

에지 선별을 개선한 컬러 보간법

정회원 조양기*, 김희석**

A Color Interpolation Method for Improved Edge Sensing

Yang-Ki Cho*, Hi-Seok Kim** *Regular Members*

요 약

많은 이미징 장치들이 특정 컬러의 광학 신호만을 통과시키는 컬러 필터 어레이를 포함한 단일 이미지 센서를 사용한다. 이러한 이미지 센서로부터 얻어진 이미지들은 각 픽셀에 하나의 컬러 값만을 갖기 때문에, 완전한 영상으로 복원해야 한다. 본 논문에서는 단일 이미지 센서를 탑재한 이미징 장치를 위한 새로운 컬러 보간법을 제안하였다. 제안한 방법은 이미지의 에지 영역에서 우수한 보간 결과를 얻기 위해 에지 선별 기능을 개선하였고, 점진적 영역에서의 보간을 위해 채널간의 새로운 관계를 제시하였다. 보간 성능 비교를 위해 제안한 방법과 기존의 방법들을 비교하였다. 비교 실험을 통해 제안한 방법의 우수한 보간 성능을 입증하였다.

Key Words : Color interpolation, Demosaicing, Color filter array, Image sensor, Edge sensing

ABSTRACT

In many imaging devices, a single image sensor is used, which is covered by a color filter array to filter out the specific color components from light. Since an image acquired from this image sensors have a color components at each pixel, it is needed to be reconstructed to a perfect image. In this paper, a new color interpolation method for the imaging devices having a single image sensor is proposed. The proposed method improves a edge sensing function to obtain satisfactory results in edges of an image, and presents a new inter-channel correlation for improving interpolation performance in smooth region. We have compared our method with several exiting methods, and our experimental results have proved better interpolation performance in comparing with the other results.

I. 서론

단일 이미지 센서(image sensor)를 장착한 카메라 폰 등의 보급형 이미징 장치(imaging device)가 대중화되면서, 최근 단일 이미지 센서로부터 획득한 이미지의 질을 개선하려는 연구가 활발히 진행되고 있다. 단일 이미지 센서는 컬러 필터 어레이(color filter array, CFA)라고 하는 광학 필터 장치로부터 걸러진 신호만을 취하게 된다. CFA는 R(red), G(green), B(blue) 중 하나의 컬러 신호만을 통과시키는 세 가지 픽셀 필터를 혼합 교차시킨 배열 패

턴으로서, 가장 많이 사용하는 CFA 패턴이 그림 1에 나타난 베이어 패턴(Bayer's pattern)^[1]이다.

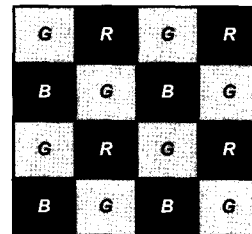


그림 1. 베이어 CFA 포맷.
Fig. 1. Bayer CFA Format.

* 청주대학교 전자공학과 (renai21c@naver.com), ** 청주대학교 전자정보공학부 (khs8391@cju.ac.kr)
논문번호 : KICS2006-09-402, 접수일자 : 2006년 9월 8일, 최종논문접수일자 : 2006년 12월 10일

