

색수차 개선을 위한 효율적인 컬러 에지 퍼지 보간 방법

변 오 성*

An efficient Color Edge Fuzzy Interpolation Method for improving a Chromatic Aberration

Oh-Sung Byun*

요 약

모바일폰이나 디지털 카메라에서 사용하는 영상 센서의 수광 소자는 한 가지 색만을 기록하는 베이어 패턴이기 때문에 각각의 화소들은 여러 개의 컬러 중에서 단 하나만의 컬러에 대한 화소값을 얻게 된다. 잃어버린 화소의 정보는 CFA(Color Filter Array)를 이용하여 그 주위의 화소에 대한 정보를 이용함으로써 완전한 컬러 영상을 추론한다. 본 논문은 영상 센서의 수광 소자로부터 획득한 데이터의 평균과 각 컬러 채널 데이터 평균 사이의 관계를 유도하고, 이 관계를 이용하여 색상 보간을 위한 효율적인 에지 컬러 퍼지 보간 방법을 제안하였다. 또한 휘도 신호 채널의 보간은 컬러 노이즈를 감소하고 효율적인 보간을 위해 에지 방향에 따라 퍼지 보간을 하였다. 그리고 본 논문에서 PSNR을 이용하여 제안된 방법이 기존 방법보다 평균 2.4dB 정도 개선됨을 증명하였으며, 시각적으로 원영상의 해상도와 유사한 수준이며, 기존 알고리즘의 영상보다 색수차가 감소된 것을 실험 결과를 통하여 확인하였다.

Abstract

Each pixels become got pixel value for color of only one from among colors because of bayer pattern that light receiving device of image sensor which is used in HHP and digital camera writes only one color. Information of the missing pixels could infer perfect color image from using information of neighbor pixels by using CFA(Color Filter Array). In this paper, we derive relation between the average of the data from the light receiving device of image sensor and each color channel data. And by using this relation, a new efficient edge color fuzzy method for color interpolation is proposed. Also, missing luminance signal channel interpolation was fuzzy interpolation along any edges direction for reducing color noise and interpolating efficiently it. And in this paper, the proposed method has been proved improving average 2.4dB than the conventional method by using PSNR. Also, resolution of the image of the proposed method was similar to the original image by visual images, we has been verified to be decreased a chromatic aberration than image of conventional algorithms with simulation result.

• 제1저자 : 변오성
• 투고일 : 2010. 09. 13, 심사일 : 2010. 09. 15, 게재확정일 : 2010. 09. 24.
* 현대모비스 기술연구소 책임연구원

▶ Keyword : 컬러 에지(Color Edge), 휘도 채널(Luminance Channel), 퍼지 보간(Fuzzy Interpolation), CFA(Color Filter Array), 베이어 패턴(Bayer Pattern), 색수차(Chromatic Aberration)

1. 서론

최근 디지털 카메라와 핸드폰에 장착된 카메라가 발전함에 따라 이미지 장치가 대중화되면서, CCD(Charge-coupled devices)와 CMOS(Com-Plement -ary Metal Oxide Semiconductor)인 이미지 센서가 발전하였다. 여기서 이미지 센서는 필름의 빛을 변환하는 역할을 하는 감광유체와 동일한 역할을 하는 촬상 소자를 말한다. 좀 더 정확하게 설명하면 이미지센서는 피사체에서 반사된 빛이 광학 소자를 통하여 입사된 빛에 반응하여 전기적인 영상 신호를 형성한다. 따라서 어떤 이미지를 디지털화하는 첫 단계라 할 수 있다.

이미지 센서인 촬상 소자는 컬러 필터 어레이(Color Filter Array, CFA)가 존재하여 여러 개의 수광 소자가 나열되어 있다. 이 앞에 R, G, B 중 하나의 색 필터가 배열되어 하나의 수광 소자는 하나의 색을 기록할 수 있다. 색필터 배열은 주로 G-R-G-B를 사용하므로 4개의 수광 소자가 하나의 셋트를 이루어 배열된 구조를 지니고 있다. 특히 이 방식은 한 번 노출로 컬러 이미지를 기록할 수 있는 이점이 있어 거의 대부분의 디지털 카메라가 채택하고 있는 방식이다. 그런데 수광 소자는 한 가지 색만을 기록하기 때문에 각각의 화소들은 여러 개의 컬러 중에서 단 하나만의 컬러에 대한 화소값을 얻게 되고, CFA를 이용하여 각각의 화소에 대한 잃어버린 화소의 정보를 그 주위의 화소에 대한 정보를 이용함으로써 얻을 수 있다. CFA로는 Bayer 패턴이 가장 일반적인 방법이다[1]. 여기서 CFA 기반의 detector로부터 컬러 영상을 복구하는 것을 컬러 보간(interpolation) 또는 컬러 demosaicing 알고리즘이라고 한다. 디지털 카메라의 성능 판단 기준은 얼마나 원본에 가까운 색상을 재현해 내는가에 있고, 이는 컬러 보간이 색상을 재현하는데 아주 중요한 역할을 한다고 할 수 있다[2-5].

색상 보간은 디지털 카메라에서 초기의 영상의 질을 결정하는 단계로 영상 처리가 아주 중요한 역할을 한다[6]. 색상 복원을 위한 보간 알고리즘은 크게 비적응 알고리즘(Non-Adaptive Algorithms)과 적응 알고리즘(Adaptive Algorithms)으로 나눌 수 있다[7,8].

비적응 알고리즘은 모든 화소에 대해서 고정된 패턴으로 보간하는 알고리즘으로 수행이 쉽고, 계산 양이 적은 장점이 있다. 여기에 가장 인접한 이웃 화소 보간법(Nearest neighbor

replication)[9,10], 양선형 보간법(Bilinear interpolation)[9], 중간 보간법(Median interpolation)[11], Cok가 제안한 점진적 색상 변화 보간법의 방법(Smooth Hue Transition Interpolation)[12]이 있다.

적응 알고리즘은 잃어버린 화소의 값을 찾기 위해 가장 효과적인 이웃 화소들의 특성을 이용하여 추정하는 알고리즘으로 계산량은 많지만 비적응 알고리즘에 비해 더 나은 영상을 얻을 수 있다. 여기에는 패턴 일치 보간 알고리즘(Pattern matching based interpolation algorithm)[13,14], 블록 매칭 기반 알고리즘(Block Matching Based Algorithm)[15], 경계값 보존 보간법(Edge sensing interpolation)[16,17], Hamilton의 라플라시안 2차 보정 단계를 가진 선형 보간법(Linear interpolation with Laplacian second-order Correction terms)[18], 퍼지 컬러 보간법[7] 등의 방법이 있다.

비적응 알고리즘 중에서 가장 간단한 색상 보간법인 가장 인접한 이웃 화소 보간법[9,10]은 출력 화소로 생성된 주소에 가장 가까운 원시 화소를 출력 화소로 할당하는 원리로, 처리속도가 매우 빠르지만, 가장 인접한 이웃 화소를 추출한다는 자체가 영상을 바꾸게 하는 커다란 요소가 된다는 단점을 가지고 있다. 또한 새로운 화소값을 계산할 수 없어서 그만큼 입력 화소 안에서 찾아야 하기 때문에 오류가 존재할 수 있으며, 또한 하나의 입력 화소에 대응하는 출력 화소들의 수가 크면 클수록 출력이 나빠지게 된다. 양선형 보간법[9]은 보간 하고자하는 화소 주변의 동일 색상의 화소값을 평균하여 얻는다. 이 방법은 간단하고 계산과정이 단순하며 가장 인접한 이웃 화소의 보간법보다는 좀더 나은 영상을 얻을 수 있지만 인접한 이웃 화소의 평균을 사용하므로 에지와 경계 영역에서 컬러 노이즈(Color Artifact)와 몽롱화(blurring) 현상이 생기는 단점이 있다. 비적응 알고리즘의 단점들을 개선하기 위해 적응 알고리즘의 연구가 활발히 진행되었다.

