

논문 2006-43CI-6-11

색상 필터 배열을 위한 효율적인 색상 보간 방법

(An Efficient Color Interpolation Method for Color Filter Array)

조 양 기*, 김 희 석**

(Yang-Ki Cho and Hi-Seok Kim)

요 약

디지털 카메라와 같은 장치에서 사용하는 단일 영상 센서는 화소 당 삼원색 중 하나의 색상만을 가진 서브샘플링 영상을 제공한다. 이 영상은 색상 보간이라는 영상 처리를 통해 완전한 색상 영상으로 복원된다. 본 논문에서는 영상 센서로부터 획득한 데이터의 평균과 각 색 채널 데이터 평균 사이의 관계를 유도하고, 이 관계를 이용하여 색상 보간을 위한 효율적인 새로운 방법을 제안하였다. 유도한 데이터 평균 관계는 채널 간의 색상차가 지역적으로 균일하다는 가정을 이용하였다. 또한 휘도신호 채널의 보간은 지퍼 효과를 감소시키기 위해서 에지 방향을 따라 보간 하였다. 한편 색상신호 채널은 휘도신호 채널과의 차를 평균하고, 이 평균값을 보간할 위치의 색상 값에 더하여 복원하였다. 본 논문에서는 제안한 방법을 기존의 방법들과의 비교 실험을 통해 제안한 방법의 우수함을 입증하였다.

Abstract

In imaging devices such as digital cameras using a single image sensor, captured images are the sub-sampled images comprised of the pixels that have only one of the three primary colors per a pixel. This images should be restored to the color images through an image processing referred as color interpolation. In this paper, we derive relation between the average of the data from CFA image sensor and the average of each color channel data. By using this relation, a new efficient method for color interpolation is proposed. Also, in order to reduce the zipper effect in a restored image, missing luminance values are interpolated along any edges in the captured image. On the other hand, for the chrominance channel interpolation, we average difference between a chrominance value and a luminance value in a local area, and this average value is added to the pixel value of the interpolated location. The proposed method has been compared with several previous methods, and our experimental results show the better results than the other methods.

Keywords : 색상 보간, 색상 필터 배열, 영상 센서, 에지-센싱, 고정 색상차

I. 서 론

최근 CCD (charge-coupled devices)와 CIS (CMOS image sensor) 등 영상 센서 기술이 발전하면서, 디지털 카메라와 카메라를 탑재한 모바일 폰이 대중적으로 인기를 얻고 있다. 이러한 영상 획득 장치에서 사용하는 영상 센서들은 광학 신호를 전기적 신호 변환하는 소자로서, 색상 필터 배열 (color filter array, CFA)로부터 걸러진 광학 신호를 얻는다. CFA는 하나의 색상 신호만을 통과시키는 화소 필터가 이차원 배열 형태로 구

성되며, 그것의 가장 보편화된 형태가 베이어 패턴 (Bayer's pattern)^[1]이다. 베이어 패턴은 빨강(R), 녹색(G), 파랑(B)에 해당하는 화소들을 규칙적으로 교차 혼합 배치한 것으로서, 그 구조를 그림 1에 나타내었다. CFA를 가진 영상 센서로부터 획득한 영상은 R, G, B 중 하나의 색상만을 갖는 화소들로 구성되기 때문에, 모든 색상 성분을 갖는 완전한 영상으로 복원하기 위한 과정을 색상 보간(color interpolation)이라고 한다^[2].

색상 보간은 영상의 질을 초기에 결정될 수 있는 도구이기 때문에, 영상획득장치의 영상 처리에서 매우 중요한 역할을 한다. 색상 보간의 가장 간단한 방법은 양선형 보간 (bilinear interpolation) 방식으로서, 보간하고자 하는 화소 주변에 존재하는 동일한 색상 정보들의

* 학생회원, ** 정회원, 청주대학교 전자공학과
(Department of Electrical and Electronic
Engineering, Cheongju University)

접수일자: 2006년9월19일, 수정완료일: 2006년10월30일

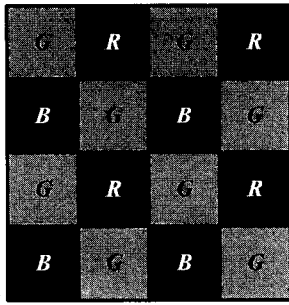


그림 1. 베이어 패턴
Fig. 1. Bayer's Pattern.

평균값을 이용한다. 이 방법은 영상의 텍스처 (texture) 영역과 에지 (edge)에서 색상 에러 (color error)를 심각하게 발생시키는 단점이 있다^[3]. 이러한 단점들을 개선하기 위해 많은 접근법을 이용한 연구들이 진행되어 왔는데, 그중 대표적인 것이 에지 센싱 보간 (edge-sensing interpolation) 기법^[4-6]과 고정 색상차 기반 보간 (constant color difference interpolation) 기법^[4-7]이다. 에지 센싱 보간 기법은 보간하고자 하는 화소를 중심으로 에지가 형성되어 있는 방향으로 보간을 한다. 즉, 에지 방향을 따르는 인접 화소들의 색상 정보들만을 이용해서 잃어버린 색상 (missing color)의 값을 보간한다. 에지 센싱 보간은 대부분 색상신호 (chrominance)인 R과 B 보다 휘도신호 (luminance)인 G 성분의 보간에 많이 사용된다. 반면 색상신호 채널의 보간에 많이 사용되는 고정 색상차 기반 보간법은 휘도신호와 각 색상신호의 차인 색상차 (color difference)가 인접 영역에서 급격히 변화하지 않는다는 가정을 이용하는 것이다.

