

論文2002-39SP-1-1

CCD 이미지 센서를 위한 경계적응적 칼라 보간 (Edge-Adaptive Color Interpolation for CCD Image Sensor)

許 峰 壽 *, 洪 勳 燮 *, 姜 文 基 *

(Bong Soo Hur, Hunsop Hong, and Moon Gi Kang)

요 약

RGB 칼라 필터 배열을 사용한 순차주사 CCD 이미지 센서는 센서의 구조적 한계를 극복하고 칼라 신호의 해상도를 향상시키기 위해 칼라 보간 구조가 필요하다. 기존의 접근 방법을 통해 보간된 결과 영상 대부분에서 경계선은 열화되고 재현된 칼라는 원영상의 칼라와 차이가 났다. 본 논문에서는 순차주사 CCD 이미지 센서를 위한 개선된 경계적응적 칼라 보간 구조를 제안했다. 제안된 경계 표시자(edge indicator) 함수는 채널내 상관관계뿐만 아니라 채널간의 상관관계를 이용하며 주어진 영상의 경계 특성을 칼라 보간 과정에 적응적으로 반영한다. 주어지지 않은 채널 값은 경계를 거스르는 방향이 아니라 경계 방향을 따라서 보간되고, 에일리어징 현상(aliasing artifacts)은 억제가 됐다. 또한 경계적응적 칼라 보간 구조의 단순한 칼라 영상 형성 모델로부터 발생하는 국소적으로 나타는 잘못된 색을 칼라 경계 검출법에 기반한 스위칭 알고리즘에 의해 제거하였다. 개선된 경계적응적 칼라 보간 구조는 기존의 접근 방법에 비해 주관적 화질과 객관적 화질 모두 우수한 결과를 실험적으로 보였다.

Abstract

The color interpolation scheme can play an important role in overcoming the physical limitation of the CCD image sensor and in increasing the resolution of color signals, while most conventional approaches result in blurred edges and false color artifacts. In this paper, we have proposed an improved edge-adaptive color interpolation scheme for a progressive scan CCD image sensor with RGB color filter array. The edge indicator function proposed utilizes not only the within-channel correlation but also the cross-channel correlation, and reflects the edge characteristics of an image adaptively. The color components unavailable for at each channel are interpolated along the edge direction, not across the edges, so that aliasing artifacts are suppressed. Furthermore, we eliminated false color artifacts resulting from the color image formation model in the edge-adaptive color interpolation scheme by adopting the switching algorithm based on the color edge detection. Simulation results of the proposed algorithm indicate that the improved edge-adaptive color interpolation scheme produces quantitatively better and visually more pleasing results than conventional approaches.

I. 서 론

* 正會員, 延世大學校 電氣電子工學科
(Dept. of Electrical and Electronic Eng., Yonsei Univ.)
接受日字:2001年7月11日, 수정완료일:2001年9月3日

최근 들어 정지영상과 동영상을 위한 디지털 카메라에 대한 관심이 높아지고 있다. 이는 디지털카메라가 필름을 사용하는 고전적인 카메라에 비해 여러 가지

장점이 많기 때문이다. 대부분의 디지털카메라는 단일 센서를 사용하여, 센서의 표면칼라를 입혀 사용하고 있다. 이는 디지털 카메라에서 가장 값비싼 소자가 바로 센서이기 때문이다. 요즘 많이 사용되고 있는 CMYG 칼라필터배열과 RGB칼라필터 배열을 그림 1에 나타내었다.

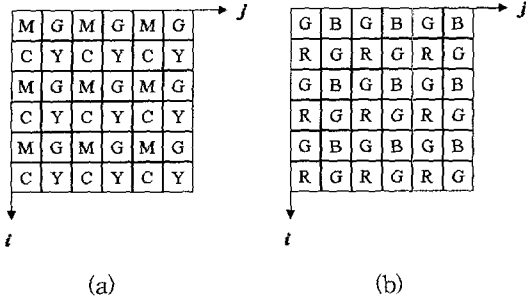


그림 1. 많이 사용되는 칼라필터 배열

(a) CMYG 칼라필터배열 (b) RGB 칼라필터 배열

Fig. 1. Two popular color filter arrays.

(a) CMYG color filter array (b) RGB color filter array

본 논문에서는 RGB 칼라필터배열을 사용한 순차주사 CCD 이미지 센서에 적용되는 개선된 경계적응적 칼라 보간 구조를 제안한다. 제안된 경계 표시자 함수는 채널내 상관관계뿐만 아니라 채널간의 상관관계를 이용하며 칼라 보간 과정에 주어진 영상의 경계 특성을 적응적으로 반영한다. 또한 경계적응적 칼라 보간 구조의 단순한 칼라 영상 형성 모델로부터 야기된, 국소적으로 나타난 왜곡된 칼라는 칼라 경계 검출법에 기반한 스위칭 알고리즘에 의해 제거됐다.