적응 알고리즘 중에서 Wu의 패턴 일치 보간법[13]은 패턴과 이웃 화소의 차이를 계산한 후 가장 차이가 적은 값으로 보간하는 방법으로 간단하고 효과적이다. 그러나 보간된 영상은 약간의 컬러 노이즈를 포함하고 있다. 그리고 Hibbard[16]의 경계값 보존 보간법은 보간하고자 하는 화소를 중심으로 에지가 형성되어 있는 방향으로 보간을 한다. 에지 방향을 따르는 인접 화소들의 색상 정보들만을 이용해서 잃어버린 색상의 값을 보간 한다. 또한 Laroche[17]는 각 방향에 대해서 주어진 문턱치 값과 비교한 후 차이가 작은 방향으로 보간하는

방법을 제안하였다. 여기서 Hibbard, Laroche, Hamilton [18] 등은 라플라시안을 이용한 선형 보간법을 제안하였다.

Hibbard와 Laroche는 휘도 신호 채널을 보간하기 위해 수평과 수직 방향에 놓인 색상 신호 정보들에 대해 라플라시안을 적용하여 경사도(gradient)를 계산하며, 계산된 두 방향의 경사도를 비교하여 에지를 선택하고, 에지 방향을 따르는 휘도 신호 값들을 양선형 보간하였다. Hamilton은 인접한 두 개의 휘도신호 차의 절대값을 Laroche의 경사도 계산식에 더하여 경사도를 계산하고, 선택한 에지 방향에서 3개의 인접 색상신호들의 스케일된 라플라시안 값에 인접한 2개의 휘도신호들의 평균값을 더하여 보간하였다. Hibbard와 Laroche는 색상 신호 채널의 보간 방법을 고정 색상차 기반 방법 사용하였으며, Hamilton 색상 신호 채널 보간에도 라플라시안을 이용한 경사도 계산식을 이용하여 노이즈에 강인하도록 하였다. 그러나 이것은 여전히 보간 특성이 나쁘고, 에지 판단 오류가 많다는 단점이 있다.

Tsai[7]의 퍼지를 이용한 방식은 각 화소에 잃어버린 컬러를 구하기 위해 smooth hue 변화의 개념을 가진 가중 요소로써 주변의 4개 이웃 화소에 퍼지 멤버십 할당을 이용한 것이다. 이는 보간 방법을 3단계로 제안을 하였으며, hue값의 변화를 이용하여 방향성을 얻어 퍼지 멤버십 수를 가중 요소로 사용하였다. 최근 여러 방식을 Hybrid하여 보간 방법을 개선하는 방식이 제안되고 있다. 대표적으로 Cho[19]는 휘도 신호 채널을 보간 방식으로 에지 센싱 기법을 이용하고, 고정 색상차 가정에 근거하여 에지 방향에서의 CFA 신호와 각 채널 사이의 평균 관계를 적용하였다. 그러나 이 두 방식은 휘도 신호 채널의 보간은 우수하나 약간이 컬러 노이즈가 발생하는 단점을 가지고 있다.

본 논문에서는 해상도 개선 및 색수차를 줄이고, CFA를 갖는 단일 영상 센서를 통하여 서브 샘플링된 영상을 보간하기 위해서 휘도 신호 채널 복원 성능을 개선한 새로운 에지 색상 퍼지 보간 방법을 제안한다. 제안된 방식에서 에지 센싱 기법을 휘도 신호 채널 보간 방식으로 이용하며, 고정 색상차 가정에 근거하여 에지 방향에서의 CFA 신호와 각 채널 사이의 평균 관계에 퍼지 멤버십 할당을 적용하였다. 색상 신호 채널 보간은 적응 알고리즘 방법에서 사용한 고정 색상차 기반 기법을 이용하였다.

본 논문의 구성으로 2장에서는 기존 알고리즘에 대해서 살펴보고, 3장에서는 해상도와 색수차면에서 우수한 알고리즘을 제안하며, 4장에서는 실험 방법 및 실험 결과에 대해서 설명한다. 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

II. 기존 연구

2.1 효율적인 색상 보간 방법

Cho[19]가 제안한 휘도 신호 채널의 보간 방법은 에지 센싱 기법을 이용하며, 고정 색상차 가정에 근거하여 에지 방향의 CFA 신호와 각 채널 사이의 평균관계를 적용한 방법으로 휘도 신호 채널의 보간에 초점을 둔 방법이다. 이 방법 역시 기존 방법과 동일하게 휘도 신호 채널을 보간 한 후, 색상 신호 채널을 보간 한다. 먼저, 휘도 신호 채널 보간을 위해 Hamilton 방식[18]에서 사용한 복합 분류자를 이용하였으며, 그림 1을 이용하여 에지 판별을 위한 수평과 수직 방향의 경사도를 구하면 식 (2.1)과 같다.

$$Grad_H = |2R_{i,j} - (R_{i-2,j} + R_{i+2,j})| + |G_{i+1,j} - G_{i-1,j}| \dots\dots\dots (2.1)$$

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

이 식은 주변의 휘도 신호 뿐만 아니라 색상 신호 정보도 이용하여 계산한다. 이는 에지가 형성되어 있는 방향을 결정하며, $Grad_H$ 가 $Grad_V$ 보다 작을 경우에 에지 방향은 수평으로 놓여 있는 것으로 본다.

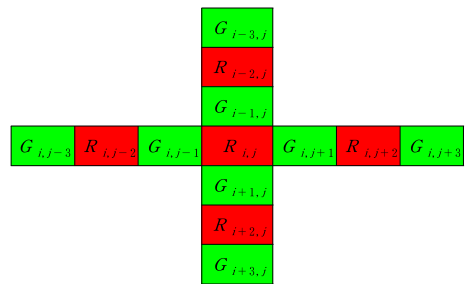


그림 1. $R_{i,j}$ 화소의 주변 패턴
Fig. 1. Neighborhood pattern of $R_{i,j}$ pixe

CFA 데이터와 각 채널의 평균 관계를 얻기 위해 고정 색상차 가정에 근거하여 CFA 데이터의 평균값과 휘도신호 또는 색상 신호 평균값 사이의 관계식을 유도한다. 이 관계식을 이용하여 휘도 신호를 보간 하며, 고정 색상차 기법의 가정에 따라 R과 G 채널, B와 G 채널과의 관계는 식 (2.2)와 같다.

$$R_x - G_x \cong R_{x+1} - G_{x+1} \dots\dots\dots (2.2)$$

$$B_x - G_x \cong B_{x+1} - G_{x+1}$$

그림 2는 CFA 데이터와 채널 간의 평균 관계를 설명하기 위한 일차원 CFA 패턴이고, 이는 예지 방향을 따르는 보간 방향이라고 가정한다. S_x 는 색상 신호로 R_x 또는 B_x 를 의미한다고 하면 색상 신호 S_i 와 휘도신호 G_i 의 관계는 식 (2.3)과 같다.

$$S_i - G_i = \alpha \dots\dots\dots (2.3)$$

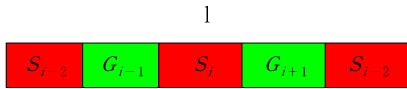


그림 2 색상 신호 채널 S_i 화소의 일차원 주변 패턴
 Fig. 2. One dimensional neighborhood pattern of a chrominance pixel signal channel S_i

$$M_i^S = \frac{(\sum_{k=-2}^2 S_{i+k})}{5}$$

$$= \frac{(S_{i-2} + S_i + S_{i+2}) + (S_{i-1} + S_{i+1})}{5} \dots\dots\dots (2.4)$$

$$= \frac{(S_{i-2} + S_i + S_{i+2}) + (G_{i-1} + G_{i+1} + 2\alpha)}{5}$$

$$= M_i^S + \frac{2}{5} \alpha$$

식 (2.2)과 식 (2.3)을 고려하면 CFA 데이터의 평균과 S 채널 정보들의 평균 관계는 식 (2.4)와 같다.

식 (2.4)에서 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^G 는 $\{S_{i-2}, G_{i-1}, S_i, G_{i+1}, S_{i+2}\}$ 의 평균이다. 식 (2.4)에서 알 수 있듯이, 그림 2에서 CFA 데이터의 평균과 S 색상 평균과의 차이는 $(2/5)\alpha$ 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 (2.5)와 같다.