Laroche^[4]는 휘도신호 채널을 보간하기 위해 수평과 수직 방향에 놓인 색상신호 정보들에 대해 라플라시안 (Laplacian)을 적용하여 경사도 (gradient)를 계산하였다. 계산된 두 방향의 경사도를 비교하여 에지를 선택하고, 에지 방향을 따르는 휘도신호 값들을 양선형 보간 하였다. 또한 색상신호 채널의 보간은 고정 색상차 기반 기법을 이용하였다. Laroche 방법은 보간 특성이 나쁘고, 에지 판단 오류가 많다는 단점이 있다. Hamilton^[5]은 복합분류자 (composite classifier)라는 새로운 경사도 계산식을 이용하여 에지 판단 오류율을 개선하고, 에지 방향에서 휘도신호 채널을 보간할 때도 라플라시안을 적용함으로써 복원 성능을 높였다. Hamilton 방법은 인접한 두개의 휘도신호 차의 절대값을 Laroche의 경사도 계산식에 더하여 경사도를 계산하였고, 선택한 에지 방향에서 3개의 인접 색상신호들

의 스케일된 라플라시안 값에 인접한 2개의 휘도신호들의 평균값을 더하여 보간하였다. 색상신호 채널의 보간은 Laroche의 것과 동일한 방식을 이용한다. Hamilton의 색상 보간 방법은 영상의 완만한 영역에서 뿐만 아니라, 에지 영역에서도 Laroche의 결과보다 보간 특성이 우수하다. 최근 Pei^[7]는 에지 센싱 방식들이 완만한 영상 영역에서 복원 성능이 낮은 것을 보완하기 위해 휘도신호 채널 보간에 에지 센싱 방식을 적용하는 대신 고정 색상차 기반 기법을 적용하였다. 즉, 보간할 색상신호 화소의 상하좌우에 인접한 4개의 휘도신호 정보와 색상신호 정보들의 색상차를 구하고, 그 색상차 값들의 평균값을 보간하는 화소의 색상신호 값에 더하는 방식이다. Pei의 방법은 영상의 완만한 영역에서 매우 우수한 결과를 나타내지만, 에지 부근에서 지퍼 효과 (zipper effect)가 심각하게 발생하는 단점을 갖고 있다. Pei 방법 역시 색상신호 채널 보간을 위해 Laroche의 방식을 따른다.

본 논문에서는 CFA를 갖는 단일 영상 센서를 통하여 서브샘플링 (sub-sampling)된 영상을 보간하기 위해서 휘도신호 채널 복원 성능을 개선한 새로운 색상 보간 방법을 제안한다. 제안한 기법에서 휘도신호 채널 보간 방식은 에지 센싱 기법을 이용하고, 고정 색상차가정에 근거하여 에지 방향에서의 CFA 신호와 각 채널 사이의 평균 관계를 적용하였다. 색상신호 채널 보간은 Laroche와 Hamilton, Pei의 방법들과 마찬가지로 고정 색상차 기반 기법을 이용하였다.

II절에서는 제안한 알고리즘을 구체적으로 제시하고, III절에서는 기존의 기법들과 제안한 방식의 비교 실험 및 결과를 보였으며, IV절에서는 결론을 맺는다.

II. 효율적인 색상 보간 방법

본 논문에서는 휘도신호 채널에 대한 보간 성능을 개선하여 우수한 질의 영상을 얻고자 한다. 즉, 제안한 방법은 휘도신호 채널의 보간에 초점을 두고 있다.

대부분의 보간 방법들과 마찬가지로 제안한 방법 역시 휘도신호 채널을 보간한 후, 색상신호 채널을 보간한다.

1. 휘도신호 채널 보간

가. 경사도

제안한 휘도신호 채널의 보간 방법은 에지 센싱 기법을 이용한다. 본 논문에서는 에지 선택의 기준인 수평

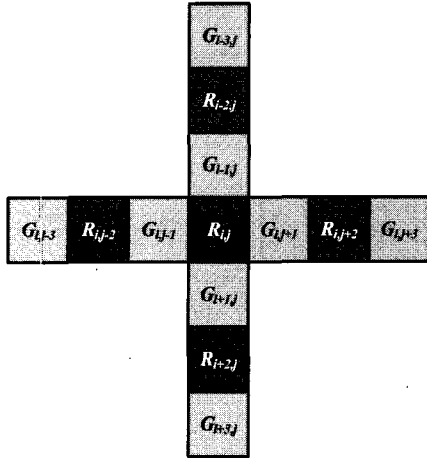


그림 2. $R_{i,j}$ 화소 주변 패턴
Fig. 2. Neighborhood pattern in $R_{i,j}$ location.

과 수직 방향의 경사도를 구하기 위해 Hamilton 방식에서 사용한 복합분류자를 사용한다. 경사도 계산 방법을 설명하기 위해 그림 2에 현재 복원할 화소에 R 색상이 존재하는 경우의 패턴을 보였다. 에지 판별을 위한 경사도의 계산식을 식 (1)과 식 (2)에 나타내었다.

$$Grad_H = |2R_{i,j} - (R_{i-2,j} + R_{i+2,j})| + |G_{i+1,j} - G_{i-1,j}| \quad (1)$$

$$Grad_V = |2R_{i,j} - (R_{i,j-2} + R_{i,j+2})| + |G_{i,j+1} - G_{i,j-1}| \quad (2)$$

식 (1)과 식 (2)에서 $Grad_H$ 와 $Grad_V$ 는 각각 수평과 수직의 경사도에 대한 식으로서, 주변의 휘도신호뿐만 아니라 색상신호 정보도 이용하여 계산한다. $Grad_H$ 와 $Grad_V$ 식에서 R 채널 정보를 이용하는 첫 번째 절댓값 항은 Laroche의 보간 기법에서 사용한 라플라시안 식과 일치한다^[4,5]. 계산된 경사도를 비교하는 것은 보간 위치에서 수직 또는 수평 방향 중 어느 방향으로 상대적으로 높고 낮은 공간 주파수 성분을 갖고 있는지를 의미한다. 즉, 경사도는 에지가 형성되어 있는 방향을 결정하는 도구로서 이용될 수 있다.