II. 간략화한 칼라 영상 형성 모델

이상적인 램버트 표면(Lambertian surface)은, 어떤 각도에서 보아도 동일한 밝기를 나타내며, 입사광을 모두 반사해 낸다. 몬드리안(Mondrian)은 동일한 반사율을 갖는 일련의 조각들로 구성된다.

간략화한 칼라 영상 형성 모델은 평탄하지 않은 램버트 조각면을 본 결과이다. 이 모델에 따르면, 각 채널은 \vec{l} 방향을 갖는 광원을 수직 방향의 단위 평면 $\hat{N}(x)$ 을 갖고 $\rho(x, y)$ 의 알베도(Albedo)를 갖는 3D면에 입사시킨 것으로 간주할 수 있다^[1]. 알베도는 3D 물체의 재질 특성을 나타내므로, 각 채널마다 다르게 된다. 즉,

세 칼라 채널은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned} I^R(x) &= \rho_R \langle \hat{N}(x), \vec{l} \rangle, \\ I^G(x) &= \rho_G \langle \hat{N}(x), \vec{l} \rangle, \\ I^B(x) &= \rho_B \langle \hat{N}(x), \vec{l} \rangle. \end{aligned} \quad (1)$$

여기서, $I^R(x)$, $I^G(x)$ 과, $I^B(x)$ 는 각 채널에서의 영상의 밝기정도를 나타낸다. $\hat{N}(x)$ 는 $(X_1, X_2, X_3(X_1, X_2))$ 에서 영상의 수직방향의 단위 평면이고, 여기서 $\langle \cdot, \cdot \rangle$ 은 내적을 나타낸다. 그리고, $\vec{l} = (l_1, l_2, l_3)$ 은 조명의 평균 방향의 단위 벡터이다. 이는 ρ_i (여기서 i 는 R, G, B를 나타낸다)에 일반화된 색 농도 영상 $I(x) = \langle \hat{N}(x), \vec{l} \rangle$ 을 곱하여, 색의 변화를 나타낼 수 있다. 영상에서 주어진 물체의 내부에서, 알베도가 동일하다고 가정하면 $\rho_i(x) = c_i$ 로 나타낼 수 있다. 여기서 c_i 는 주어진 상수이다. 그러므로, 주어진 물체 내부에서는 다음의 상수 비가 유지된다.

$$\frac{I^R(x)}{I^G(x)} = \frac{\rho_R(x) I(x)}{\rho_G(x) I(x)} = \frac{\rho_R(x)}{\rho_G(x)} = \frac{c_i}{c_j} = \text{constant} \quad (2)$$

그러므로, 주어진 물체 내부에서 채널의 비는 상수비를 유지한다.

III. 개선된 경계 적응적 칼라 보간 구조

1. 칼라 경계 검출에 의한 스위칭 알고리즘

경계 적응적 칼라영상의 보간 방법^[1]에 의해 보간된 영상은 대부분 경계선이 열화되고 원 영상의 색과는 차이를 보인다. 이런 현상은 수정 과정에 있어 부분적으로 과다하게 간략화한 칼라 영상 형성 모델을 사용하기 때문에 나타난다. 간략화한 칼라 형성 모델에 의하면 주어진 물체 내에서 칼라 비는 일정하다고 가정한다. 따라서, 수정 과정에서 사용하는 마스크의 크기는 주어진 물체의 경계선에 따라 변화해야 한다. 그러나, 경계 적응적 칼라 영상 보간방법은 고정된 윈도우를 사용하고(가중치 적용 보간의 경우 3×3, 경계 표시자의 경우 5×5를 사용한다), 이로 인해서, 경계 영역을 포함한 고정된 3×3 크기의 윈도우에서 임펄스 노이즈와 같이 원영상의 색과 차이가 나는 현상이 나타나게 된다. 이러한 현상을 제거하기 위해서 칼라 영상에서의 경계 검출을 이용한 스위칭 알고리즘을 제안한다. 즉,

칼라 영상에서의 경계 검출로부터 얻어진 경계선을 이용하여 3×3 윈도우의 모든 점들이 경계선에 속한 점인가 아닌가의 여부를 판단한후, 3×3 윈도우 내부에 경계선을 이루는 점들이 없다면 수정 과정이 진행된다. 만약 그렇지 않으면, 수정 과정을 거치지 않는다. 스위칭 알고리즘을 사용하는 동안 칼라 영상에서 경계선을 검출하는 알고리즘^[2]은 다음과 같다.