그림 1에서 알 수 있듯이, 베이어 패턴은 50%의 G 컬러 필터와 25%의 R 컬러 필터, 25%의 B 컬러 필터로 구성된다. 이미징 장치는 CFA로부터 획득한 광학 신호를 이미지 센서와 A/D 컨버터(analog-to-digital converter)에 차례로 통과시켜 메모리에 저장할 디지털 이미지 데이터를 생산한다. 이렇게 얻은 이미지 데이터는 앞서 언급한 것처럼 CFA의 영향으로 픽셀 당 하나의 컬러만을 갖는 데이터이기 때문에 CFA 데이터라고 한다. 그레이 스케일 이미지인 CFA 데이터를 사용자가 볼 수 있는 이미지로 재구성(reconstruction) 또는 복원(restore)하기 위해서는 각 픽셀 당 세 개의 컬러를 모두 갖추도록 이미지 처리(image processing)해야 한다. 이 과정을 컬러 보간(color interpolation) 또는 디모자이크(demosaicing)라고 한다^{2,3,4)}. 지난 수년간 컬러 보간을 위한 많은 연구가 수행되었고, 그 결과 다양한 종류의 방법들이 소개되었다^{3,4)}. 컬러 보간을 위한 가장 간단한 방법이 양선형 보간(bilinear interpolation)으로서 보간할 위치에 인접한 픽셀들 중 보간할 컬러와 동일한 컬러를 갖는 픽셀들의 컬러 값들에 대해 평균을 취한다. 양선형 보간법은 구현이 단순하나, 복원된 이미지의 텍스처 영역(textured region)이나 에지(edge)에서 많은 컬러 에러(color artifacts)를 발생시키는 단점이 있다^{3,5)}. 이러한 에지 부근에서의 컬러 에러를 줄이기 위해, 에지 센싱 방법(edge-sensing method)은 보간할 픽셀 주변의 컬러 정보들을 분석하여 에지가 형성되어 있는 에지 방향(edge direction)을 결정하고, 에지를 따르는 방향으로 보간을 한다. 에지 방향을 결정하기 위해서 수평, 수직 또는 대각선 방향에서의 경사도(gradient)를 구하고, 가장 낮은 경사도를 갖는 방향을 에지 방향으로 선택한다. [6]에서는 에지 방향의 선택을 위해 R(또는 B) 픽셀들에 라플라시안(Laplacian)을 적용하여 경사도를 구하고, 그 경사도의 값을 참조하여 에지 방향을 선택한다. G 픽셀의 보간을 위해 선택된 방향에 놓인 G 픽셀들의 평균을 구하여 보간을 한다. [7]에서는 경사도를 구하기 위해, R(또는 B) 픽셀들의 라플라시안 값과 G 픽셀들의 기울기 값을 이용하였고, G 픽셀의 보간을 위해 에지 방향에서 인접 G 픽셀들의 평균값과 R(또는 B) 픽셀들의 라플라시안 값을 이용하였다. 고정 휴 기반 방법(constant-hue based method)은 채널간의 컬러 차이(color differences)인 휴(hue)값이 거의 일정하다고 가정하고, 그 채널 관계를 이용하여 컬러 보간을 한다⁸⁾. 이 방법은 인접 컬러들의 급격한 변화를

방지하는 장점을 갖고 있다³⁾. 에지 센싱 방법이 G 채널의 보간에 많이 사용되는 반면, 고정 휴 기반 방법은 R 또는 B 채널의 보간에 널리 사용된다. [6,7,9]에서는 R과 B 채널의 보간을 위해 모두 똑같은 고정 휴 기반 방법을 사용하였는데, R과 B 채널 보간의 성능이 매우 우수하다. [7] 연구 방법이 [6]의 방법 보다 에지 선별 성능이 우수하기 때문에 에지 주변에서 높은 질의 G 채널의 보간 결과를 보인다. 한편 [9]에서의 방법은 G 채널 보간 과정에서 에지 센싱 기법을 적용하지 않고, 고정 휴 기법을 이용하기 때문에 에지 부근에서의 컬러 오류를 많이 발생시킨다는 단점이 있으나, 완전한 이미지 영역에서는 매우 우수한 보간 성능을 나타낸다.

본 논문에서는 에지 센싱 방법과 고정 휴 기반 기법을 이용하는 새로운 보간 방법을 제안한다. 제안한 방법은 에지 선별의 성능을 높이기 위해 새로운 경사도 계산식을 제시하고, 우수한 G 채널 보간의 성능을 위해 새로운 채널간의 관계를 유도한다.

II. 에지 선별을 개선한 컬러 보간법

본 논문에서 제안한 보간 방법은 아래와 같이 3 단계로 컬러 보간을 처리한다.