예를 들어, $Grad_H$ 가 $Grad_V$ 보다 작을 경우, 에지 방향은 수평으로 놓여 있는 것으로 본다.

나. CFA 데이터와 각 채널의 평균 관계

제안한 알고리즘은 고정 색상차 가정에 근거하여 CFA 데이터의 평균값과 휘도신호 또는 색상신호 평균값 사이의 관계식을 유도하고, 그 관계식을 이용하여 휘도신호를 보간 한다. 고정 색상차 기반 기법의 가정



그림 3. 색상신호 S_i 화소에서의 일차원 패턴
Fig. 3. One dimensional neighborhood pattern in a chrominance pixel S_i .

에 따라, R과 G채널, B와 G채널과의 관계를 식 (3)과 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$R_x - G_x \cong R_{x+1} - G_{x+1} \quad (3)$$

$$B_x - G_x \cong B_{x+1} - G_{x+1} \quad (4)$$

CFA 데이터와 채널 간의 평균 관계를 설명하기 위해 그림 3에 일차원 CFA 패턴을 나타내었다. 그림 3에 나타난 일차원 패턴은 에지 방향을 따르는 보간 방향이라고 가정한다. S_x 는 색상신호로서 R_x 또는 B_x 를 의미한다고 할 때, 색상신호 S_i 와 휘도신호 G_i 의 관계가 다음과 같다고 하자.

$$S_i - G_i = \alpha \quad (5)$$

식 (3)과 식 (4), 식 (5)를 고려하면, 그림 3에 나타난 CFA 데이터의 평균과 S 채널 정보들의 평균 관계를 식 (6)처럼 전개할 수 있다.

$$M_i^S = \frac{\left(\sum_{k=-2}^2 S_{i+k}\right)}{5} = \frac{(S_{i-2} + S_i + S_{i+2}) + (S_{i-1} + S_{i+1})}{5} \cong \frac{(S_{i-2} + S_i + S_{i+2}) + (G_{i-1} + G_{i+1} + 2\alpha)}{5} = M_i^C + \frac{2}{5}\alpha \quad (6)$$

식 6에서 M_i^S 는 S 채널 원소들인 $\{S_{i-2}, S_{i-1}, S_i, S_{i+1}, S_{i+2}\}$ 의 평균이고 M_i^C 는 $\{S_{i-2}, G_{i-1}, S_i, G_{i+1},$

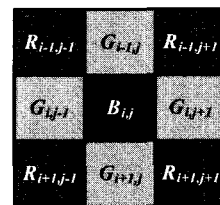


그림 4. 색상신호 $B_{i,j}$ 화소 주변의 2차원 패턴
Fig. 4. Two dimensional neighborhood pattern in a chrominance pixel $B_{i,j}$.

S_{i+2} 의 평균이다. 식 (6)에서 알 수 있듯이, 그림 3에서 CFA 데이터의 평균과 S 색상 평균과의 차는 $2\alpha/5$ 로 근사할 수 있음을 알 수 있다. 한편, M_i^G 가 $\{G_{i-2}, G_{i-1}, G_i, G_{i+1}, G_{i+2}\}$ 의 평균이라고 하면, CFA 데이터의 평균과 G 채널 신호 평균의 관계는 식 (7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} M_i^G &= \frac{\left(\sum_{k=-2}^2 G_{i+k}\right)}{5} \\ &= \frac{(G_{i-2} + G_i + G_{i+2}) + (G_{i-1} + G_{i+1})}{5} \quad (7) \\ &\cong \frac{(S_{i-2} + S_i + S_{i+2} - 3\alpha) + (G_{i-1} + G_{i+1})}{5} \\ &= M_i^C - \frac{3}{5}\alpha \end{aligned}$$

다. 휘도신호 성분 보간

식 (6) 또는 식 (7)을 이용하여 α 값을 구하면, 식 (5)를 이용하여 G_i 값을 보간할 수 있다. 정확한 M_i^S 와 M_i^G 값을 알아야 정밀한 α 값을 구할 수 있으나, CFA 데이터로부터 G_{i-2}, G_i, G_{i+2} 와 S_{i-1}, S_{i+1} 의 값을 알 수가 없다. 본 논문에서는 이 값들을 근사하기 위해 각 화소 위치에 인접한 양쪽 화소들의 값을 평균한다. 즉, G_{i-2} 의 값은 $(G_{i-3} + G_{i-1})/2$ 로 계산한다. 따라서 M_i^S 와 M_i^G 값의 근사치는 각각 식 (8)과 식 (9)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} M_i^R &= \frac{R_{i-2} + R_i + R_{i+2}}{5} \\ &+ \frac{(R_{i-2} + R_i)/2}{5} + \frac{(R_i + R_{i+2})/2}{5} \quad (8) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_i^G &= \frac{G_{i-1} + G_{i+1}}{5} \\ &+ \frac{(R_{i-1} + R_{i+1})/2}{5} + \frac{(R_{i-1} + R_{i+1})/2}{5} \\ &+ \frac{(R_{i+1} + R_{i+3})/2}{5} \quad (9) \end{aligned}$$

