원 de-mosaicing 과 FCN 의 발생

위에서 기술한 과정 1) ~ 3)을 통해 각 채널의 색상은 독립적으로 보간된다. 이때 작용하는 커널 내 경계가 상하좌우 4-방향에 대해서만 존재한다고 가정하더라도 FCN 은 각 방향에 대해 발생할 수 있으므로, 1 차원 배열에 비해 그 경우의 수가 4 배 증가한다고 볼 수 있다. 또한 코너 형태의 특징점 등에서도 FCN 이 발생할 수 있다.

FCN 이 이상적인 밝기(intensity) 레벨의 불연속면에서 생성된다고 가정하고 어두운 부분의 밝기 레벨을 a, 그리고 높은 부분의 레벨을 b 라고 할 때 선형보간 방법으로 de-mosaicing 을 수행할 경우 각 채널간 밝기 차는 다음과 같이 나타난다.

B	G	B	G	B
G	R	G	R	G
B	G	P	G	B
G	R	G	R	G
B	G	B	G	B

$$(P_R, P_G, P_B) = \left( \frac{a+b}{2}, \frac{a+3b}{4}, b \right)$$

$$G-R: \Delta P_{GR} = \frac{b-a}{4},$$

$$G-B: \Delta P_{GB} = \frac{b-a}{4}, \quad (2)$$

$$R-B: \Delta P_{RB} = \frac{b-a}{2}$$

식 2 에서  $P_R, P_G, P_B$  는 선형보간을 통해 얻은 픽셀 P 에서의 RGB 값이며, 이때 계단형태의 경계에서 이상적인 경우 픽셀 P 의 RGB 레벨은 b 와 동일해야 하고 채널간 밝기 차,  $\Delta P_{GR}, \Delta P_{GB}, \Delta P_{RB}$  는 그 값이 작을수록 좋다. 그래서 경계영역과 같은 특징을 고려한 패턴기반의 de-mosaicing 방법[2,3,5]이 소개 되었지만 강건한 패턴인식이 바탕이 되지 않는 한 FCN 의 발생을 원천적으로 막을 수는 없다.

따라서 다음 절에서는 RGB 칼라를 YCbCr 공간으로 변환하여 밝기 값은 보존하고 색상 차를 최소화함으로써 FCN 을 효과적으로 제거하는 방법을 설명한다.

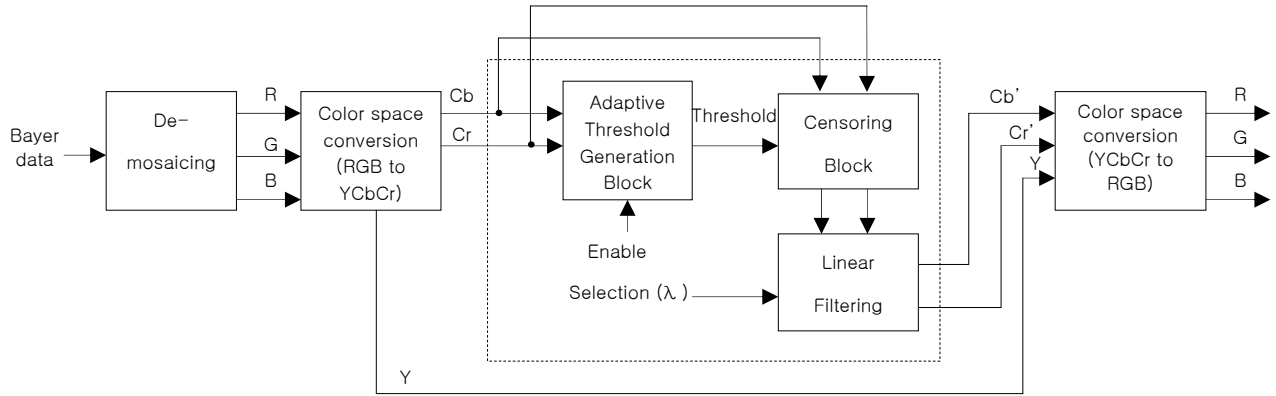


그림 3. 검열기반 적응적 평탄화의 데이터 흐름도

### III. Cb/Cr 데이터에 대한 검열기반 적응적 평탄화

본 절에서는 앞서 언급한 de-mosaicing 과정에서 발생하는 FCN 을 제거하기 위해 RGB 칼라 데이터를 YCbCr 데이터로 변환함으로써 휘도(luminance)와 색차(chrominance) 정보를 분리한 후 색차 데이터, 즉 Cb/Cr 데이터에 대해 적응적으로 평탄화를 수행하는 일련의 과정에 대해 상술한다.