- 단계1: G 채널의 컬러 보간을 위한 에지 선택
- 단계2: 선택된 에지 방향에서의 G 채널 보간
- 단계3: 단계3에서 구한 G 채널들의 정보를 이용하여 R과 B 채널들의 컬러 보간

2.1 에지 선택

에지 센싱 기법은 에지 방향을 선택하기 위해서 각 방향에서의 경사도를 계산하여 비교하는데, 기존의 에지 센싱 기법 컬러 보간 방법들은 경사도를 구하기 위해서 인접 픽셀의 컬러 값들의 변화를 측정한다. 경사도가 낮다는 것은 인접 컬러 값들이 점진적으로 변화한다는 것을 의미하고, 반면 경사도가 크다는 것은 변화가 급진적이라는 것을 의미한다. 이러한 기존의 방법들과 달리, 제안한 방법은 인접한 컬러들의 기울기들을 구하고, 연속되는 기울기의 변화를 측정하여 경사도를 구한다. 여기서 기울기는 CFA 데이터에서 인접한 두 개의 동일 컬러 픽셀 값들의 차를 나타낸다. 구체적인 설명을 위해 CFA 데이터에서 R_i 픽셀 주변 패턴을 나타낸 그림 2를 이용한다.

제안한 방법은 수직과 수평 방향에서 경사도를 구하기 위해서 두 방향에 놓인 9개의 주변 컬러 정

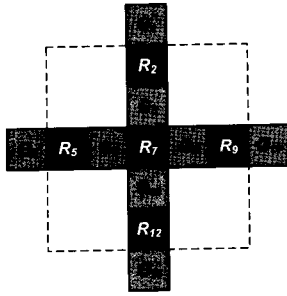


그림 2. R7의 주변 패턴.
Fig. 2. Neighboring pattern of R7.

보들을 이용한다(그림 2에서 점선 안의 픽셀들을 참조). 그림 2에 나타난 G_7 픽셀에서 수직, 수평 방향의 경사도를 각각 식 (1)과 식 (2)를 이용하여 계산한다.

$$D_V = |R_7 - R_2| + |(G_{11} - G_3) - (R_7 - R_2)| + |(R_{12} - R_7) - (G_{11} - G_3)| + |R_{12} - R_7| \quad (1)$$

$$D_H = |R_7 - R_5| + |(G_8 - G_6) - (R_7 - R_5)| + |(R_9 - R_7) - (G_8 - G_6)| + |R_9 - R_7| \quad (2)$$

식 (1)과 식 (2)는 각각 수직과 수평 방향의 경사도에 대한 식이며, D_V 와 D_H 의 식에서 각 절대식 항은 인접한 두 기울기 사이의 변화를 나타낸다. 수직 방향의 경사도 D_V 는 R_2 픽셀에서 R_{12} 까지 5개 픽셀의 컬러 값들을 이용하여 계산하는데, 첫 번째 기울기는 R_2 와 R_7 의 컬러 값의 차이 ($R_7 - R_2$)이고, 두 번째는 ($G_{11} - G_3$)이며, 마지막은 ($R_{12} - R_7$)이다. 따라서 기울기의 변화 크기를 알기 위해서 인접 기울기들의 차를 구할 필요가 있다.

즉, D_V 식에서 두 번째 절대항인 $|(G_{11} - G_3) - (R_7 - R_2)|$ 은 두 번째 기울기 ($G_{11} - G_3$)와 첫 번째 기울기 ($R_7 - R_2$) 사이의 변화를 의미한다. 또한 D_V 의 첫 번째 절대식 $|R_7 - R_2|$ 항은 첫 번째 기울기 ($R_7 - R_2$)가 기울기 0으로부터 천이한 정도를 나타낸다. D_V 의 마지막 절대식 항인 $|R_{12} - R_7|$ 역시 마지막 기울기 ($R_{12} - R_7$)과 기울기 0과의 차를 의미한다. 결과적으로 D_V 식은 수직방향에서 연속된 기울기들에 대한 변화량의 총합으로 볼 수 있다. 이렇게 구한 D_V 와 D_H 를 비교하여 에지 방향을 선택한다.