한편 식 (6)과 식 (7)에서 α 값을 구할 수 있는데, 각 식으로부터의 α 를 구분하기 위해서 각각 α_1 과 α_2 라고 하면, 그 결과 식은 식 (10)과 같다.

$$\alpha_1 = \frac{5}{2}(M_i^S - M_i^C), \quad \alpha_2 = \frac{5}{3}(M_i^C - M_i^G) \quad (10)$$

식 (10)에서 구한 α_1, α_2 의 이상적인 값은 서로 유사하나, 평균 M_i^S 와 M_i^G 가 근사에 의한 에러를 포함하기

때문에, 본 논문에서는 이 두 값의 평균을 취하여 사용한다. 이에 따라, 식 (5)를 고려할 때, 휘도신호 성분의 보간 값은 식 (11)을 이용하여 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} G_i &= S_i - \alpha \\ &= S_i - (\alpha_1 + \alpha_2)/2 \quad (11) \end{aligned}$$

휘도신호 보간의 실례를 위해 다시 그림 2를 이용하여 설명한다. 그림 2에서 $G_{i,j}$ 를 보간할 경우, 식 (1)과 식(2)에서 구한 경사도에 따라 다음과 같이 2가지 경우에 대해서 각 채널의 평균값을 구할 수 있다.

i) $Grad_V \leq Grad_H$ 인 경우,

$$\begin{aligned} M_{i,j}^C &= \frac{(R_{i-2,j} + G_{i-1,j} + R_{i,j} + G_{i+1,j} + R_{i+2,j})}{5} \\ M_{i,j}^G &= \frac{(G_{i-3,j} + 4G_{i-1,j} + 4G_{i+1,j} + G_{i+3,j})/2}{5} \quad (12) \\ M_{i,j}^R &= \frac{(3R_{i-2,j} + 4R_{i,j} + 3R_{i+2,j})/2}{5} \end{aligned}$$

ii) $Grad_V > Grad_H$ 인 경우,

$$\begin{aligned} M_{i,j}^C &= \frac{(R_{i,j-2} + G_{i,j-1} + R_{i,j} + G_{i,j+1} + R_{i,j+2})}{5} \\ M_{i,j}^G &= \frac{(G_{i,j-3} + 4G_{i,j-1} + 4G_{i,j+1} + G_{i,j+3})/2}{5} \quad (13) \\ M_{i,j}^R &= \frac{(3R_{i,j-2} + 4R_{i,j} + 3R_{i,j+2})/2}{5} \end{aligned}$$

식 (12)와 식 (13)에서 구한 평균값들을 식 (10)에 대입하여 α_1 과 α_2 를 계산한 후, 식 (11)을 이용하여 식 (14)처럼 $G_{i,j}$ 값을 얻을 수 있다.

$$G_{i,j} = R_{i,j} - \frac{5}{4}(M_{i,j}^R - M_{i,j}^C) - \frac{5}{6}(M_{i,j}^C - M_{i,j}^G) \quad (14)$$

그림 2에서 색상신호 데이터가 R 대신 B일 경우도 역시 상기에서 언급한 유사한 방식으로 보간할 수 있는데, 그 결과 식을 다음과 같이 나타내었다.

$$G_{i,j} = B_{i,j} - \frac{5}{4}(M_{i,j}^B - M_{i,j}^C) - \frac{5}{6}(M_{i,j}^C - M_{i,j}^G)$$

2. 색상신호 채널 보간

본 논문에서는 색상신호 채널 보간은 고정 색상차 기반 기법을 사용하였으며, Laroche와 Hamilton, Pei의 연구에서 색상신호 채널 보간을 위해 사용한 방식과 동일하다.