1단계 : 가우시안(Gaussian) 필터에 영상을 통과시킨다. 가우시안 함수 $G(i, j, \sigma)$ 와 칼라 영상을 컨벌루션 시키는데 있어, 각 점들은 벡터 $\vec{c}(i, j)$ 와 연관된다. 여기서 각 성분들은 $c_k(i, j), k=1, 2, 3$ 으로 표현되며 이 컨벌루션은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$G(i, j, \sigma) * \vec{I} = G(i, j, \sigma) * I_k, \quad \forall k \quad (3)$$

여기서 \vec{I} 와 I_k 는 칼라 영상 자체와 칼라 영상 성분 k 를 나타낸다.

2단계 : 편도함수를 구하기 위해 finite difference approximation을 사용하여, 구배(gradient) 크기와 방향을 계산한다.

3단계 : 구배의 크기에 non-maxima supression을 적용한다.

4단계 : 경계선을 검출하고 연결하기 위해 double thresholding 알고리즘을 사용한다.

2. 새로운 경계 표시 함수를 사용한 개선된 경계 적응적 칼라 보간 구조

경계 적응적 보간 구조^[1]의 중요한 특징중의 하나는 경계 표시자를 가중치로 도입한 점이다. 이러한 경계 표시 함수는 채널 내외의 정보를 모두 사용한다. 경계 적응적 칼라 보간 구조를 사용하여 보간된 영상을 보다 개선시키기 위해서 새로운 경계 표시자 함수를 제안한다.

기본적으로 경계 표시자 함수를 만들기 위해 구배의 절대값을 이용했다. 또한 경계선을 따라서는 큰 가중치를, 경계선을 가로질러서는 작은 가중치를 할당하기 위해 구배의 절대값의 함수인 감소함수를 경계 표시함수로 선택했다. 방향을 가진 도함수의 finite difference approximation을 재 정의하면, 식 (4)와 같다.

$$D_x A_{i,j} = \frac{|A_{i,j+1} - A_{i,j-1}|}{2\Delta y},$$

$$D_y A_{i,j} = \frac{|A_{i-1,j} - A_{i+1,j}|}{2\Delta x}.$$

(3)

$$D_x A_{i,j} = \frac{|A_{i-1,j-1} - A_{i+1,j-1}|}{2\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}},$$

$$D_y A_{i,j} = \frac{|A_{i-1,j-1} - A_{i+1,j+1}|}{2\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}},$$

여기서 $A = R, G, \text{또는 } B$ 이다. 제안하는 경계 표시 함수는 식 (5)와 같다.

$$w(k_1, k_2, D_a A_{b,c}, D_d B_{e,f}) = \frac{1}{e^{k_1 D_a A_{b,c}} + e^{k_2 D_d B_{e,f}} - 1} \quad (5)$$

여기서 k_1 과 k_2 는 상수이며 A 와 B 는 $R, G, \text{또는 } B$ 이다. 제안된 경계 표시함수를 사용한 각 채널의 보간 과정은 다음과 같다.

i) G 채널에서의 보간

B의 위치에서 보간된 G채널의 값은 다음과 같이 표시 할 수 있다.

$$g_{i,j}^B = \{ w(k_1, k_2, D_y G_{i,j}, D_y B_{i,j-1})G_{i,j-1} + w(k_1, k_2, D_y G_{i,j}, D_y B_{i,j+1})G_{i,j+1} + w(k_1, k_2, D_x G_{i,j}, D_x B_{i-1,j})G_{i-1,j} + w(k_1, k_2, D_x G_{i,j}, D_x B_{i+1,j})G_{i+1,j} \} / \{ w(k_1, k_2, D_y G_{i,j}, D_y B_{i,j-1}) + w(k_1, k_2, D_y G_{i,j}, D_y B_{i,j+1}) + w(k_1, k_2, D_x G_{i,j}, D_x B_{i-1,j}) + w(k_1, k_2, D_x G_{i,j}, D_x B_{i+1,j}) \}$$

여기서, $A_{b,c}$ 는 A 채널에서 (b, c) 점의 원 화소의 값이다. 동일한 방법으로 R 화소 위치의 G 채널의 값도 구해낼 수 있다.