2.2 G 채널의 컬러 보간

제안한 방법은 G 채널의 컬러 보간을 위해 주변 픽셀 정보들로부터 CFA 데이터의 지역 평균과 R, G, B 채널의 지역 평균을 계산하고, 이 지역 평균 값들의 관계를 통해 G 값을 보간한다. 각 채널의 지역 평균이란 보간할 픽셀 위치로부터 에지가 형성된 방향에 있는 각 채널 값들의 평균을 의미한다. 한 픽셀당 하나의 컬러 정보를 갖는 CFA 데이터로부터 정확한 R, G, B 채널의 지역 평균을 구하는 것은 불가능하기 때문에, 주변 픽셀 정보들을 이용하여 각 지역 평균의 근사값을 구한다. 그림 2에 나타난 R_7 픽셀에서 수직 방향의 지역 평균들에 대한 계산식들을 식 (3), 식(4), 식(5)에 나타내었다.

$$MC_7^V = \frac{R_2 + G_3 + R_7 + G_{11} + R_{12}}{5} \quad (3)$$

$$MR_7^V = \frac{R_2 + R_7 + R_{12}}{5} + \frac{(R_2 + R_7)/2}{5} + \frac{(R_7 + R_{12})/2}{5} \quad (4)$$

$$MG_7^V = \frac{(G_1 + G_3)/2}{5} + \frac{(G_3 + G_{11})/2}{5} + \frac{(G_{11} + G_{13})/2}{5} + \frac{G_3 + G_{11}}{5} \quad (5)$$

V 는 수직 방향을 나타내고, MC 는 CFA 데이터의 지역 평균을, MR 은 R 채널의 지역 평균을, 마지막으로 MG 는 G 채널의 지역 평균을 의미한다. 수평 방향에서의 지역 평균들에 대한 계산식을 식 (6), 식 (7), 식 (8)에 나타내었다.

$$MC_7^H = \frac{R_5 + G_6 + R_7 + G_8 + R_9}{5} \quad (6)$$

$$MR_7^H = \frac{R_5 + R_7 + R_9}{5} + \frac{(R_5 + R_7)/2}{5} + \frac{(R_7 + R_9)/2}{5} \quad (7)$$

$$MG_7^H = \frac{(G_4 + G_6)/2}{5} + \frac{(G_6 + G_8)/2}{5} + \frac{(G_8 + G_{10})/2}{5} + \frac{G_6 + G_8}{5} \quad (8)$$

마지막으로 G_7 값을 보간하기 위해 앞서 계산한

각 방향의 에지 성분들과 지역 평균들의 값을 이용한다. 수직 방향과 수평 방향의 경사도를 비교하고, 낮은 경사도를 갖는 방향의 지역 평균들을 이용하여 G_7 픽셀을 보간한다. 만약 두 경사도가 같은 값을 갖는다면, 두 방향의 지역 평균들을 모두 이용한다. 이 보간 방법을 그림 3에 나타내었다. B 픽셀에서의 G 채널 보간 방법 역시 앞서 언급한 동일한 방법으로 계산할 수 있다.

```

if  $D_V < D_H$  then
     $MC_7 = MC_7^V$ 
     $MR_7 = MR_7^V$ 
     $MG_7 = MG_7^V$ 
else if  $D_H < D_V$  then
     $MC_7 = MC_7^H$ 
     $MR_7 = MR_7^H$ 
     $MG_7 = MG_7^H$ 
else
     $MC_7 = (MC_7^V + MC_7^H) / 2$ 
     $MR_7 = (MR_7^V + MR_7^H) / 2$ 
     $MG_7 = (MG_7^V + MG_7^H) / 2$ 
end
 $G_7 = R_7 - \frac{5}{4}(MR_7 - MC_7) - \frac{5}{6}(MC_7 - MG_7)$ 
    
```

그림 3. G 채널의 컬러 보간.
Fig. 3. G channel interpolation.