그림 4는 $B_{i,j}$ 를 중심으로 하는 패턴을 나타낸 것으

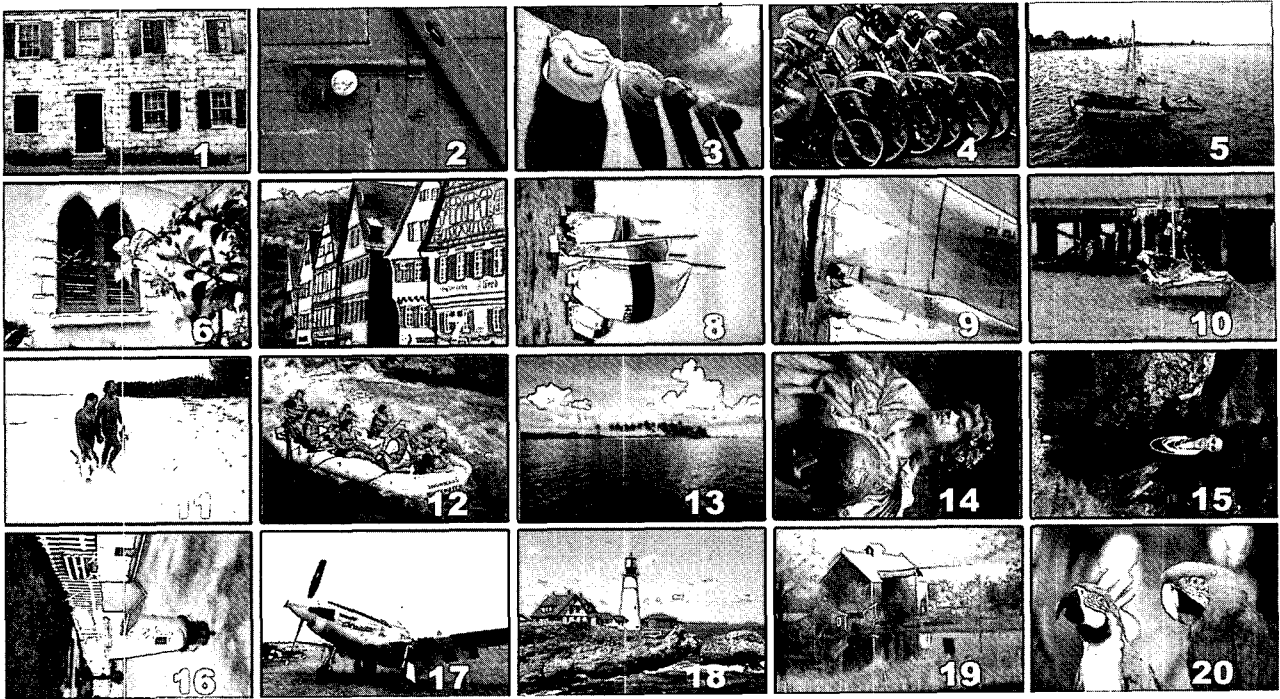


그림 5. 실험 영상들 (출처: <http://r0k.us/graphics/kodak/kodak/>)
 Fig. 5. Test images (<http://r0k.us/graphics/kodak/kodak/>).

로서, 이를 통해 $R_{i-1,j}$ 와 $R_{i,j+1}$, $R_{i,j}$ 의 복원을 설명한다. $(i-1, j)$ 위치는 좌우 인접 화소에, $(i, j+1)$ 위치는 상하 인접 화소에 R 색상을 가진 화소들이 존재하기 때문에, $R_{i-1,j}$ 와 $R_{i,j+1}$ 의 보간은 각각 식 (15)와 식 (16)과 같다.

$$R_{i-1,j} = G_{i-1,j} + \frac{(R_{i-1,j-1} - G_{i-1,j-1})}{2} + \frac{(R_{i-1,j+1} - G_{i-1,j+1})}{2} \quad (15)$$

$$R_{i,j+1} = G_{i,j+1} + \frac{(R_{i-1,j+1} - G_{i-1,j+1})}{2} + \frac{(R_{i+1,j+1} - G_{i+1,j+1})}{2} \quad (16)$$

한편, $B_{i,j}$ 위치의 모서리 인접 화소에는 4개의 R 정보가 존재하므로, $R_{i,j}$ 의 보간은 식 (17)과 같이 구할 수 있다.

$$R_{i,j} = G_{i,j} + \frac{(R_{i-1,j-1} - G_{i-1,j-1})}{4} + \frac{(R_{i-1,j+1} - G_{i-1,j+1})}{4} + \frac{(R_{i+1,j-1} - G_{i+1,j-1})}{4} + \frac{(R_{i+1,j+1} - G_{i+1,j+1})}{4} \quad (17)$$

B 채널의 보간 역시 R 채널의 보간 방법과 동일하다.

III. 실험 및 결과

제안한 방법의 성능을 평가하기 위해 그림 5에 나타난 24비트 비손실(lossless) 영상인 KODAK PhotoCD PCD0992 샘플 영상들을 이용하였다.

또한 세 개의 기존 방법들을 같은 영상에 적용하여 제안한 방법의 결과와 비교하였다. 제안한 방법과 비교 대상 방법들은 모두 동일한 색상신호에 대한 채널 보간

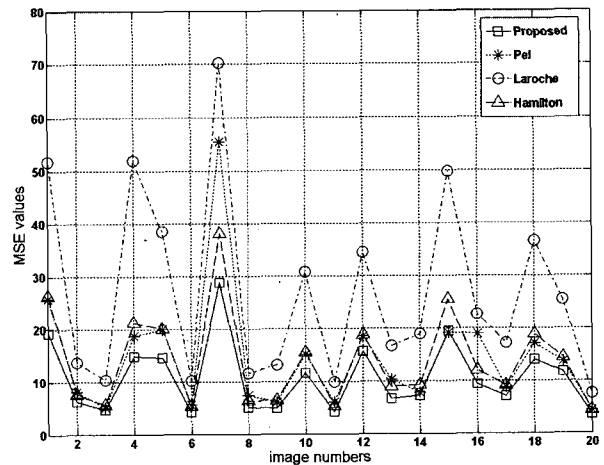


그림 6. 기존 방법들과의 MSE 비교
 Fig. 6. MSE comparison of different methods.

방식을 사용하기 때문에, 각 방법을 이용하여 색상 보간한 영상들의 질은 각 방법들의 휘도신호 채널 보간에 대한 성능 차이에 영향을 받는다.

각 색상 보간 방식들의 수치적 성능은 원래의 영상 데이터와 각 방법으로 통해 얻은 복원 영상 데이터에 대한 평균제곱오차 (MSE; mean square error)와 최대 신호대잡음비 (PSNR; peak signal to noise rate)를 대

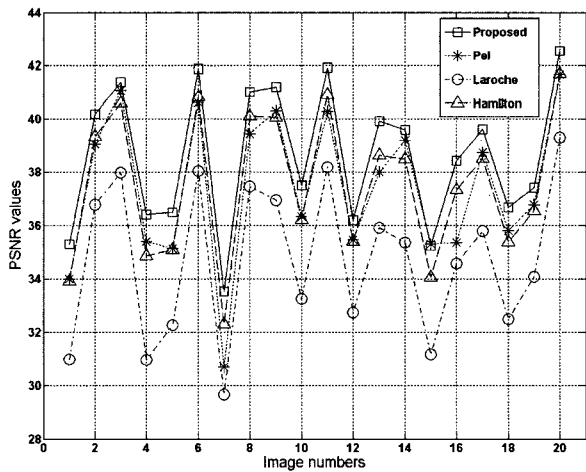


그림 7. 기존 방법들과의 PSNR 비교
Fig. 7. PSNR comparison of different methods.