휘도 신호 성분 보간을 위해 식 (2.4)와 식 (2.5)를 이용하여 α 값을 구하고, 식 (2.3)을 이용하여 G_i 값을 보간한다.

$$M_i^G = \frac{(\sum_{k=-2}^2 G_{i+k})}{5}$$

$$= \frac{(G_{i-2} + G_i + G_{i+2}) + (G_{i-1} + G_{i+1})}{5} \dots\dots\dots (2.5)$$

$$= \frac{(S_{i-2} + S_i + S_{i+2} - 3\alpha) + (G_{i-1} + G_{i+1})}{5}$$

$$= M_i^G - \frac{3}{5} \alpha$$

여기서 G_{i-2}, G_i, G_{i+2} 와 S_{i-1}, S_{i+1} 의 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.

여기서 M_i^S 와 M_i^G 값의 근사치는 식 (2.6)과 같다.

$$M_i^S = \frac{R_{i-2} + R_i + R_{i+2}}{5} + \frac{(R_{i-2} + R_i)/2}{5} + \frac{(R_i + R_{i+2})/2}{5} \dots\dots\dots (2.6)$$

$$M_i^G = \frac{G_{i-1} + G_{i+1}}{5} + \frac{(G_{i-1} + G_{i+1})/2}{5} + \frac{(G_{i-1} + G_{i-3})/2}{5} + \frac{(G_{i+1} + G_{i+3})/2}{5}$$

식 (2.4)과 식 (2.5)로부터 구한 α 를 각각 α_1 과 α_2 라고 하면 식 (2.7)과 같은 결과를 얻는다.

$$\alpha_1 = \frac{5}{2} (M_i^S - M_i^G), \quad \alpha_2 = \frac{5}{3} (M_i^G - M_i^S) \dots\dots\dots (2.7)$$

식 (2.7)에서 구한 α_1 과 α_2 의 이상적인 값은 서로 유사하나 평균 M_i^S 와 M_i^G 가 근사에 의한 에러를 포함하기 때문에 두 값의 평균을 취하여 사용한다. 식 (2.3)을 고려할 때, 휘도 신호 성분의 보간 값은 식 (2.8)를 이용하여 구할 수 있다.

$$G_i = S_i - \alpha \dots\dots\dots (2.8)$$

$$= S_i - (\alpha_1 + \alpha_2)/2$$

경사도에 따라 다음과 같이 각 채널의 평균값을 구한다.

I) $G_V \leq G_H$ 인 경우,

$$M_{i,j}^C = \frac{(R_{i-2,j} + G_{i-1,j} + R_{i,j} + G_{i+1,j} + R_{i+2,j})}{5}$$

$$M_{i,j}^G = \frac{(G_{i-3,j} + 4G_{i-1,j} + 4G_{i+1,j} + G_{i+3,j})/2}{5} \dots\dots\dots (2.9)$$

$$M_{i,j}^R = \frac{(3R_{i-2,j} + 4R_{i,j} + 3R_{i+2,j})/2}{5}$$

II) $G_V > G_H$ 인 경우,

$$M_{i,j}^C = \frac{(R_{i,j-2} + G_{i,j-1} + R_{i,j} + G_{i,j+1} + R_{i,j+2})}{5}$$

$$M_{i,j}^G = \frac{(G_{i,j-3} + 4G_{i,j-1} + 4G_{i,j+1} + G_{i,j+3})/2}{5} \dots\dots\dots (2.10)$$

$$M_{i,j}^R = \frac{(3R_{i,j-2} + 4R_{i,j} + 3R_{i,j+2})/2}{5}$$

식 (2.9)과 식 (2.10)에서 구한 평균값을 식 (2.7)에 대입하면 식 (2.11)와 같이 $G_{i,j}$ 를 얻는다.

$$G_{i,j} = R_{i,j} - \frac{5}{4} (M_{i,j}^R - M_{i,j}^C) - \frac{5}{6} (M_{i,j}^C - M_{i,j}^G) \dots\dots\dots (2.11)$$

그리고 색상 신호 채널 보간 방법은 고정 색상차 기반 방법을 사용하였으며, 그림 3을 이용하여 간단하게 설명하면 $R_{i-1,j}$ 와 $R_{i,j+1}$ 의 보간은 식 (2.12)와 같다.

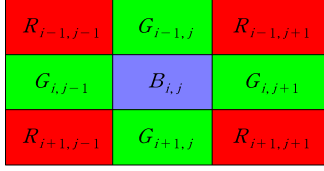


그림 3. 색상 신호 채널 $B_{i,j}$ 화소 주변의 2차원 패턴
 Fig. 3. Two dimensional neighborhood pattern of a chrominance pixel signal channel $B_{i,j}$

$$R_{i-1,j} = G_{i-1,j} + \frac{(R_{i-1,j-1} - G_{i-1,j-1})}{2} + \frac{(R_{i-1,j+1} - G_{i-1,j+1})}{2} \dots\dots\dots (2.12)$$

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

$B_{i,j}$ 위치의 모서리 인접 화소에는 4개의 R 정보가 존재하므로, $R_{i,j}$ 의 보간은 식 (2.13)과 같다.

$$R_{i,j} = G_{i,j} + \frac{(R_{i-1,j-1} - G_{i-1,j-1})}{4} + \frac{(R_{i-1,j+1} - G_{i-1,j+1})}{4} + \frac{(R_{i+1,j-1} - G_{i+1,j-1})}{4} + \frac{(R_{i+1,j+1} - G_{i+1,j+1})}{4} \dots\dots\dots (2.13)$$

여기서 B 채널의 보간도 R 채널의 보간 방법과 동일하다.

2.2 적응 퍼지 컬러 보간 방법

Tsai[7]가 제안한 적응 퍼지 컬러 보간 방법은 퍼지를 이용한 방식으로 각 화소에 잃어버린 컬러를 구하기 위해 smooth hue 변화의 개념을 가진 가중 요소로써 주변의 4개 이웃 화소에 퍼지 멤버십 할당을 이용한 것이다. 여기서 보간 방법을 3단계로 제안했고, hue값의 변화를 이용하여 방향성을 얻어 퍼지 멤버십 수를 가중 요소로 사용한다. 식 (2.14)는 R 위치의 픽셀에서 G의 값 보간하는 식이다.

$$G = \frac{0.5G_1 + 0.5G_2 + 0.1G_3 + 0.1G_4}{0.5 + 0.5 + 0.1 + 0.1} \dots\dots\dots (2.14)$$

$$= 0.8333 \frac{(G_1 + G_2)}{2} + 0.1667 \frac{(G_3 + G_4)}{2}$$

컬러 보간을 위해 가중 평균(Weighted-average) 도구로써 이 퍼지 멤버십 할당을 이용하고, 찾고자하는 컬러 정보를 평가하기 위해 모든 이웃 정보를 이용한다. Tsai는 3단계 보간 단계를 제안하였다. 1단계는 R과 B의 위치에서 G의 값을

찾고, 2단계는 R과 B의 위치에서 B와 R의 정보를 찾는다. 마지막 3단계에서는 G 위치에서 R과 B의 정보를 찾는다. 1단계는 R과 B의 위치에서 G를 찾는 방법으로 식 (2.15)를 이용하여 수직과 수평 방향성을 찾는다.

$$C_{hor} \equiv (R_{m,n+1} - G_{m,n+1}) - (R_{m,n-1} - G_{m,n-1})$$

$$\approx \left[\frac{(r_{m,n+2} + r_{m,n})}{2} - g_{m,n+1} \right] - \left[\frac{(r_{m,n} + r_{m,n-2})}{2} - g_{m,n-1} \right]$$

$$= \frac{1}{2} \times (-r_{m,n-2} + 2g_{m,n-1} - 2g_{m,n+1} + r_{m,n+2})$$

$$C_{ver} \equiv (R_{m+1,n} - G_{m+1,n}) - (R_{m-1,n} - G_{m-1,n})$$

$$\approx \left[\frac{(r_{m+2,n} + r_{m,n})}{2} - g_{m+1,n} \right] - \left[\frac{(r_{m,n} + r_{m-2,n})}{2} - g_{m-1,n} \right]$$

$$= \frac{1}{2} \times (-r_{m-2,n} + 2g_{m-1,n} - 2g_{m+1,n} + r_{m+2,n}) \dots\dots\dots (2.15)$$

이 두 파라미터의 값에 대한 다른 퍼지 멤버십 수는 G값을 평가하는 가중치 요소로 사용하는 것으로 식 (2.16)과 같다.