ii) B와 R채널의 보간

R 화소의 위치에서 보간된 B 채널의 값은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$b_{i,j}^R = \left[g_{i,j}^R \{ w(k_1, k_2, D_y B_{i,j}, D_y R_{i-1,j-1}) \frac{B_{i-1,j-1}}{g_{i-1,j-1}^B} + w(k_1, k_2, D_x B_{i,j}, D_x R_{i-1,j+1}) \frac{B_{j-1,i+1}}{g_{j-1,i+1}^B} + w(k_1, k_2, D_x B_{i,j}, D_x R_{i+1,j-1}) \frac{B_{i+1,j-1}}{g_{i+1,j-1}^B} + w(k_1, k_2, D_y B_{i,j}, D_y R_{i+1,j+1}) \frac{B_{i+1,j+1}}{g_{i+1,j+1}^B} \} \right] / \{ w(k_1, k_2, D_y B_{i,j}, D_y R_{i-1,j-1}) + w(k_1, k_2, D_x B_{i,j}, D_x R_{i-1,j+1}) + w(k_1, k_2, D_x B_{i,j}, D_x R_{i+1,j-1}) + w(k_1, k_2, D_y B_{i,j}, D_y R_{i+1,j+1}) \}$$

G 화소 위치의 B 채널 값도 동일하게 보간할 수 있

다. R채널의 보간도 B채널과 동일하게 수행된다.

다음의 두단계는 보간된 채널 값의 수정 과정이다. 물론 스위칭 알고리즘은 수정 과정에서 수행된다. 즉, 경계선이 있는 영역에서는 수정과정을 거치고, 경계선이 없는 지역에서는 수정과정을 거치지 않는다.

iii) G채널의 수정

R 화소 위치의 G 화소의 값은 아래의 식 (8)-(10)을 통해 조정된다.

$$S_{i,j}^R = \left[b_{i,j}^R \left\{ w(k_1, k_2, D_y G_{i,j}, D_y g_{i,j-1}^R) \frac{G_{i,j-1}}{b_{i,j-1}^G} \right. \right. \\ + w(k_1, k_2, D_y G_{i,j}, D_y g_{i,j+1}^R) \frac{G_{i,j+1}}{b_{i,j+1}^G} \\ + w(k_1, k_2, D_y g_{i,j}^B, D_y g_{i+1,j+1}^R) \frac{g_{i+1,j+1}^B}{B_{i+1,j+1}} \\ + w(k_1, k_2, D_y g_{i,j}^B, D_y g_{i-1,j-1}^R) \frac{g_{i-1,j-1}^B}{B_{i-1,j-1}} \\ + w(k_1, k_2, D_x G_{i,j}, D_x g_{i-1,j}^R) \frac{G_{i-1,j}}{b_{i-1,j}^G} \\ + w(k_1, k_2, D_x G_{i,j}, D_x g_{i+1,j}^R) \frac{G_{i+1,j}}{b_{i-1,j-1}^G} \\ + w(k_1, k_2, D_x g_{i,j}^B, D_x g_{i-1,j+1}^R) \frac{g_{i-1,j+1}^B}{B_{i-1,j+1}} \\ + w(k_1, k_2, D_x g_{i,j}^B, D_x g_{i+1,j-1}^R) \frac{g_{i+1,j-1}^B}{B_{i+1,j-1}} \left. \right] \\ / \{ w(k_1, k_2, D_y G_{i,j}, D_y g_{i,j-1}^R) \\ + w(k_1, k_2, D_y G_{i,j}, D_y g_{i,j+1}^R) \\ + w(k_1, k_2, D_y g_{i,j}^B, D_y g_{i+1,j+1}^R) \\ + w(k_1, k_2, D_y g_{i,j}^B, D_y g_{i-1,j-1}^R) \\ + w(k_1, k_2, D_x G_{i,j}, D_x g_{i-1,j}^R) \\ + w(k_1, k_2, D_x G_{i,j}, D_x g_{i+1,j}^R) \\ + w(k_1, k_2, D_x g_{i,j}^B, D_x g_{i-1,j+1}^R) \\ + w(k_1, k_2, D_x g_{i,j}^B, D_x g_{i+1,j-1}^R) \} \quad (8)$$