상으로 평가하였다. 실험 영상에 대한 각 방법의 MSE 값을 그림 6에 그래프로 나타내었다. 그림 6에서 알 수 있듯이, 제안한 방법이 기존의 방법들보다 전체적으로 작은 MSE 값을 갖고 있음을 알 수 있다. 그림 7에 나타난 PSNR 결과에서도 제안한 방법이 가장 우수함을 알 수 있다.

RGB 채널별 성능을 보이기 위해 채널별 MSE와 PSNR 결과들을 각각 표 1과 표 2에 열거하였다. 표 1과 표 2에서 15번 영상의 G와 B채널을 제외한 모든 샘플 영상의 모든 채널에서 제안한 방법이 기존의 방법들에 낮은 MSE와 높은 PSNR 값을 나타내고 있다. 또한 표 2에서도 제안한 방법이 전반적으로 높은 PSNR 값을 나타냄을 알 수 있다. 제안한 방법을 포함하여 실험에 사용한 모든 방법들이 같은 색상신호 채널 보간법을 사용함에도 불구하고, 표 1과 표 2에서 각 방법들이 R과 B 채널에 대해 다른 결과 값을 나타내는 것은 휘도신호 채널의 보간 결과가 색상신호 채널 보간에 영향을 미친다는 것을 의미한다. 시각적 비교를 위해 그림 8과 그림 9에 각 방법들을 이용하여 복원한 결과 영상들의 일부분을 확대하여 나타내었다. 그림 8과 그림 9는 각각 16번과 17번 영상을 보간한 결과들이다. 확대 그림

표 1. 채널별 MSE 비교

Table 1. MSE comparison for R, G, and B channels.

영상		Laroche	Hamilton	Pei	Proposed	영상		Laroche	Hamilton	Pei	Proposed
1	G	47.45	21.99	17.58	14.78	11	G	8.52	3.82	3.70	2.75
	R	54.24	28.99	30.40	21.93		R	10.33	5.81	7.10	4.78
	B	53.68	28.16	29.62	20.96		B	10.75	6.17	7.43	5.01
2	G	11.74	5.23	4.84	3.87	12	G	30.85	12.54	10.69	8.89
	R	15.98	10.46	11.95	9.20		R	38.18	24.45	25.86	21.55
	B	13.16	6.96	7.48	5.59		B	34.67	19.39	19.03	16.35
3	G	9.29	3.88	3.11	2.88	13	G	14.51	7.25	6.49	5.00
	R	10.70	6.52	6.15	5.55		R	17.62	9.71	12.24	7.38
	B	11.10	6.57	5.96	5.71		B	17.78	9.74	12.14	7.51
4	G	52.65	16.99	13.56	10.12	14	G	18.78	7.56	5.86	5.29
	R	51.21	22.66	20.98	16.46		R	17.01	8.07	6.96	6.10
	B	52.15	23.84	21.57	17.96		B	20.99	11.98	10.64	10.05
5	G	34.54	16.41	12.92	10.96	15	G	48.16	21.13	14.59	14.88
	R	39.56	21.58	23.32	15.96		R	45.56	23.01	17.00	16.88
	B	41.61	22.31	23.55	16.77		B	55.59	32.38	25.98	26.56
6	G	9.76	4.02	4.01	2.64	16	G	20.90	9.61	12.32	6.83
	R	10.61	6.15	6.46	5.10		R	22.41	12.04	20.85	9.27
	B	10.22	5.92	6.39	4.91		B	24.59	14.38	23.56	11.90
7	G	61.56	29.67	32.66	20.71	17	G	15.76	6.92	5.79	4.80
	R	72.77	40.93	64.92	31.43		R	16.07	8.75	8.85	6.72
	B	76.42	43.94	68.93	34.45		B	19.61	11.72	11.42	9.77
8	G	10.43	4.65	4.63	3.39	18	G	33.76	15.16	11.57	10.22
	R	11.07	5.71	7.30	4.45		R	36.64	19.71	18.90	14.75
	B	13.38	8.63	10.20	7.57		B	39.49	21.61	20.76	16.95
9	G	12.18	4.79	4.02	3.32	19	G	23.18	10.62	9.03	7.88
	R	12.37	5.86	5.76	4.36		R	25.64	15.89	14.39	13.33
	B	14.86	8.57	8.33	7.09		B	27.54	16.56	17.55	14.06
10	G	28.78	12.68	10.36	8.58	20	G	7.15	3.05	2.75	2.10
	R	32.57	18.08	18.86	14.12		R	7.56	4.89	5.03	4.19
	B	30.95	15.85	16.29	11.99		B	8.15	5.28	5.50	4.51

표 2 채널별 PSNR 비교

Table 2. PSNR comparison for R, G, and B channels.