If ($|C_{hor}| < |C_{ver}|$) then

$$G_{m,n} = 0.8333I_{hor} + 0.1667I_{ver}$$

else

If ($|C_{ver}| < |V_{hor}|$)

$$G_{m,n} = 0.1667I_{hor} + 0.8333I_{ver} \dots\dots\dots (2.16)$$

else

$$G_{m,n} = 0.5I_{hor} + 0.5I_{ver}$$

endif

여기서 I_{hor} 과 I_{ver} 은 식 (2.17)를 이용하여 얻을 수 있다.

$$I_{hor} = (g_{m-1,n} + g_{m+1,n})/2 + 0.5 \times (-r_{m-2,n} + 2r_{m,n} - r_{m+2,n})/4$$

$$I_{ver} = (g_{m,n-1} + g_{m,n+1})/2 + 0.5 \times (-r_{m,n-2} + 2r_{m,n} - r_{m,n+2})/4 \dots\dots\dots (2.17)$$

2단계로 R과 B 화소에서 B와 R을 구하는 단계로 식 (2.19)를 이용하여 얻는다. 먼저 그림 4를 이용하여 Window에서 4개 주변 화소의 hue값과 대각선의 다른 hue들은 식 (2.18)과 같다.

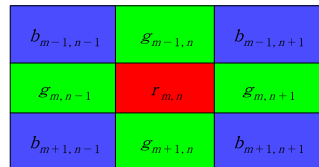


그림 4. 중심이 R인 3x3 윈도우
 Fig. 4. 3x3 window of center R

$$\begin{aligned}
 hue_{nw} &= b_{m-1, n-1} - G_{m-1, n-1} \\
 hue_{sw} &= b_{m+1, n-1} - G_{m+1, n-1} \\
 hue_{\pm} &= b_{m-1, n+1} - G_{m-1, n+1} \dots\dots\dots (2.18) \\
 hue_{se} &= b_{m+1, n+1} - G_{m+1, n+1} \\
 hue_{md} &= hue_{nw} - hue_{se} \\
 hue_{sd} &= hue_{\pm} - hue_{sw}
 \end{aligned}$$

여기서 $r_{m,n}$ 에서 각 $G_{m+i, n+j}$ 는 1단계에서 측정되었으 며, hue_{md} 와 hue_{sd} 는 대각선 hue의 차이이다. R 화소에서 B 값을 구하는 것은 식 (2.19)와 같다.

3단계는 G 화소에서 B와 R값을 구하는 것으로 그림 5를 이용하여 구한다. 그림 5는 G 화소가 중앙에 있는 3x3 윈도우이다.

$$\begin{aligned}
 & \text{if } (|hue_{md}| < |hue_{sd}|) \text{ then} \\
 & B_{m,n} = G_{m,n} + 0.8333(b_{m-1, n-1} - G_{m-1, n-1})/2 \\
 & \quad + 0.8333(b_{m+1, n+1} - G_{m+1, n+1})/2 \\
 & \quad + 0.1666(b_{m-1, n+1} - G_{m-1, n+1})/2 \\
 & \quad + 0.1666(b_{m+1, n-1} - G_{m+1, n-1})/2 \\
 & \dots\dots\dots (2.19) \\
 & \text{else} \\
 & B_{m,n} = G_{m,n} + 0.1667(b_{m-1, n-1} - G_{m-1, n-1})/2 \\
 & \quad + 0.1667(b_{m+1, n+1} - G_{m+1, n+1})/2 \\
 & \quad + 0.8333(b_{m-1, n+1} - G_{m-1, n+1})/2 \\
 & \quad + 0.8333(b_{m+1, n-1} - G_{m+1, n-1})/2 \\
 & \text{endif}
 \end{aligned}$$

| | | |
|----------------|--------------|----------------|
| $g_{m-1, n-1}$ | $b_{m-1, n}$ | $g_{m-1, n+1}$ |
| $r_{m, n-1}$ | $g_{m, n}$ | $r_{m, n+1}$ |
| $g_{m+1, n-1}$ | $b_{m+1, n}$ | $g_{m+1, n+1}$ |

그림5. G 화소가 중앙에 있는 3x3 윈도우
Fig. 5. 3x3 window of center G pixel

4개 hue값은 그림 5의 중앙 화소를 구하며, 수평과 수직 방향의 hue 차이를 가지고 식 (2.20)을 얻는다.

$$\begin{aligned}
 hue_n &= b_{m-1, n} - G_{m-1, n} \\
 hue_e &= b_{m, n+1} - G_{m, n+1} \\
 hue_w &= b_{m, n-1} - G_{m, n-1} \dots\dots\dots (2.20) \\
 hue_s &= b_{m+1, n} - G_{m+1, n} \\
 hue_{hor} &= hue_e - hue_w \\
 hue_{ver} &= hue_n - hue_s
 \end{aligned}$$

G화소에서 B값은 식 (2.21)을 이용하여 구한다.

$$\begin{aligned}
 & \text{if } (|hue_{hor}| < |hue_{ver}|) \text{ then} \\
 & B_{m,n} = g_{m,n} + 0.8333(B_{m, n-1} - G_{m, n-1})/2 \\
 & \quad + 0.8333(B_{m, n+1} - G_{m, n+1})/2 \\
 & \quad + 0.1666(b_{m-1, n} - G_{m-1, n})/2 \\
 & \quad + 0.1666(b_{m+1, n} - G_{m+1, n})/2 \\
 & \dots\dots\dots (2.21) \\
 & \text{else} \\
 & B_{m,n} = g_{m,n} + 0.1667(B_{m, n-1} - G_{m, n-1})/2 \\
 & \quad + 0.1667(b_{m, n+1} - G_{m, n+1})/2 \\
 & \quad + 0.8333(b_{m-1, n} - G_{m-1, n})/2 \\
 & \quad + 0.8333(b_{m+1, n} - G_{m+1, n})/2 \\
 & \text{endif}
 \end{aligned}$$

여기서 R 채널의 보간도 B 채널의 보간 방법과 동일하다.

III. 제안된 컬러 에지 퍼지 보간 알고리즘

본 논문에서 제안된 휘도 신호 채널 보간 방식은 Cho[19]가 제안한 방법에서 사용한 에지 센싱 기법을 이용하며, 고정 색상차 가정에 근거하여 에지 방향에서의 CFA 신호와 각 채널 사이의 평균 관계에 Tsai[7]에서 제안한 퍼지 멤버십 할당을 적용한다[20,21]. 또한 색상 신호 채널 보간은 상대적인 비교를 위해 적응적 알고리즘 방법에서 일반적으로 사용한 고정 색상차 기반 기법을 이용하였다. 먼저, 휘도 신호 채널 보간을 위해 효율적인 색상 보간 방법과 같이 Hamilton이 사용한 복합분류자를 이용하여 식 (3.1)과 같이 수평과 수직 방향의 경사도를 구한다.

$$\begin{aligned}
 G_H &= |2R_{i, j} - (R_{i-2, j} + R_{i+2, j})| \\
 & \quad + |G_{i+1, j} - G_{i-1, j}| \dots\dots\dots (3.1) \\
 G_V &= |2R_{i, j} - (R_{i, j-2} + R_{i, j+2})| \\
 & \quad + |G_{i, j+1} - G_{i, j-1}|
 \end{aligned}$$