$$T_{i,j}^R = \left[R_{i,j} \left\{ w(k_1, k_2, D_y G_{i,j}, D_y g_{i,j-1}^R) \frac{G_{i,j-1}}{r_{i,j-1}^G} \right. \right. \\ + w(k_1, k_2, D_y G_{i,j}, D_y g_{i,j+1}^R) \frac{G_{i,j+1}}{r_{i,j+1}^G} \\ + w(k_1, k_2, D_y g_{i,j}^B, D_y g_{i+1,j+1}^R) \frac{g_{i+1,j+1}^B}{r_{i+1,j+1}^B} \\ + w(k_1, k_2, D_y g_{i,j}^B, D_y g_{i-1,j-1}^R) \frac{g_{i-1,j-1}^B}{r_{i-1,j-1}^B} \\ + w(k_1, k_2, D_x G_{i,j}, D_x g_{i-1,j}^R) \frac{G_{i-1,j}}{r_{i-1,j}^G} \\ + w(k_1, k_2, D_x G_{i,j}, D_x g_{i+1,j}^R) \frac{G_{i+1,j}}{r_{i+1,j}^G} \\ + w(k_1, k_2, D_x g_{i,j}^B, D_x g_{i-1,j+1}^R) \frac{g_{i-1,j+1}^B}{r_{i-1,j+1}^B} \\ + w(k_1, k_2, D_x g_{i,j}^B, D_x g_{i+1,j-1}^R) \frac{g_{i+1,j-1}^B}{r_{i+1,j-1}^B} \left. \right] \\ / \{ w(k_1, k_2, D_y G_{i,j}, D_y g_{i,j-1}^R) \\ + w(k_1, k_2, D_y G_{i,j}, D_y g_{i,j+1}^R) \\ + w(k_1, k_2, D_y g_{i,j}^B, D_y g_{i+1,j+1}^R) \}$$

$$+ w(k_1, k_2, D_y g_{i,j}^B, D_y g_{i-1,j-1}^R) \\ + w(k_1, k_2, D_x G_{i,j}, D_x g_{i-1,j}^R) \\ + w(k_1, k_2, D_x G_{i,j}, D_x g_{i+1,j}^R) \\ + w(k_1, k_2, D_x g_{i,j}^B, D_x g_{i-1,j+1}^R) \\ + w(k_1, k_2, D_x g_{i,j}^B, D_x g_{i+1,j-1}^R) \} \quad (9)$$

$$\therefore g_{i,j}^R = (S_{i,j}^R + T_{i,j}^R) / 2 \quad (10)$$

B 화소 위치의 G채널의 값도 동일한 방법으로 구해 낼 수 있다.

iv) B와 R채널의 수정

G 화소 위치의 B채널의 값은 다음의 식 (11)-(12)를 통해 구해 낼 수 있다.

$$b_{i,j}^G = \left[G_{i,j} \left\{ w(k_1, k_2, D_y g_{i,j}^R, D_y G_{i,j-1}) \frac{b_{i,j-1}^R}{g_{i,j-1}^R} \right. \right. \\ + w(k_1, k_2, D_y g_{i,j}^R, D_y G_{i,j+1}) \frac{b_{i,j+1}^R}{g_{i,j+1}^R} \\ + w(k_1, k_2, D_y G_{i,j}, D_y G_{i+1,j+1}) \frac{b_{i+1,j+1}^G}{G_{i+1,j+1}} \\ + w(k_1, k_2, D_y G_{i,j}, D_y G_{i-1,j-1}) \frac{b_{i-1,j-1}^G}{G_{i-1,j-1}} \\ + w(k_1, k_2, D_x g_{i,j}^B, D_x G_{i-1,j}) \frac{B_{i-1,j}}{g_{i-1,j}^B} \\ + w(k_1, k_2, D_x g_{i,j}^B, D_x G_{i+1,j}) \frac{B_{i+1,j}}{g_{i+1,j}^B} \\ + w(k_1, k_2, D_x G_{i,j}, D_x G_{i-1,j+1}) \frac{b_{i-1,j+1}^G}{G_{i-1,j+1}} \\ + w(k_1, k_2, D_x G_{i,j}, D_x G_{i+1,j-1}) \frac{b_{i+1,j-1}^G}{G_{i+1,j-1}} \left. \right] \\ / \{ w(k_1, k_2, D_y g_{i,j}^R, D_y G_{i,j-1}) \\ + w(k_1, k_2, D_y g_{i,j}^R, D_y G_{i,j+1}) \\ + w(k_1, k_2, D_y G_{i,j}, D_y G_{i+1,j+1}) \\ + w(k_1, k_2, D_y G_{i,j}, D_y G_{i-1,j-1}) \\ + w(k_1, k_2, D_x g_{i,j}^B, D_x G_{i-1,j}) \\ + w(k_1, k_2, D_x g_{i,j}^B, D_x G_{i+1,j}) \\ + w(k_1, k_2, D_x G_{i,j}, D_x G_{i-1,j+1}) \\ + w(k_1, k_2, D_x G_{i,j}, D_x G_{i+1,j-1}) \} \quad (11)$$