영상		Laroche	Hamilton	Pei	Proposed	영상		Laroche	Hamilton	Pei	Proposed
1	G	31.37	34.71	35.68	36.43	11	G	38.82	42.31	42.45	43.74
	R	30.79	33.51	33.30	34.72		R	37.99	40.49	39.62	41.33
	B	30.83	33.64	33.42	34.92		B	37.82	40.23	39.42	41.13
2	G	37.43	40.94	41.28	42.26	12	G	33.24	37.15	37.84	38.64
	R	36.09	37.93	37.36	38.49		R	32.31	34.25	34.00	34.80
	B	36.94	39.71	39.39	40.66		B	32.73	35.25	35.34	36.00
3	G	38.45	42.24	43.20	43.54	13	G	36.52	39.53	40.01	41.14
	R	37.84	39.99	40.24	40.69		R	35.67	38.26	37.25	39.45
	B	37.68	39.96	40.38	40.56		B	35.63	38.25	37.29	39.37
4	G	30.92	35.83	36.81	38.08	14	G	35.39	39.35	40.46	40.89
	R	31.04	34.58	34.91	35.97		R	35.82	39.06	39.70	40.28
	B	30.96	34.36	34.79	35.59		B	34.91	37.35	37.86	38.11
5	G	32.75	35.98	37.02	37.73	15	G	31.30	34.88	36.49	36.40
	R	32.16	34.79	34.45	36.10		R	31.54	34.51	35.83	35.86
	B	31.94	34.65	34.41	35.89		B	30.68	33.03	33.98	33.89
6	G	38.24	42.09	42.10	43.91	16	G	34.93	38.30	37.22	39.79
	R	37.87	40.24	40.03	41.06		R	34.63	37.32	34.94	38.46
	B	38.04	40.41	40.07	41.22		B	34.22	36.55	34.41	37.37
7	G	30.24	33.41	32.99	34.97	17	G	36.16	39.73	40.50	41.32
	R	29.51	32.01	30.01	33.16		R	36.07	38.71	38.66	39.86
	B	29.30	31.70	29.75	32.76		B	35.21	37.44	37.55	38.23
8	G	37.95	41.45	41.48	42.83	18	G	32.85	36.32	37.50	38.04
	R	37.69	40.56	39.50	41.65		R	32.49	35.18	35.37	36.44
	B	36.87	38.77	38.05	39.34		B	32.17	34.78	34.96	35.84
9	G	37.27	41.33	42.09	42.93	19	G	34.48	37.87	38.58	39.17
	R	37.21	40.45	40.53	41.74		R	34.04	36.12	36.55	36.88
	B	36.41	38.80	38.92	39.62		B	33.73	35.94	35.69	36.65
10	G	33.54	37.10	37.98	38.80	20	G	39.59	43.29	43.73	44.90
	R	33.00	35.56	35.38	36.63		R	39.34	41.23	41.12	41.90
	B	33.22	36.13	36.01	37.34		B	39.02	40.91	40.73	41.59

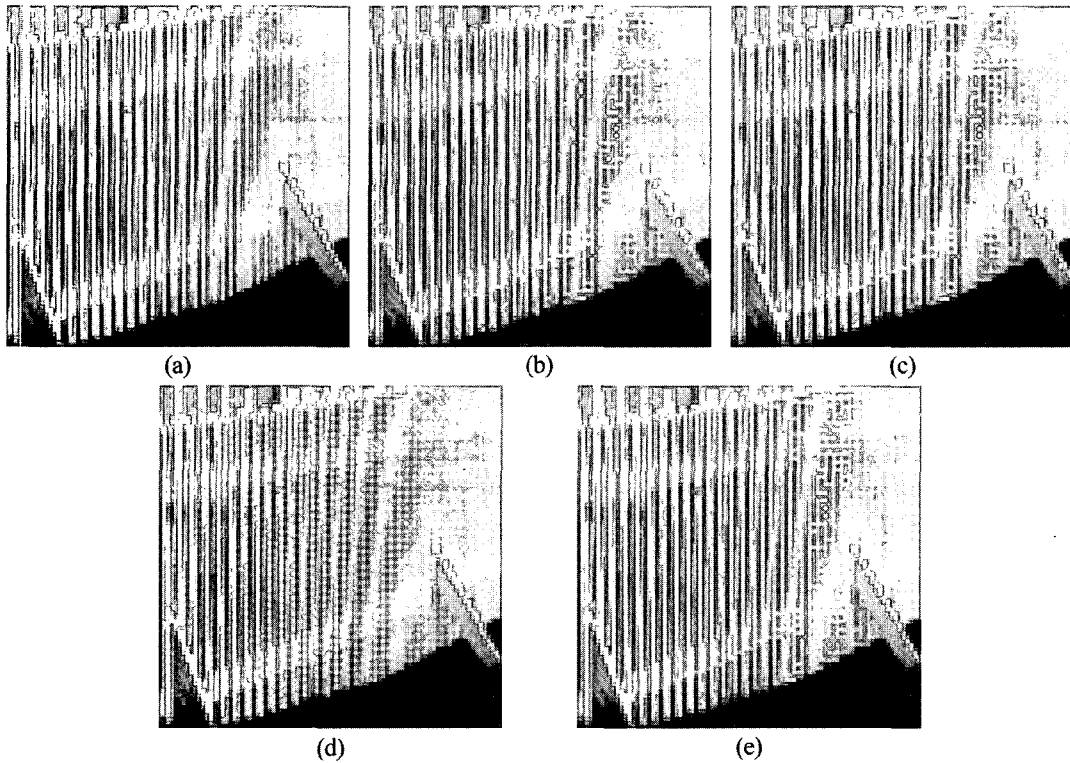


그림 8. 16번 영상의 확대 영상: (a) 원영상, (b) Laroche, (c) Hamilton, (d) Pei, (e) 제안한 방법의 결과
 Fig. 8. Expanded images of image no. 16: (a) Original image, and results using (b) Laroche's, (c) Hamilton's, (d) Pei's (e) the proposed methods.