이 식은 보간 위치에서 수직 또는 수평 방향 중 어느 방향으로 에지가 형성되어 있는지 방향을 결정한다. G_H 가 G_V 보다 작을 경우에 에지 방향은 수평으로 놓여 있는 것으로 본다. 또한 효율적인 색상 보간 방법과 같이 휘도 채널 보간 방식은 에지 센싱 기법을 이용하여 고정 색상차 가정에 근거하여 에지 방향을 검출하는 알고리즘을 이용한다. 여기서 Cho[19]가 제안한 식 (3.2), 식 (3.3)와 같이 CFA 데이터의 평균과 S, G 채널 신호 평균의 관계식을 이용한다.

$$\begin{aligned}
 M_i^c &= \frac{(\sum_{k=0}^2 S_{i+k})}{5} \\
 &= \frac{(S_{i-2} + S_i + S_{i+2}) + (S_{i-1} + S_{i+1})}{5} \dots\dots\dots (3.2) \\
 &= \frac{(S_{i-2} + S_i + S_{i+2}) + (G_{i-1} + G_{i+1} + 2a)}{5} \\
 &= M_i^c + \frac{2}{5} a
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_i^s &= \frac{(\sum_{k=0}^2 G_{i+k})}{5} \\
 &= \frac{(G_{i-2} + G_i + G_{i+2}) + (G_{i-1} + G_{i+1})}{5} \dots\dots\dots (3.3) \\
 &= \frac{(S_{i-2} + S_i + S_{i+2} - 3a) + (G_{i-1} + G_{i+1})}{5} \\
 &= M_i^c - \frac{3}{5} a
 \end{aligned}$$

그리고 [0.8, 0.1, 0.8, 0.1]의 멤버십 수를 이용하였으며, 수평 방향 일 경우, 0.8의 퍼지 멤버십 값은 수평 G 화소 값으로 하고, 수직 G 화소 값은 0.1의 퍼지 멤버십 값으로 표시하였다. 앞의 퍼지 멤버십값은 모자이크링이나 컬러 복원에 아주 유용하였다. 이 퍼지 멤버십 값은 Tsai[7]에서 제안한 방법과 [20,21]을 참고하였으며, 최종 선택된 값은 주관적인 목시로 영상을 판단하여 우수한 값을 결정하였다.

그림 6은 R값을 중심으로한 3x3의 윈도우이며, 이를 통하여 퍼지 멤버십을 적용한 수평과 수직의 G 비율을 설명을 한다.

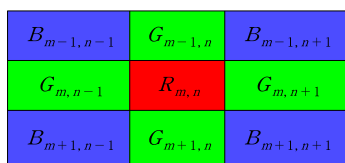


그림 6. R 화소값을 중심으로한 3x3 윈도우
Fig. 6. 3x3 window of center R pixel value

수평적 퍼지 G_{i,j}^H과 수직적 퍼지 G_{i,j}^V는 식 (3.4)와 같다.

$$\begin{aligned}
 G_{i,j}^H &= \frac{0.8G_{i,j-1} + 0.8G_{i,j+1} + 0.1G_{i-1,j} + 0.1G_{i+1,j}}{0.8+0.8+0.1+0.1} \\
 &= 0.889 \frac{(G_{i,j-1} + G_{i,j+1})}{2} \\
 &\quad + 0.111 \frac{(G_{i-1,j} + G_{i+1,j})}{2} \dots\dots\dots (3.4)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 G_{i,j}^V &= \frac{0.1G_{i,j-1} + 0.1G_{i,j+1} + 0.8G_{i-1,j} + 0.8G_{i+1,j}}{0.8+0.8+0.1+0.1} \\
 &= 0.111 \frac{(G_{i,j-1} + G_{i,j+1})}{2} \\
 &\quad + 0.889 \frac{(G_{i-1,j} + G_{i+1,j})}{2}
 \end{aligned}$$

위의 수평적, 수직적 퍼지 G를 적용한 M_{i,j}^C와 M_{i,j}^S 값의 근사치는 식 (3.5)와 같다.

$$\begin{aligned}
 M_{i,j}^S &= \frac{R_{i,j-2} + R_{i,j} + R_{i,j+2}}{5} \\
 &\quad + \frac{(R_{i,j-2} + R_{i,j})/2}{5} + \frac{(R_{i,j} + R_{i,j+2})/2}{5} \\
 M_{i,j}^C &= \frac{G_{i,j-1} + G_{i,j+1}}{5} \\
 &\quad + \frac{0.889(G_{i,j-3} + G_{i,j-1})}{10} \\
 &\quad + \frac{0.111(G_{i-1,j-2} + G_{i+1,j-2})}{10} \\
 &\quad + \frac{0.889(G_{i,j-1} + G_{i,j+1})}{10} \dots\dots\dots (3.5) \\
 &\quad + \frac{0.111(G_{i-1,j} + G_{i+1,j})}{10} \\
 &\quad + \frac{0.889(G_{i,j+1} + G_{i,j+3})}{10} \\
 &\quad + \frac{0.111(G_{i-1,j+2} + G_{i+1,j+2})}{10}
 \end{aligned}$$

식 (2.7)에 위의 식을 대입한 후, 식 (2.8)에 대입하면 식 (3.6)과 같이 경사도에 따라 각 채널의 평균값을 구할 수 있다.

I) G_V < G_H 인 경우,

$$\begin{aligned}
 M_{i,j}^c &= \frac{(R_{i-2,j} + G_{i-1,j} + R_{i,j} + G_{i+1,j} + R_{i+2,j})}{5} \\
 M_{i,j}^s &= \frac{(2.889(G_{i-1,j} + G_{i+1,j})/2)}{5} \\
 &\quad + \frac{0.889(G_{i-3,j} + G_{i-1,j-1} + G_{i+1,j} + G_{i+3,j})/2}{5} \dots\dots\dots (3.6) \\
 &\quad + \frac{0.111(G_{i-2,j-1} + G_{i-2,j+1} + G_{i,j-1})/2}{5} \\
 &\quad + \frac{0.111(G_{i,j+1} + G_{i+2,j-1} + G_{i+2,j+1})/2}{5} \\
 M_{i,j}^r &= \frac{(3R_{i-2,j} + 4R_{i,j} + 3R_{i+2,j})/2}{5}
 \end{aligned}$$

II) G_V > G_H 인 경우,

$$\begin{aligned}
 M_{i,j}^c &= \frac{(R_{i,j-2} + G_{i,j-1} + R_{i,j} + G_{i,j+1} + R_{i,j+2})}{5} \\
 M_{i,j}^s &= \frac{2.889(G_{i,j-1} + G_{i,j+1})/2}{5} \\
 &\quad + \frac{0.889(G_{i,j-3} + G_{i-1,j-1} + G_{i,j+1} + G_{i,j+3})/2}{5} \dots\dots\dots (3.7) \\
 &\quad + \frac{0.111(G_{i-1,j-2} + G_{i+1,j-2} + G_{i-1,j})/2}{5} \\
 &\quad + \frac{0.111(G_{i+1,j} + G_{i-1,j+2} + G_{i+1,j+2})/2}{5} \\
 M_{i,j}^r &= \frac{(3R_{i,j-2} + 4R_{i,j} + 3R_{i,j+2})/2}{5}
 \end{aligned}$$

그리고 1단계에서 M_{i,j}^C를 M_{G1}, M_{i,j}^S를 M_{G2}라 가정하면 식 (3.8)를 구할 수 있다.

III) G_V = G_H 인 경우,

$$\begin{aligned}
 M_{i,j}^c &= \frac{(R_{i,j-2} + G_{i,j-1} + R_{i,j} + G_{i,j+1} + R_{i,j+2})}{5} \\
 M_{i,j}^s &= 0.5(M_{G1} + M_{G2}) \dots\dots\dots (3.8) \\
 M_{i,j}^r &= \frac{(3R_{i,j-2} + 4R_{i,j} + 3R_{i,j+2})/2}{5}
 \end{aligned}$$

식 (3.6), 식 (3.7), 식 (3.8)에서 구한 평균값들을 식 (3.9)에 대입하여 $G_{i,j}$ 를 얻는다.

$$G_{i,j} = R_{i,j} - \frac{5}{4}(M_{i,j}^r - M_{i,j}^g) - \frac{5}{6}(M_{i,j}^g - M_{i,j}^b) \dots\dots\dots (3.9)$$

색상 신호 채널 보간 방법은 Cho[19]에서 사용한 일반적인 고정 색상차 기반 방법을 사용하며, $R_{i-1,j}$ 와 $R_{i,j+1}$, $R_{i,j}$ 의 보간은 식 (3.10)과 같다.