여기서 i와 j는 모두 홀수 이다.

$$b_{i,j}^G = \left[G_{i,j} \left\{ w(k_1, k_2, D_y g_{i,j}^B, D_y G_{i,j-1}) \frac{B_{i,j-1}}{g_{i,j-1}^B} \right. \right. \\ + w(k_1, k_2, D_y g_{i,j}^B, D_y G_{i,j+1}) \frac{B_{i,j+1}}{g_{i,j+1}^B} \\ + w(k_1, k_2, D_y G_{i,j}, D_y G_{i+1,j+1}) \frac{b_{i+1,j+1}^G}{G_{i+1,j+1}} \\ + w(k_1, k_2, D_y G_{i,j}, D_y G_{i-1,j-1}) \frac{b_{i-1,j-1}^G}{G_{i-1,j-1}} \\ + w(k_1, k_2, D_x g_{i,j}^R, D_x G_{i-1,j}) \frac{b_{i-1,j}^R}{g_{i-1,j}^R} \\ + w(k_1, k_2, D_x g_{i,j}^R, D_x G_{i+1,j}) \frac{B_{i+1,j}}{g_{i+1,j}^R} \\ + w(k_1, k_2, D_x G_{i,j}, D_x G_{i-1,j+1}) \frac{b_{i-1,j+1}^G}{G_{i-1,j+1}} \\ + w(k_1, k_2, D_x G_{i,j}, D_x G_{i+1,j-1}) \frac{b_{i+1,j-1}^G}{G_{i+1,j-1}} \left. \right] \\ / \{ w(k_1, k_2, D_y g_{i,j}^B, D_y G_{i,j-1}) \\ + w(k_1, k_2, D_y g_{i,j}^B, D_y G_{i,j+1}) \\ + w(k_1, k_2, D_y G_{i,j}, D_y G_{i+1,j+1}) \\ + w(k_1, k_2, D_y G_{i,j}, D_y G_{i-1,j-1}) \\ + w(k_1, k_2, D_x g_{i,j}^R, D_x G_{i-1,j}) \\ + w(k_1, k_2, D_x g_{i,j}^R, D_x G_{i+1,j}) \\ + w(k_1, k_2, D_x G_{i,j}, D_x G_{i-1,j+1}) \\ + w(k_1, k_2, D_x G_{i,j}, D_x G_{i+1,j-1}) \}$$

$$\begin{aligned}
 & / \{ w(k_1, k_2, D_y g_{i,j}^B, D_y G_{i,j-1}) \\
 & + w(k_1, k_2, D_y g_{i,j}^B, D_y G_{i,j+1}) \\
 & + w(k_1, k_2, D_y G_{i,j}, D_y G_{i+1,j+1}) \\
 & + w(k_1, k_2, D_y G_{i,j}, D_y G_{i-1,j-1}) \\
 & + w(k_1, k_2, D_x g_{i,j}^R, D_x G_{i-1,j}) \\
 & + w(k_1, k_2, D_x g_{i,j}^R, D_x G_{i+1,j}) \\
 & + w(k_1, k_2, D_x G_{i,j}, D_x G_{i-1,j+1}) \\
 & + w(k_1, k_2, D_x G_{i,j}, D_x G_{i+1,j-1}) \}
 \end{aligned} \tag{12}$$

여기서 i 와 j 는 모두 짝수이다. 이러한 방법을 적용하여 R화소의 위치에 존재하는 B채널의 값을 구해낼 수 있으며 동일한 방법을 R채널에 적용 가능하다.

IV. 실험 결과 및 성능 고찰

제안된 알고리즘의 성능은 RGB 칼라 필터 배열을 사용한 CCD 영상 소자로부터 획득된 영상을 사용하여 평가하였다. 384×256 의 칼라 윈도우 영상을 이용해서 보간법을 적용하였다. 그림 2는 기존의 알고리즘을 통해 보간된 영상과 제안된 알고리즘을 통해 보간된 영상 그리고 원영상을 비교하였으며 그림 3은 그림 2를 부분적으로 확대시킨 영상으로 보간법이 적용된 영상과 비교하였다. 제안된 알고리즘의 성능을 정량적으로 평가하기 위해 ISNR과 두 칼라 영상의 주관적 오차를 객관적으로 측정해주는 NCD(Normalized Color Difference)^[3]를 사용했다. ISNR은 다음과 같이 dB단위로 정의된다.