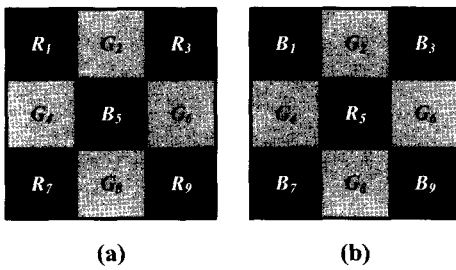


그림 4. (a) B_5 의 주변 패턴, (b) R_5 의 주변 패턴.
Fig. 4. (a) Neighboring pattern of B_5 ,
(b) Neighboring pattern of R_5 .

2.3 R과 B 채널의 컬러 보간

본 논문은 G 채널의 보간 성능을 높이는 것에 초점을 두고 있기 때문에, R과 B 채널의 컬러 보간을 위해 [6, 7, 9]에서 사용한 고정 휴 기반 기법을 사용한다. 그림 4(a)에 나타난 B_5 픽셀의 주변 패턴을 이용하여 R 채널의 컬러 보간을 설명한다. G_2

위치에서 보간할 R_5 는 수평 방향에 인접한 R_1 과 R_3 픽셀 값을 이용하여 구하고, G_4 위치에서 보간할 R_4 는 수직 방향에 인접한 R_1 과 R_7 을 이용하여 구할 수 있는데, 각각의 계산식을 식 (9)와 식 (10)에 나타내었다.

$$R_2 = G_2 + \frac{(R_1 - G_1)}{2} + \frac{(R_3 - G_3)}{2} \quad (9)$$

$$R_4 = G_4 + \frac{(R_1 - G_1)}{2} + \frac{(R_7 - G_7)}{2} \quad (10)$$

한편, G_5 위치에 있는 R_5 는 인접 모서리에 같은 컬러의 4개의 픽셀 R_1, R_3, R_7, R_9 가 존재하기 때문에, 이 컬러 값들을 이용하여 식 (11)과 같이 R_5 를 보간한다.

$$R_5 = G_5 + \frac{(R_1 - G_1) + (R_3 - G_3)}{4} + \frac{(R_7 - G_7) + (R_9 - G_9)}{4} \quad (11)$$

그림 4(b)에 나타난 패턴에서 B 픽셀을 보간하는 것 역시 상기에서 설명한 R 채널의 보간 방법과 유사하게 계산할 수 있다. 그림 4(b)에서 B_3, B_6, B_8 의 보간 계산식을 각각 식 (12), (13), (14)에 나타내었다.

$$B_3 = G_3 + \frac{(B_1 - G_1) + (B_3 - G_3)}{4} + \frac{(B_7 - G_7) + (B_9 - G_9)}{4} \quad (12)$$

$$B_6 = G_6 + \frac{(B_3 - G_3)}{2} + \frac{(B_9 - G_9)}{2} \quad (13)$$

$$B_8 = G_8 + \frac{(B_7 - G_7)}{2} + \frac{(B_9 - G_9)}{2} \quad (14)$$

III. 실험

제안한 방법의 보간 성능을 평가하기 위해서 기존 방법들과 제안한 방법을 그림 5에 나타난 24개의 테스트 이미지에 적용하였다. 우선 테스트 이미지 원본을 베이어 패턴의 CFA 데이터로 변환하고, 각 방법들을 이용하여 변환한 CFA 데이터를 보간