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

$$R_{i,j+1} = G_{i,j+1} + \frac{(R_{i-1,j+1} - G_{i-1,j+1})}{2} + \frac{(R_{i+1,j+1} - G_{i+1,j+1})}{2} \dots\dots\dots (3.10)$$

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

여기서 B 채널의 보간도 R 채널의 보간 방법과 동일하게 구한다.

IV. 시뮬레이션 및 결과

제안된 보간 방법의 성능을 평가하기 위해 그림 7과 같이 24 비트 비손실(lossless) 영상인 KODAK PhotoCD PCD0992 샘플 20개 영상을 사용하였다. 위 20개 영상을 이용하여 6개의 기존 방법들을 제안된 방법과 비교하였다. 비교한 기존 방법들은 비적응 알고리즘인 Cok이 제안한 점진적 색상 변화 보간법의 방법(Smooth Hue Transition Interpolation) [12], 양선형 보간법(Bilinear interpolation)[9]과 적응 알고리즘인 경계값 보존 보간법(Edge sensing interpolation) [17], Hamilton의 라플라시안 2차 보정 단계를 가진 선형 보간법(Linear interpolation with Laplacian second-order Correction terms)[18], Tsai의 퍼지 컬러 보간법 [7], Cho[19] 방법이다.

휘도 신호 채널은 해상도를 나타내는 가장 중요한 성분이며, 색상 신호 채널 보간 성능에 영향을 주기 때문에 본 논문에서는 휘도 신호 채널 보간에 대한 성능의 결과를 가지고 평가를 한다.

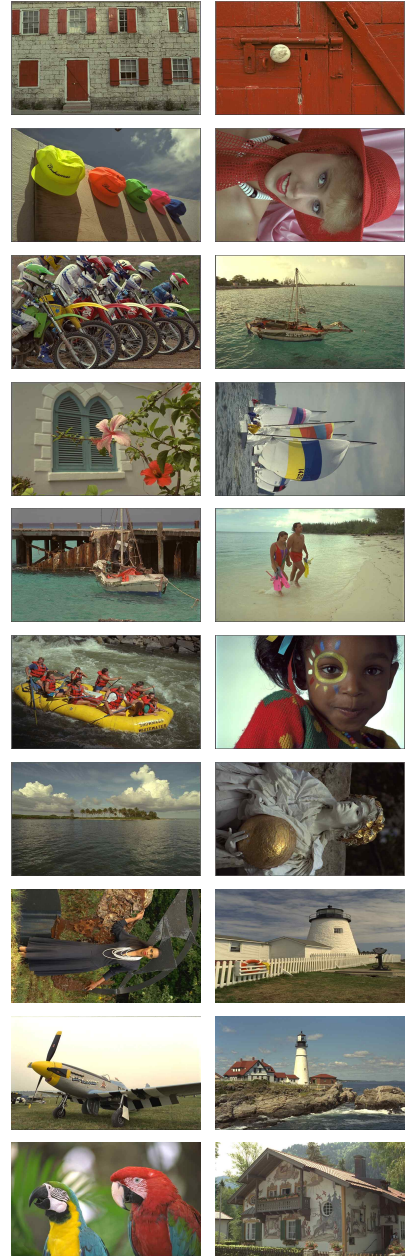


그림 7. 24비트의 비손실 실험 영상들
 Fig. 7. Test images with 24 bits lossless(source:http://www.r0kus.com/graphics/kodak/kodak/)

색상 보간 방법을 검증하고 평가를 위해 원 영상 데이터와 복원 영상 데이터에 대한 최대 신호대잡음비(PSNR : peak signal to noise rate)를 사용하였다. 아래 표 1은 6개의 기존 알고리즘과 제안된 알고리즘의 Red, Green, Blue의 신

호 채널에 대한 PSNR 데이터이다. 그리고 그림 8은 20개 영상의 Green 신호 채널에 대한 PSNR 데이터를 그래프로 나타낸 것이다.

Green 신호 채널이 해상도 복원이나 색상 신호를 복원하는데 가장 중요한 성분이다. 그래서 표 1과 그림 8에서 Green 신호 채널 위주로 비교하면, 기존의 알고리즘에 비해 제안된 알고리즘이 전반적으로 PSNR이 우수함을 알 수 있으며, 또한 평균 2.4dB(Cok 대비 2.3dB, Bilinear 대비 2.3dB, Laroche 대비 3.2dB, Hamilton 대비 3.9dB, Tsai 대비 1.8dB, Cho 대비 0.9dB)정도 우수함을 그림 9를 통하여 확인할 수 있었다.

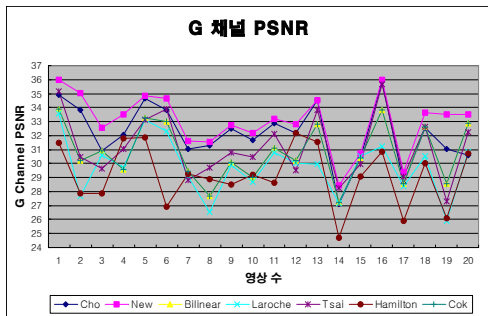


그림 8. 20개 영상에 대한 Green 신호 채널의 PSNR
Fig. 8. PSNR of Green Signal Channel for 20 images

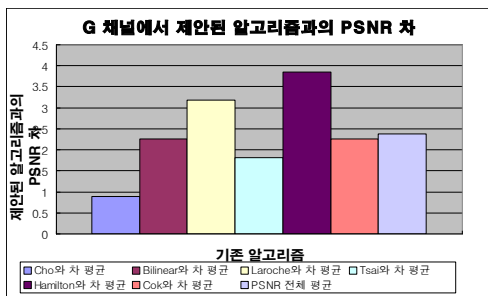


그림 9. 기존 알고리즘과 제안된 알고리즘의 PSNR 차
Fig. 9. PSNR difference between conventional and proposed Algorithms

시각적으로 복원을 확인하는 것도 컬러 보간에서는 중요한 작업이다. 즉 해상도나 색수차 등 수치로 나타내기 어려운 부분을 확인하는 것이다. 시각적인 비교를 위해 그림 10, 그림 11과 같이 7번과 16번 영상을 채널 복원 후 일부분을 확대하였다. 그 결과, 기존 알고리즘 중 비적용 알고리즘은 PSNR 데이터에서는 적용 알고리즘 보다 우수하였으나, 원영상 대비 색수차와 지퍼 효과가 발생하고 해상력도 부족함으로 보였다.

그리고 적용 알고리즘은 PSNR 데이터에서는 비적용 알고리즘에 비해 낮은 수치를 보였으나, 색수차가 적고 해상력도 원영상과 유사한 수준을 보였다.

그러나 일부 알고리즘은 지퍼 효과가 발생하였다. 실험 결과, 시각적인 측면에서도 제안한 알고리즘은 원영상과 비교해서 해상력 수준은 유사하며, 색수차 부분에서도 기존의 알고리즘 보다 우수함을 보였다.