$$ISNR = 10 \log_{10} \frac{\|y - x\|^2}{\|\hat{x} - x\|^2}$$

여기에서 y 는 bilinear 보간법을 적용한 영상이고 x 는 원영상이며, \hat{x} 는 제안된 알고리즘을 통해 보간된 영상이다. $L^*a^*b^*$ 칼라 공간에서 NCD를 계산하였는데, 이는 다음과 같은 식을 사용하여 계산한다.

$$NCD = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \|\Delta E_{Lab}\|}{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \|E_{Lab}^*\|}$$

여기에서 ΔE_{Lab} 은 두 칼라 벡터간의 지각에 의한 오차이며, 벡터간의 유클리디안 거리로 계산되며 다음과 같이 주어진다.

$$\Delta E_{Lab} = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$$

여기에서 ΔL^* , Δa^* , 그리고 Δb^* 는 L^* , a^* , 그리고 b^*

성분간의 차이이다. 벡터는 다음과 같이 주어진다.

$$E_{Lab}^* = [(L^*)^2 + (a^*)^2 + (b^*)^2]^{1/2}$$

각 방법으로 보간된 결과영상의 NCD와 ISNR은 표 1과 같다. 표 1을 통해 제안된 알고리즘이 보다 나은 결과를 보여줌을 알 수 있다.

표 1. 기존 방법들과 제안된 방법간의 비교
Table 1. Comparison of the conventional approaches and the proposed approach.

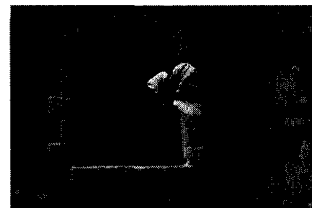
알고리즘	NCD*10 ⁻²	ISNR(dB)
bilinear	7.4761	0.0
discriminated color correlations	6.0694	2.2889
sort/average	9.3636	-1.8373
edge adaptive	5.4393	3.1383
proposed	5.1161	3.5787



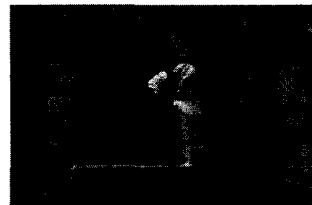
(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



(c)



(d)



(e)



(f)

그림 2. 보간된 영상들

- (a) 원영상 (b) bilinear보간법 (c) 칼라상관관계분리법
- (d) 정렬평균법 (e) 경제적응적보간법 (f) 제안된 보간법

Fig. 2. Interpolated images.

- (a) original image (b) bilinear interpolation scheme (c) color interpolation scheme using discriminated color correlations (d) sort/average method (e) edge adaptive color interpolation method (f) the proposed color interpolation scheme



(a)



(b)

그림 3. 그림 2의 부분확대영상(확대비=300%)

- (a) 원영상 (b) bilinear보간법 (c) 칼라상관관계분리법 (d) 정렬평균법 (e) 경제적응적보간법 (f) 제안된 보간법

Fig. 2. Partially magnified images of figure 2. (magnification ratio=300%)

- (a) original image (b) bilinear interpolation scheme (c) color interpolation scheme using discriminated color correlations (d) sort/average method (e) edge adaptive color interpolation method (f) the proposed color interpolation scheme

그림 2는 기존의 방법으로 보간된 영상과 제안된 알고리즘에 의한 결과영상이며 그림 3은 그림 2를 부분적으로 확대한 영상을 보여준다. 그림2의 (b)는 bilinear에 의해 보간된 영상을 보여주며, (c)는 칼라상관관계분리법^[4]에 의해 보간된 영상을 보여준다. (d)는 정렬평균법^[5]으로 이웃하는 네 개화소의 두 중간값을 택해 평균을 내는 방법이다. 강화단계를 생략한 경계적응적 칼라 보간법^[1]의 결과 영상은 각각 그림 (e)에서 볼 수 있다. 제안된 방법에 의해 보간된 이미지는 (f)에서 볼 수 있다.