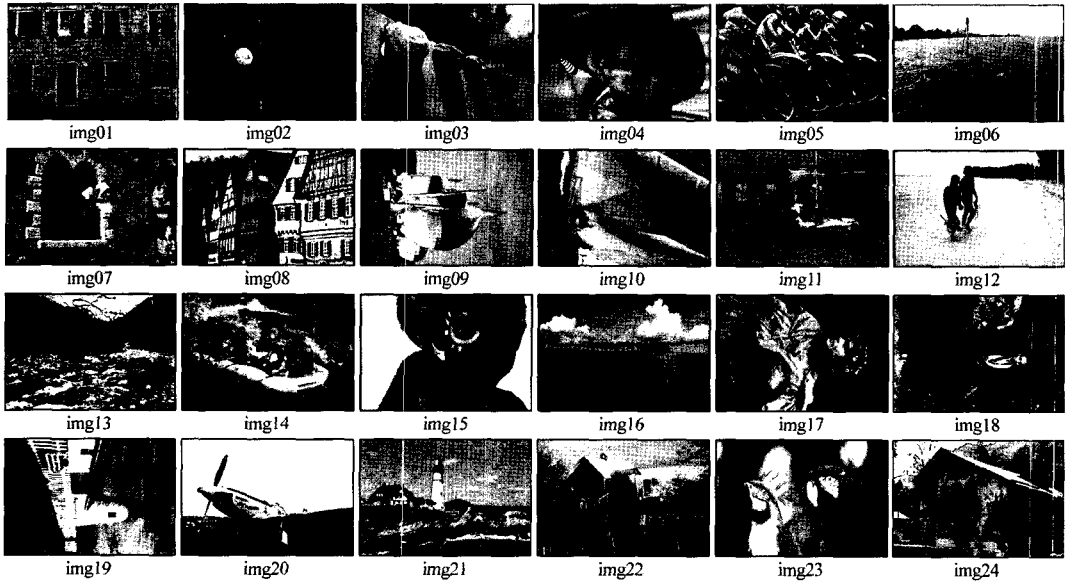


그림 5. 실험 이미지들.
Fig. 5. Test images.

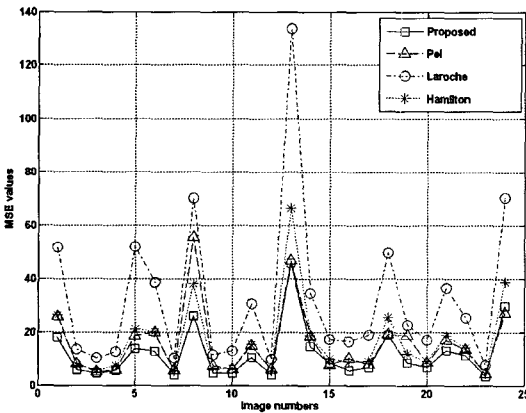


그림 6. 기존 방법들과의 MSE 비교
Fig. 6. MSE comparison with conventional methods.

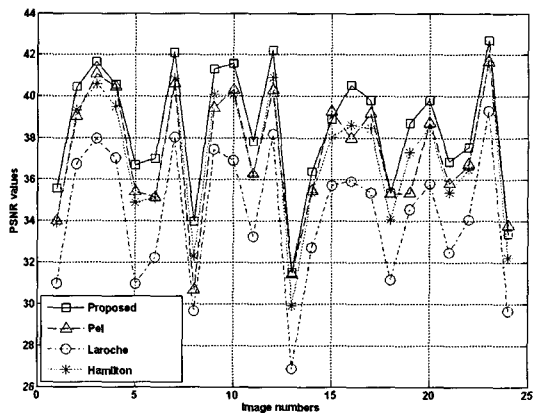


그림 7. 기존 방법들과의 PSNR 비교
Fig. 7. PSNR comparison with conventional methods.