(a) 원영상 (b) Cok (c) Bilinear



(d) Laroche (e) Hamilton (f) Tsai



(g) Cho (h) New Proposal

그림 10. 7번 영상을 각 보간 방법으로 보간한 확대 영상 :
(a) 원영상 (b) Cok (c) Bilinear (d) Laroche (e) Hamilton (f) Tsia (g) Cho (h) New Proposal

Fig. 10. Scale up images after interpolating by each interpolation methods with No. 7 image :
(a) Original image (b) Cok (c) Bilinear (d) Laroche (e) Hamilton (f) Tsia (g) Cho (h) New Proposal

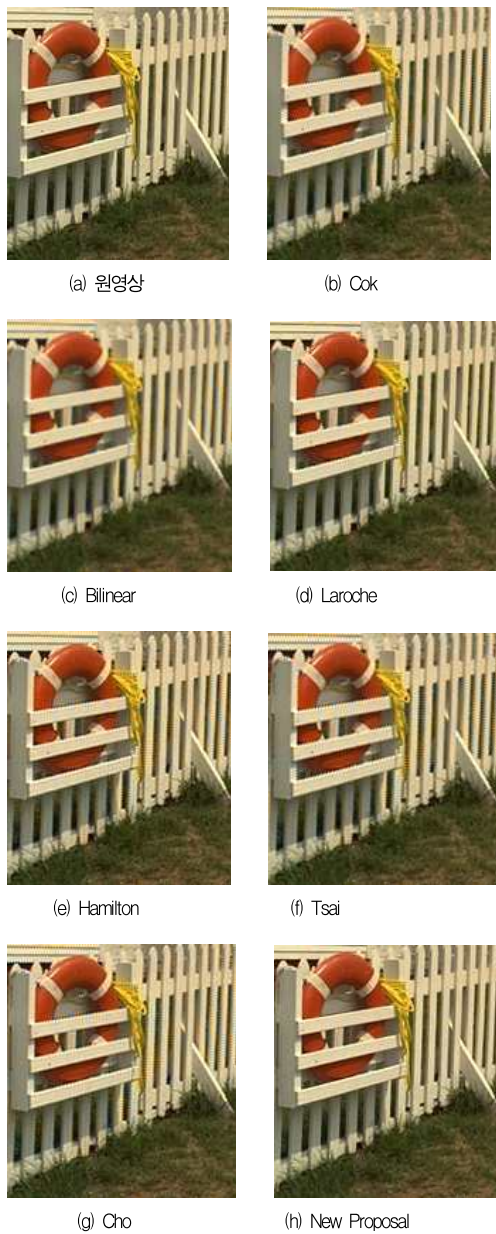


그림 11. 16번 영상을 각 보간 방법으로 보간한 확대 영상 :
 (a) 원영상 (b) Cok (c) Bilinear (d) Laroche (e) Hamilton
 (f) Tsia (g) Cho (h) New Proposal
 Fig. 11. Scale up images after interpolating by each
 interpolation methods with No. 16 image :
 (a) Original image (b) Cok (c) Bilinear (d) Laroche
 (e) Hamilton (f) Tsia (g) Cho (h) New Proposal

표 1. 알고리즘의 PSNR 데이터
 Table 1. PSNR Data of Algorithms

| 영상 | Channel | Cok | Bi-linear | Laroche | Hamilton | Tsai | Cho | New |
|----|---------|-------|-----------|---------|----------|-------|-------|-------|
| 1 | R | 34.28 | 36.36 | 28.38 | 28.72 | 33.97 | 33.96 | 34.21 |
| | G | 33.85 | 33.85 | 31.24 | 30.85 | 30.85 | 35.85 | 36.00 |
| | B | 35.04 | 36.03 | 31.57 | 28.03 | 34.11 | 34.12 | 34.56 |
| 2 | R | 28.18 | 29.71 | 21.50 | 27.05 | 28.37 | 29.12 | 29.97 |
| | G | 28.54 | 28.54 | 28.39 | 25.88 | 29.10 | 28.57 | 29.38 |
| | B | 29.86 | 31.61 | 29.13 | 30.05 | 30.02 | 32.30 | 32.89 |
| 3 | R | 34.55 | 35.76 | 32.03 | 31.36 | 33.93 | 35.44 | 35.44 |
| | G | 33.91 | 33.91 | 33.59 | 31.48 | 35.19 | 34.88 | 35.96 |
| | B | 31.63 | 35.08 | 31.19 | 29.26 | 32.37 | 35.57 | 35.91 |
| 4 | R | 30.39 | 32.84 | 29.18 | 28.34 | 29.73 | 32.91 | 34.20 |
| | G | 30.20 | 30.20 | 27.70 | 27.90 | 30.47 | 33.83 | 35.05 |
| | B | 29.95 | 31.30 | 28.63 | 27.24 | 28.89 | 31.77 | 34.09 |
| 5 | R | 32.35 | 32.46 | 27.65 | 28.58 | 30.01 | 31.31 | 33.49 |
| | G | 30.94 | 30.94 | 30.57 | 27.86 | 29.66 | 30.92 | 32.57 |
| | B | 30.84 | 30.68 | 30.55 | 30.01 | 30.76 | 29.42 | 31.40 |
| 6 | R | 31.56 | 32.11 | 31.62 | 34.82 | 31.81 | 33.70 | 35.38 |
| | G | 29.58 | 29.58 | 29.72 | 31.77 | 31.03 | 32.06 | 33.53 |
| | B | 32.14 | 31.65 | 30.66 | 32.53 | 29.52 | 32.53 | 34.53 |
| 7 | R | 33.18 | 34.15 | 33.95 | 33.78 | 32.51 | 34.14 | 34.26 |
| | G | 33.24 | 33.24 | 33.13 | 31.84 | 33.12 | 34.67 | 34.85 |
| | B | 34.27 | 35.47 | 34.32 | 31.82 | 32.56 | 35.25 | 35.85 |
| 8 | R | 33.05 | 34.12 | 31.00 | 31.10 | 32.38 | 32.49 | 32.53 |
| | G | 33.03 | 33.03 | 32.30 | 26.89 | 33.89 | 33.85 | 34.64 |
| | B | 32.65 | 33.72 | 31.30 | 28.91 | 31.61 | 31.81 | 32.32 |
| 9 | R | 30.85 | 31.87 | 28.13 | 30.64 | 28.08 | 31.37 | 31.87 |
| | G | 29.43 | 29.43 | 29.04 | 29.24 | 28.84 | 31.05 | 31.58 |
| | B | 31.27 | 31.70 | 27.01 | 30.77 | 29.33 | 31.84 | 32.20 |
| 10 | R | 29.35 | 30.17 | 22.71 | 31.92 | 28.46 | 31.56 | 31.95 |
| | G | 27.66 | 27.66 | 26.57 | 28.88 | 29.70 | 31.31 | 31.52 |
| | B | 27.96 | 31.24 | 27.12 | 31.01 | 30.02 | 30.31 | 31.33 |
| 11 | R | 30.70 | 31.11 | 18.19 | 29.43 | 29.74 | 32.17 | 32.34 |
| | G | 30.11 | 30.11 | 29.90 | 28.49 | 30.60 | 32.51 | 32.76 |
| | B | 31.02 | 31.53 | 31.01 | 28.86 | 29.58 | 31.19 | 31.90 |
| 12 | R | 30.76 | 31.12 | 30.18 | 29.15 | 29.93 | 31.08 | 31.80 |
| | G | 29.00 | 29.00 | 28.71 | 29.21 | 30.50 | 31.66 | 32.19 |
| | B | 30.83 | 30.52 | 29.64 | 29.45 | 28.68 | 32.16 | 32.63 |
| 13 | R | 32.42 | 33.50 | 30.23 | 32.78 | 31.89 | 33.26 | 33.80 |
| | G | 31.12 | 31.12 | 30.81 | 28.62 | 32.09 | 32.85 | 33.17 |
| | B | 30.70 | 32.22 | 30.50 | 30.88 | 30.84 | 31.96 | 32.51 |
| 14 | R | 31.55 | 34.31 | 30.03 | 32.61 | 29.76 | 32.94 | 33.53 |
| | G | 30.19 | 30.19 | 30.05 | 32.17 | 29.51 | 32.18 | 32.83 |
| | B | 32.21 | 31.39 | 30.01 | 32.57 | 27.73 | 31.55 | 32.42 |