일반적으로 CMOS 혹은 CCD 센서와 디지털 ISP (image signal processing) 블록이 결합된 SoC (system on a chip) 형태의 영상장치(imaging device)에서 데이터 흐름을 살펴보면 그림 3 에서와 같이 de-mosaicing 블록을 거치 나온 RGB 데이터는 백-엔드 칩(back-end chip)의 요구와 이후 감마보정 등과 같은 나머지 ISP 블록에서 사용될 목적으로 YCbCr 데이터로 변환된다. 그러므로 색차 정보를 추출하기 위해 새로운 블록을 추가할 필요 없이 기존의 데이터 흐름을 그대로 이용할 수 있다. 여기서 RGB to YCbCr 변환은 아래와 같이 이루어 진다.

$$\begin{bmatrix} Y \\ Cb \\ Cr \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ -0.169 & -0.331 & 0.5 \\ 0.5 & -0.419 & -0.081 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 128 \\ 128 \end{bmatrix}, \quad (3)$$

그림 3 에서 점선으로 둘러쳐진 블록은 본 논문에서 제안하는 평탄화 알고리즘을 나타낸다. 여기서 평탄화 커널 사이즈는 3x3 픽셀로 정의하고 적응적으로 평탄화를 수행하기 위해 중심 픽셀이 속한 밝기 레벨을 기준으로 주변 픽셀들을 검열하는 부분이 Censoring 블록이다. 이때 검열이라 함은 식 2 에서 보인 것과 같이 계단 형태의 경계영역에서 평탄화를 수행하고자 하는 중심픽셀 P 가 속한 밝기 레벨 b 에 대해 랜덤 잡음이

있음을 고려할 때, 레벨 b 에 속하지 않는 주변 픽셀들을 평탄화 작업에서 제외하는 과정을 의미한다. 이와 같이 커널 내 주변 픽셀들을 검열하기 위해 문턱값을 생성하는 과정이 필요하다. 여기서 문턱값은 Cb/Cr 채널에 가우시안(Gaussian) 잡음이 있음을 가정할 때 커널 내 표준편차,  $\sigma$  에 대해서  $3\sigma$  로 정의한다. 이것은 가우시안 분포의 특성상 랜덤 잡음의 발생확률에 대해 99% 가 평균을 중심으로  $\pm 3\sigma$  내에서 존재한다는 가정에 정의된 것이다. 또한 커널 내 존재하는 값의 레벨이 편평하거나 그렇지 않으면 2 개의 레벨만을 가진다는 가정에, 문턱값은 동일 레벨의 범위를 제한하기 위해 커널 내 최소값과 최대값의 1/2 평균값으로 구해진다. 간단히 정리하면 문턱값은 다음과 같이 구해진다.

$$Th = \min \left\{ 3\sigma, \frac{1}{4} (\min\{Cb(n)\} + \max\{Cb(n)\}) \right\}, \quad (4)$$

식 4 에서  $\{Cb(n)\} = \{Cb_1, Cb_2, Cb_3, Cb_4, Cb_6, Cb_7, Cb_8, Cb_9\}$  이다. 여기서 아래첨자는 중심픽셀을 기준으로 주변픽셀의 위치를 나타내고, 왼쪽상단(1)을 기준으로 오른쪽 하단(9)까지 지그재그 스캔 순서로 증가한다. Cr 데이터에 대해서도 동일한 방법으로 문턱값이 구해진다. 문턱값이 구해지면 커널 내 중심픽셀,  $Cb_5$  에 대해서  $(Cb_5 + Th)$  와  $(Cb_5 - Th)$  로써 검열 범위가 결정된다.

검열 범위 내에 존재하는 주변 픽셀은 다음 블록인 평탄화 과정의 입력으로 들어간다. 선형필터 블록으로 넘어온 데이터들은 단순히 평균값 필터를 거치거나 가우시안 필터를 통해서 평탄화된다. 이때 입력으로 들어온 주변픽셀들은 이미 중심픽셀과 동일한 레벨에 있는 픽셀들이기 때문에 커널 내 경계영역이 존재할 때 적응적 평탄화가 가능하게 된다.

최종적으로 평탄화 된 Cb/Cr 데이터는 다시 RGB 칼라 영상으로 변환된다.