하였다. 원본 이미지와 보간한 이미지의 데이터 사이의 차를 구하고 MSE와 PSNR을 계산하였다. 계산한 각 방법들의 MSE와 PSNR 값을 이미지별로 비교한 그래프를 각각 그림 6과 그림 7에 각각 나타내었다. 그림 6에서는 제안한 방법이 기존의 방법들보다 전반적으로 낮은 MSE 값을 나타내고 있으며, 그림 7에서는 높은 PSNR 값을 보인다. 즉, 이미지 15와 이미지 24를 제외한 모든 이미지에서 제안한 방법이 기존의 방법들보다 좋은 성능을 나타낸다. 수치적 참고를 위해 각 채널에 대해 계산한 MSE와 PSNR의 비교 결과를 각각 표 1과 표 2에 열거하였다. 표 1과 표 2에서 알 수 있듯이, 모든

채널에서 제안한 방법이 우수한 성능을 나타내고 있음을 알 수 있다. 특히 G 채널에서 다른 방법들에 비해 현저히 높은 성능을 나타낸다.

또한 이미지의 에지 부근에서 보간 성능을 평가하기 위해 이미지 19의 펜스 부분만을 보간한 결과 이미지들을 그림 8에 나타내었고, 표 3에 보간 결과의 MSE와 PSNR을 열거하였다. 그림 9에서 제안한 방법의 결과가 다른 결과들보다 적은 컬러 에러를 발생시키는 것을 알 수 있는데, 이것은 제안한 방법의 에지 판별 능력이 우수하다는 것을 의미한다^[9]. 방법은 표 1과 표 2에 나타난 것과 같이 수치적 성능은 높지만, 에지 센싱 기법을 사용하지 않

때문에 그림 8에 나타난 것처럼 에지 부근에서 많은 컬러 에러를 발생시킨다. 표 3에 나타내었듯이 이미지 19의 에지 부근에서 제안한 방법이 [9]보다 6.12dB 만큼 높은 PSNR 결과를 보였다. 또한 표 1 과 표 2, 표 3에서, [6]의 방법과 [7]의 방법 역시 모든 테스트 이미지에서 제안한 방법에 비해서 상대적으로 낮은 PSNR 결과를 보였다.

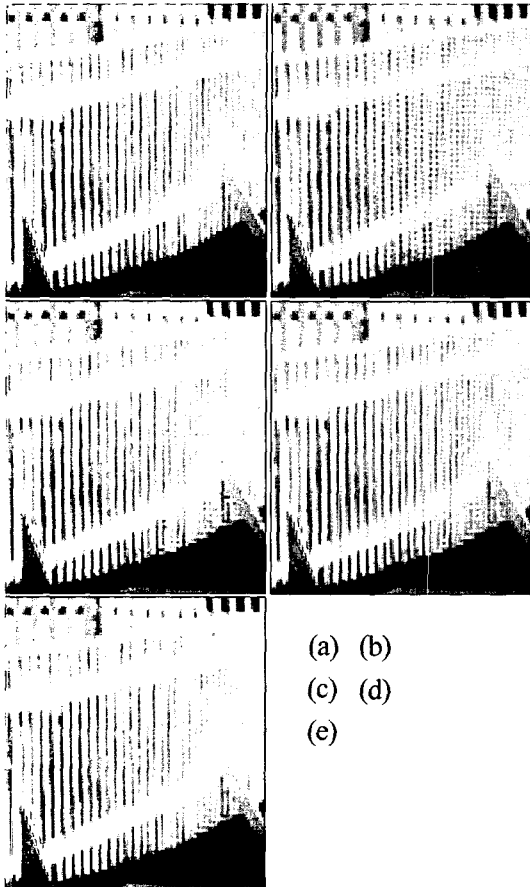


그림 8. 19번 영상의 에지 영역 이미지에 대한 보간 결과. (a) 원영상, (b) [9]의 결과, (c) [6]의 결과, (d) [7]의 결과.
Fig. 8. Interpolation results on the edge area of the image 19: (a) original image, using (b) [9], (c) [6], (d) [7].

표 3. 19번 영상의 에지 영역에 대한 MSE와 PSNR의 비교
Table 3. MSE and PSNR comparison on the edge area of the image 19.