| 영상 | Channel | Cok | Bi-linear | Laroche | Hamilton | Tsai | Cho | New |
|----|---------|-------|-----------|---------|----------|-------|-------|-------|
| 15 | R | 33.86 | 34.76 | 26.77 | 30.68 | 31.71 | 34.10 | 34.88 |
| | G | 32.83 | 32.83 | 29.97 | 31.56 | 33.85 | 34.51 | 34.52 |
| | B | 32.58 | 33.12 | 31.17 | 30.73 | 31.50 | 33.07 | 34.97 |
| 16 | R | 26.72 | 28.86 | 26.56 | 25.30 | 27.90 | 27.86 | 28.64 |
| | G | 27.21 | 27.21 | 27.21 | 24.67 | 28.26 | 27.12 | 28.44 |
| | B | 28.21 | 29.78 | 25.25 | 25.50 | 24.28 | 24.74 | 26.25 |
| 17 | R | 30.27 | 32.75 | 28.95 | 30.45 | 30.41 | 29.82 | 30.56 |
| | G | 30.41 | 30.41 | 30.53 | 29.08 | 29.96 | 30.40 | 30.69 |
| | B | 28.60 | 31.20 | 29.68 | 29.27 | 29.90 | 30.49 | 31.57 |
| 18 | R | 33.89 | 34.82 | 27.12 | 29.18 | 32.54 | 32.88 | 34.98 |
| | G | 32.61 | 32.61 | 30.51 | 30.05 | 32.64 | 32.58 | 33.64 |
| | B | 31.83 | 33.95 | 31.01 | 30.19 | 32.72 | 31.97 | 34.13 |
| 19 | R | 29.75 | 29.58 | 28.27 | 27.20 | 26.29 | 29.97 | 31.81 |
| | G | 28.57 | 28.57 | 25.93 | 26.10 | 27.32 | 31.06 | 33.48 |
| | B | 28.12 | 30.10 | 26.07 | 26.25 | 25.01 | 32.30 | 34.00 |
| 20 | R | 32.06 | 32.47 | 29.21 | 28.98 | 31.71 | 29.20 | 32.33 |
| | G | 32.88 | 32.88 | 30.87 | 30.71 | 32.27 | 30.60 | 33.52 |
| | B | 32.56 | 32.33 | 31.78 | 30.56 | 30.50 | 31.44 | 32.81 |

V. 결론

본 논문은 휘도 채널의 색수차 성능 개선을 위하여 베이퍼 패턴 영상 센서에서 획득한 영상의 해상도와 색수차에 효과적인 에지 퍼지 보간 방법을 제안하였다. 보간 방법의 중요한 특성으로 휘도 신호 채널 성분이 해상도와 컬러 색상 신호 채널의 성분에 아주 중요한 영향을 주는 것에 착안하여, 휘도 신호 채널 성분 중심으로 보간 성능을 향상하고자 하였다. 휘도 신호 채널 보간에서 에지 방향에 따라 퍼지 특성을 적용하여 채널간의 평균 관계를 새롭게 정립하였다. 또한 PSNR을 이용하여 기존 제안 방식과 제안된 방식의 성능 비교를 하였다. 20개의 실험 영상에서 각 알고리즘을 시뮬레이션 한 후 PSNR을 확인 한 결과, 제안한 컬러 퍼지 에지 보간 방식이 각 채널 성분이 우수함을 확인하였으며, 기존 알고리즘 대비 평균 2.4dB(Cok 대비 2.3dB, Bilinear 대비 2.3dB, Laroche 대비 3.2dB, Hamilton 대비 3.9dB, Tsai 대비 1.8dB, Cho 대비 0.9dB)정도 우수함 증명하였다. 시각적으로는 해상도가 기존 대비 우수하였으며, 색수차 발생이 적었다.

향후, 색수차 성능 개선으로 제안된 에지 퍼지 보간 알고리즘을 하드웨어인 ISP(image signal processor)에 설계, 적용하여 속도 측면을 개선 검증이 필요하다고 사료된다.

참고문헌

- [1] Bryce E. Bayer, "Color imaging array," U.S. Patent 3,97,065, Eastman Kodak Company, 1976.
- [2] B. K. Gunturk, J. Glotzbach, and Y. Altunbasak, et al., "Demosaicking: color filter array interpolation," IEEE Signal Processing Magazine, Vol. 22, No. 1, pp. 44-54, Jan. 2005.
- [3] R. Lukac, K. N. Plataniotis, D. Hatzinakos, and M. Aleksic, "A new CFA interpolation framework," Signal Process., Vol. 86, No. 7, pp. 1559-1579, July 2006.
- [4] 오현묵, 유두식, 강문기, "분리된 컬러 필터 배열을 이용한 에지 방향 컬러 보간 방법," 대한전자공학회논문지, 제 47권, SP편 제 1호, 53-61쪽, 2010년 1월.
- [5] 김영주, "JPEG 영상 복원을 위한 다중 모드 채도 복원과 연산 재배열 기반의 시간 최적화된 컬러 변환," 한국컴퓨터정보학회논문지, 제 14권, 제 1호, 135-143쪽, 2009년 1월.
- [6] 최영우, 조은숙, "색 분산 특징을 이용한 텍스트 추출에서의 손실된 분산 복원," 한국컴퓨터정보학회논문지, 제 14권, 제 10호, 73-82쪽, 2009년 10월.
- [7] Ping-Sing Tsai, Tinku Acharya, Ajay K. Ray, "Adaptive Fuzzy Color Interpolation," Journal of Electronic Imaging, Vol. 11, No. 3, pp. 293-305, July 2002.
- [8] 유재욱, 박대현, 김윤, "3차 회선 보간법에 적응적 매개변수를 적용한 영상 보간," 한국컴퓨터정보학회논문지, 제 13권, 제 6호, 163-171쪽, 2008년 11월.
- [9] James. E. Adams, "Interactions between color plane interpolation and other image processing functions in electronic photography," Proceedings of SPIE, Vol. 2416, pp. 144-151, Feb. 1995.
- [10] Tadashi Sakamoto, C. Nakanishi, and T. Hase, "Software pixel interpolation for digital still cameras suitable for a 32-bit MCU," IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 44, No. 4, pp. 1342-1352, Nov. 1998.
- [11] William T Freeman, "Method and apparatus for reconstructing missing color samples," U.S. Patent 4,663,655, Polaroid Corporation, 1987.
- [12] 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, Eastman Kodak Company, 1987.
- [13] X. Wu, W. K. Choi, and P. Bao, "Color Restoration from Digital Camera Data by Pattern Matching," Proceedings of the SPIE's Electronic Imaging Conference, Color Imaging: Device-Independent Color, Color Hardcopy, and Graphic Arts II, Vol. 3018, pp 12-17, 1997.
- [14] W. XiaoLin, C. K. Wai, and B. Paul, "Color Restoration from Digital Camera Data by Pattern Matching," Proceedings of SPIE, Vol. 3018, pp. 12-17, Feb. 1997.
- [15] Tinku Acharya and Ping-Sing Tsai, "A New Block Matching Based Color Interpolation Algorithm," Proceedings of The SPIE's Electronic Imaging Conference, Color Imaging: Device-Independent Color, Color Hardcopy, and Graphic Arts IV, Vol. 3648, pp 60-65, 1999.
- [16] R. H. Hibbard, "Apparatus and method for adaptively interpolating a full color image utilizing luminance gradients," U.S. Patent 5,382,976, Eastman Kodak Company, 1995.
- [17] G. A. Laroche and M. A. Prescott, "Apparatus and method for adaptively interpolating a full color image utilize chrominance gradients," U.S. Patent 5,373,322, Eastman Kodak Company, 1994.
- [18] 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, Eastman Kodak Company, 1997.
- [19] 조양기, 김희석, "색상 필터 배열을 위한 효율적인 색상 보간 방법," 대한전자공학회논문지, 제 43권, CI권, 제 6호, 92-100, 2006년 11월.
- [20] H. J. Zimmermann, Fuzzy Set Theory and Its Applications, 2nd Kluwer Academic Publishers, 1991.
- [21] A. Kandel and G. Langholz, Fuzzy Hardware : Architectures and Applications, Kluwer Academic Publishers, 1998.

저자 소개



변 오 성

2003: 원광대학교 공학박사.

2003 ~ 2010: 삼성전기 연구소
책임연구원

2010 ~ 현재: 현대모비스 기술연구소
책임연구원

관심분야: 컴퓨터비전, 패턴인식,
임베디드시스템, 마이크로
프로세스, DSP 설계,
자동차 응용 시스템,
영상 처리 및 응용