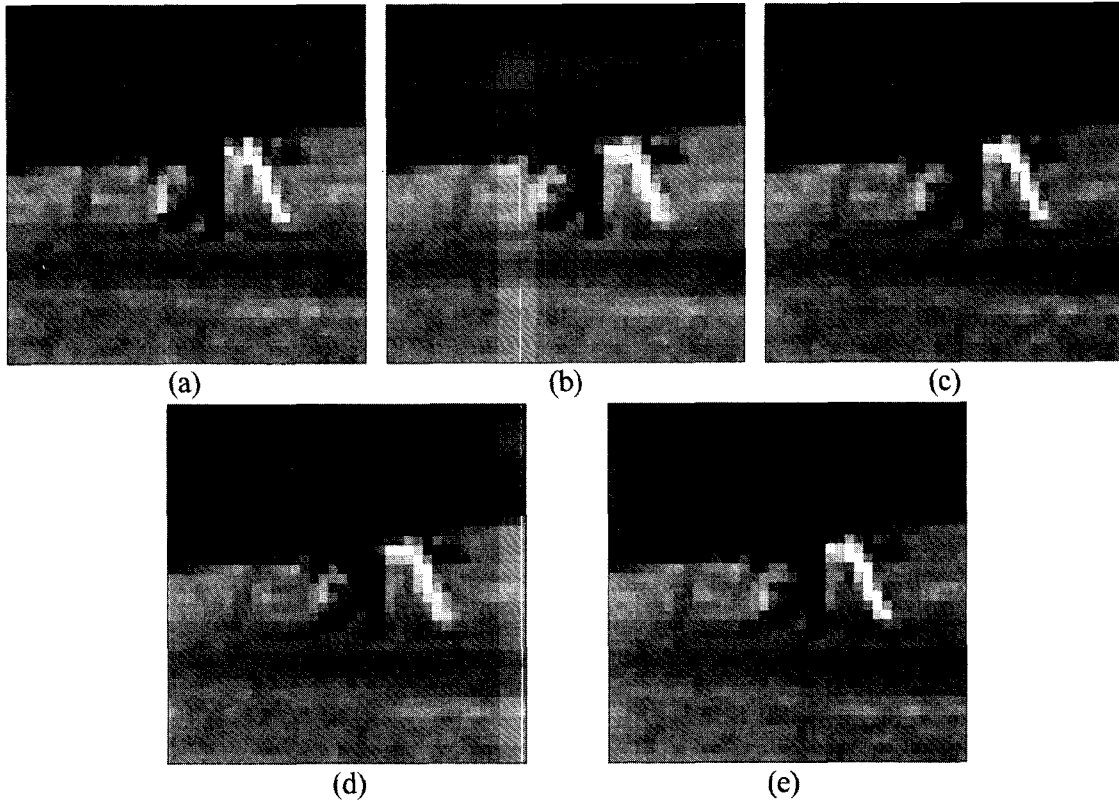


그림 9. 17번 영상의 확대 영상: (a) 원영상, (b) Laroche, (c) Hamilton, (d) Pei, (e) 제안한 방법의 결과
 Fig. 9. Expanded images of image no. 17: (a) Original image, and results using (b) Laroche's, (c) Hamilton's, (d) Pei's (e) the proposed methods.

들에서 알 수 있듯이, 제안한 방법의 결과가 Hamilton의 것과 유사하고, 나머지 방법들의 결과 영상보다 우수한 질을 나타내고 있다. 제안한 방법의 결과가 Hamilton의 것과 유사하게 보이는 것은 제안한 알고리즘의 경사도 판단 방법이 Hamilton의 것과 같기 때문이다. 반면, Laroche의 방법은 에지 판별 오류로 인해 색상 에러를 많이 나타내는 한편 Pei의 방법은 에지 센싱 기반 기법을 사용하지 않기 때문에 지퍼 효과가 많이 발생시킴을 알 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 CFA 영상 센서로부터 획득한 영상의 복원 성능을 높이기 위해 효율적인 색상 보간 방법을 제안하였다. 특히, 휘도신호 채널의 복원 성능을 개선시켜 전체적인 보간 성능을 향상시켰다. 보간할 화소의 주변 영역에서 CFA 데이터와 각 채널간의 평균 관계를 유도하고 그 관계를 이용하여 휘도신호 성분을 보간하였다. 여러 기존의 방법들과 제안한 방법의 성능을 비교하기 위해서 각 방법으로부터 복원된 영상들의 MSE

와 PSNR 측정값을 이용하였다. 실험 결과, 제안한 방법이 기존의 방법들보다 전체적으로 우수함을 보였다. 특히 PSNR 비교 실험에서 제안한 방법의 결과가 Laroche의 방법보다 최대 5.44 dB가 높았고, 평균적으로 3.93 dB 우수하였다. 또한 우리는 시각적 비교 실험에서도 제안한 방법이 우수함을 보였다.

참 고 문 헌

- [1] B. E. Bayer, "Color imaging array," U.S. Patent 3,971,065, 1975.
- [2] B. K. Gunturk, J. Glotzbach, Y. Altunbasak, et al., "Demosaicking: color filter array interpolation," *IEEE Signal Processing Magazine*, Vol. 22, Iss. 1, pp 44-54, Jan 2005.
- [3] 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.
- [4] 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.

- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.

 저 자 소 개



조 양 기(정회원)

1997년 청주대학교 전자공학과
학사 졸업.

1999년 청주대학교 전자공학과
석사 졸업.

2002년 청주대학교 전자공학과
박사 수료.

<주관심분야 : 디지털 신호 처리용 VLSI 설계,
시스템온칩, 영상/음성 처리>



김 희 석(정회원)

1977년 한양대학교 전자공학과
학사 졸업.

1980년 한양대학교 전자공학과
석사 졸업.

1985년 한양대학교 전자공학과
박사 졸업.

1988~1989년 University of Colorado 교환교수.

1997~1998년 UC Irvine 교환 교수.

2001~2002년 대한전자공학회 CAD & VLSI
설계연구회 전문위원장.

현 청주대학교 정보통신공학부 교수.

<주관심분야 : 시스템온칩, DSP 설계, 저전력 설
계, 영상/음성 처리>