MSE			
Proposed	Pei	Laroche	Hamilton
35.13	143.90	82.01	54.94
PSNR			
Proposed	Pei	Laroche	Hamilton
32.67	26.55	28.99	30.73

IV. 결론

본 논문에서는 CFA 데이터의 컬러 보간을 위한 새로운 방법을 제안하였다. 제안한 방법은 이미지의 에지 방향을 효율적으로 선별하기 위해서 연속된 기울기의 변화량을 이용하여 경사도를 계산하였다. 또한 이미지의 점진적인 영역에서의 보간 성능을 높이기 위해 각 채널의 지역 평균 관계를 이용하였다. 테스트 이미지들에 제안한 방법과 기존의 방법들을 적용하여 실험하였고, 제안한 방법의 우수한 보간 성능을 보였다. 구체적으로 제안한 방법은 전체적으로 기존의 방법들보다 우수한 PSNR 결과를 나타내었는데, [9]의 방법보다 최대 3.39 dB, 평균 1.22 dB 높았고, [7]보다 최대 1.94 dB, 평균 1.36 dB 높았으며, [6]보다는 최대 5.76 dB, 평균 4.15 dB 높은 수치를 보였다. 또한 보간 성능의 시각적인 비교 평가에서도 제안한 방법이 기존의 방법들보다 우수함을 알 수 있었다.

참고 문헌

- [1] B. E. Bayer, "Color imaging array," U.S. Patent 3,971,065, 1975.
- [2] R. Ramanath, W. E. Synder, Y. Yoo, and et al., "Color Image Processing Pipeline," *IEEE Signal Processing Magazine*, Vol. 22, Iss. 1, pp. 34-43, Jan. 2005.
- [3] B. K. Gunturk, J. Glotzback, Y. Altunbasak, and et al., "Demosaicking: color filter array interpolation," *IEEE Signal Processing Magazine*, Vol. 22, Iss. 1, pp. 44-54, Jan. 2005.
- [4] P. S. Tsai, T. Acharya, and A. K. Ray, "Adaptive fuzzy color interpolation," *Journal of Electronic Imaging*, Vol. 11, Iss. 3, pp. 293-305, Jul. 2002.
- [5] L. Zhang and X. Wu, "Color Demosaicking Via Directional Linear Minimum Mean Square-Error Estimation," *IEEE Trans. Image Processing*, Vol. 14, Iss. 12, pp. 2167-2178, Dec. 2005.
- [6] C. A. Laroche and M. A. Prescott, "Apparatus and method for adaptively interpolating a full color image utilizing chrominance gradients," U.S. Patent 5,373,322, 1994.
- [7] J. F. Hamilton Jr. and J. E. Adams Jr., "Adaptive color plan interpolation in single sensor color

- electronic camera," U.S. Patent 5,629,734, 1997.
- [8] D. R. Cok, "Signal processing method and apparatus for producing interpolated chrominance values in a sampled color image signal," U.S. Patent 4,642,678, 1987.
- [9] S. C. Pei and I. K. Tam, "Effective color interpolation in CCD color filter arrays using signal correlation," *IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Tech.*, Vol. 13, No. 6, pp. 503-513, Jun. 2003.

조 양 기 (Yang-Ki Cho)

정회원



1997년 2월 청주대학교 전자공
학과 학사 졸업

1999년 2월 : 청주대학교 전자공
학과 석사 졸업

2002년 8월 : 청주대학교 전자공
학과 박사 수료

<관심분야> 디지털 신호 처리용

VLSI 설계, SoC, 영상/음성 처리

김 희 석 (Hi-Seok Kim)

정회원



1977년 2월 한양대학교 전자공
학과 학사 졸업

1980년 2월 한양대학교 전자공
학과 석사 졸업

1985년 2월 한양대학교 전자공
학과 박사 졸업

1988년~1989년 Univ. of Colorado

교환 교수

1997년~1998년 UC Irvine 교환 교수

현재 청주대학교 전자정보공학부 교수

<관심분야> 시스템온칩, DSP 설계, 저전력 설계, 영상/음성 처리