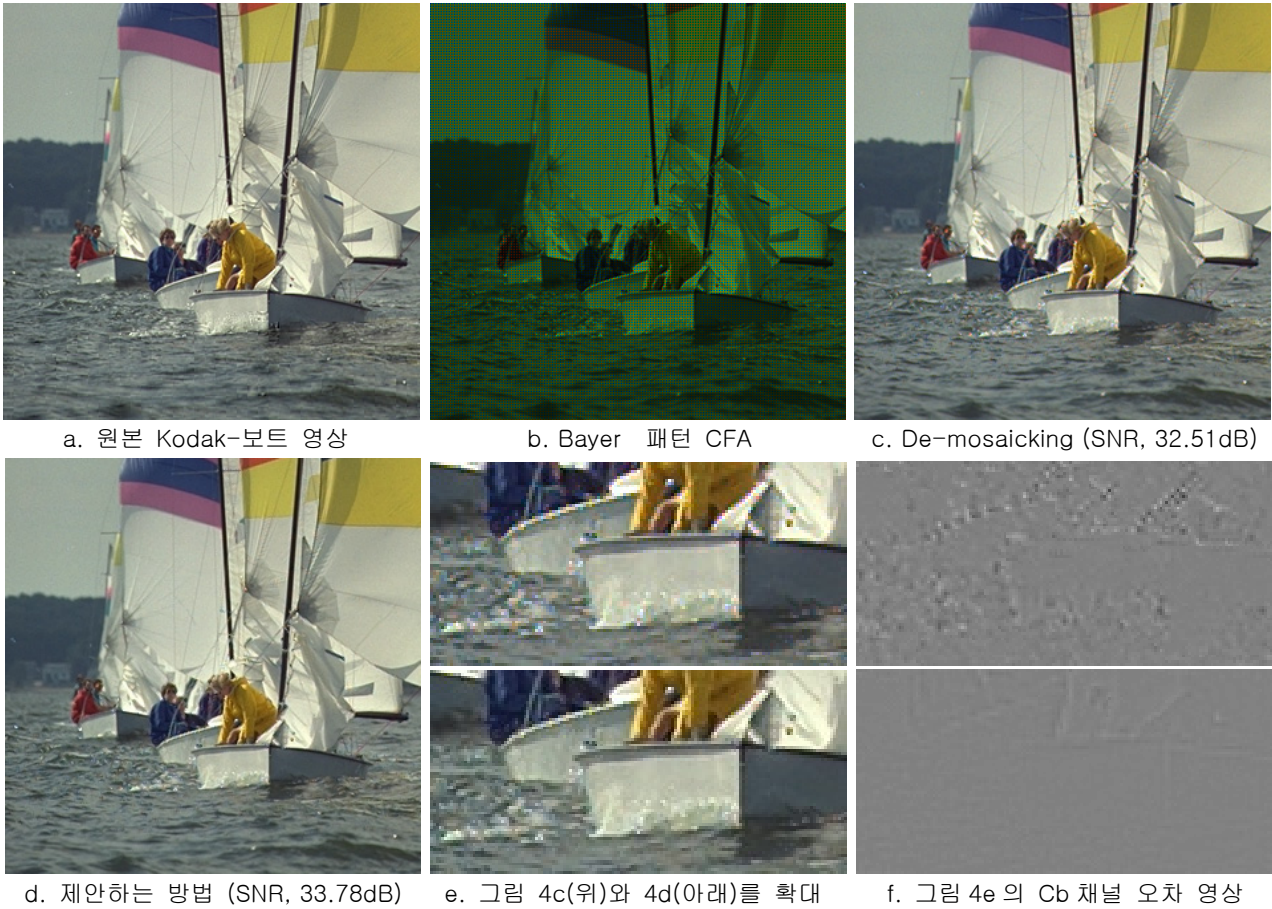


그림 4. Bayer 패턴 영상의 De-mosaicing 과 검열기반 FCN 제거 기법 적용 결과

#### IV. 실험 결과 및 결론

그림 4 에서 de-mosaicing 을 수행하여 얻은 결과와 본 논문에서 제안한 기법을 적용하여 얻은 결과를 비교하였다. 그림 4a 는 원본영상이고, 4b 는 Bayer 패턴 CFA 형태로 구성된 영상이다. 그림 4c 는 그레디언트 기반의 de-mosaicing[5]을 수행하여 얻은 영상이고 그림 4d 는 그림 4c 에 대해 3 절에서 제안한 방법으로 FCN 을 억제한 결과 영상이다. 그리고 그림 4e 에서 그림 4c 와 4d 의 부분 확대영상을 나타냈고 그림 4f 는 그림 4e 에 대해 원본 영상의 Cb 채널에 대한 오차를 나타낸 것이다.

본 논문에서 제안한 색차 데이터에 대한 검열기반 적응적 평탄화 알고리즘은 기존의 de-mosaicing 기술이 가지고 있는 FCN 에 대한 약점을 보강하기 위한 후처리 과정으로써 어떤 de-mosaicing 방법과도 병합하여 사용될 수 있으며 기존의 이미지 센서가 취하고 있는 데이터 패스를 그대로 차용함으로써 FCN 을 효과적으로 제거할 수 있는 기법이다.

#### 참고문헌

- [1] B. Bayer, "Color imaging array," U.S. Patent 3 971 065, 1976.
- [2] J. Hamilton and J. Adams, "Adaptive color plane interpolation in single sensor color electronic camera," U.S. Patent 5 629 734, 1997.
- [3] W. Lu and Y.-p. Tan, "Color filter array demosaicing: New method and performance measures," *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 12, no. 10, pp. 1194-1210, Oct. 2003.
- [4] T. W. Freeman, "Median filter for reconstructing missing color samples," U.S. Patent 4 724 395, 1988.
- [5] A. Lukin and D. Kubasov, "An improved demosaicing algorithm," *Proc. ICCG2004*, Sept. 6-10, 2004.
- [6] D. Cok, "Signal processing method and apparatus for producing interpolated chrominance values in a sampled color image signal," U.S. patent 4 642 678, 1987.