기존의 방법들로 보간된 영상은 선명도가 떨어져지고 경계선등 분명한 부분에 있어 잘못된 색상(false color)이 나타나는 문제점을 보였다. 즉, 칼라 보간법의 성능은 얼마나 경계선을 얼마나 보존하느냐와 각각의 채널이 얼마나 서로 잘 보완 해주느냐의 문제로 판가를 난다고 할 수 있다. 제안된 칼라 보간법은 기존의 방법보다 경계선이 잘 보존되었으며, 경계선 근방에서 잘못된 색이 나타나는 문제점이 나타나지 않았다. 그림 3에서는 보간된 영상을 보다 잘 관찰하기 위해 기존의 방법으로 보간된 영상과 제안된 방법으로 보간된 영상, 그리고 원영상을 부분적으로 확대하여 비교하였다. 그림 3에서 둥글게 표시한 부분은 급격한 변화와 좁은 폭을 갖는 경계선 영역을 나타내고 있다. 이러한 영역에서는 보간법의 성능에 따라 잘못된 색이 나타나게 된다. 그림 3(f)에서 관찰할 수 있듯이, 제안된 칼라 보간법은 기존의 방법보다 이러한 영역에서 잘못된 색이 나타나는 현상이 현저하게 줄었다.

제안된 칼라 보간법은 기존의 접근법에 비해 $k_1=0.04$, $k_2=0.09$ 일 때 주관적, 객관적으로 월등히 나은 결과를 보여줌을 알 수 있었다. 이는 채널 내의 상관관계뿐만 아니라 채널 간의 상관관계까지 고려한 경계 표시 함수의 사용을 통해 경계선을 보존할 수 있었고, 스위칭 알고리즘을 통해 경계선 주변에 주로 나타나는 잘못된 칼라 오차를 억제했기 때문이다.

V. 결 론

본 논문에서는 순차주사 CCD 이미지 센서를 위한

개선된 경계적응적 칼라 보간 구조를 제안했다. 분모에 지수함수를 사용한 새로운 경계 표시 함수를 제안했다. 제안된 경계 표시자함수는 채널내 상관관계뿐만 아니라 채널간의 상관관계를 이용하며 주어진 영상의 경계 특성을 칼라 보간 과정에 적응적으로 반영한다. 주어진 지 않은 채널 값은 경계를 거스르는 방향이 아니라 경계 방향을 따라서 보간되어진 반면, 에일리어징 현상은 억제됐다. 또한, 국소적으로 나타난 왜곡된 칼라는 칼라 경계 검출법에 기반한 스위칭 알고리즘에 의해 제거됐다. 개선된 경계적응적 칼라 보간 구조는 기존의 접근 방법에 비해 주관적 화질과 객관적 화질 모두 우수한 결과를 실험적으로 보였다.

참 고 문 헌

- [1] R. Kimmel, "Demosaijing : Image reconstruction from color CCD samples," *IEEE Trans. Image Processing*, Vol. 8, No. 9, pp. 1221-1228, Sep. 1999.
- [2] J. Scharcanski and A.N. Venetsanopoulos "Edge detection of color images using directional operators," *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, Vol. 7, No. 2, pp. 397-401, Apr. 1997.
- [3] L. Khriji, F. A. Cheikh and M. Gabbouj, "High-resolution digital resampling using vector rational filters," *Opt. Eng.*, Vol. 38, No. 5, pp.893- 901, May 1999.
- [4] T. Kuno, H. Sugiura and N. Matoba, "New interpolation method using discriminated color correction for digital still cameras", *IEEE Trans. Consumer Electronics*, Vol. 45, No. 1, pp. 259-267, Feb 1999.
- [5] H. Sugiura et al., "Luminance signal processing for single chip CCD color video cameras" *ITEJ*, Vol. 48, No. 2, pp. 210-216, 1994

저 자 소 개



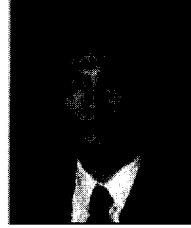
許 峰 壽(正會員)

1974년 3월 15일생. 1999년 2월 연세대학교 전자공학과 졸업(공학석사). 2001년 2월 연세대학교 전자공학과 대학원 졸업(공학석사). 2001년 3월~현재 삼성 전자 근무중. 주관심 분야는 영상 신호 처리



洪 勳 燮(正會員)

1973년 6월 5일생. 2000년 2월 연세대학교 전자공학과 졸업(공학석사). 2000년 3월~현재 연세대학교 전기전자공학과 석사 과정 재학중. 주관심 분야는 컬러 영상 처리 및 컬러 영상의 잡음 제거



姜 文 基(正會員)

1963년 9월 6일생. 1986년 2월 서울대학교 전자공학과 졸업(공학석사). 1988년 2월 서울대학교 전자공학과 대학원 졸업(공학석사). 1994년 2월 Northwestern University 졸업(공학박사). 1994년 10월 Northwestern University Research Fellow, 1997년 2월 University of Minnesota, Duluth 조교수, 1997년 3월~현재 연세대학교 전기전자공학과 부교수. 주관심 분야는 초고해상도 영상 복원 및 디지털 비디오 신호처리