

컬러 성분 에지 기울기 검출 필터링을 이용한 디모자이킹 알고리즘

정희원 전 광 길*^o, 정 태 영** 김 동 형***, 김 승 중****, 정 제 창**

Demosaicing Algorithm by Gradient Edge Detection Filtering on Color Component

Gwanggil Jeon*^o, Tae-young Jung**, Donghyung Kim***, Seungjong Kim****,
Jechang Jeong** *Regular Members*

요 약

단일 영상 센서를 사용하는 디지털 카메라에서 컬러 영상은 3개의 R, G, B 프레임으로 나뉘는데, 복원할 때에는 컬러 보간 과정을 이용하여 풀(full) 해상도 영상을 획득한다. 따라서 베이어 패턴(Bayer's pattern)과 같은 컬러 필터 어레이(CFA : Color Filter Array)를 통과하는 풀 해상도 컬러영상을 복원하는 과정은 소실된 컬러 요소에 대한 보간 기법과 관련이 있다. 본 논문에서는 모자이크 영상으로부터 정확한 에지 기울기 정보를 추출하기 위한 새로운 필터링 방법을 이용한 디모자이킹 알고리즘을 소개한다. 기존의 알고리즘은 G성분 값을 먼저 보간 후, R과 B성분 값을 보간하는 방식을 취하지만, 본 논문에서 제안하는 알고리즘은 휘도(luminance; L) 정보를 먼저 예측한 후, G와 R, B성분 값을 구한다. 이렇게 얻어진 컬러 성분 값들을 이용해 각각의 에지 방향들이 가지는 가중치를 구하고 가중치들의 합을 이용하여 컬러 보간을 수행한다. 24개의 테스트 영상을 이용하여 기존의 디모자이킹 알고리즘과 제안한 알고리즘을 비교하였으며, 제안한 알고리즘이 화질이 우수함을 입증하였다.

Key Words : Bayer Pattern Demosaicing, Spatial Domain Demosaicing, Color Filter Array, CPSNR, CIELAB

ABSTRACT

Digital cameras adopting a single CCD detector collect image color by subsampling in three color planes and successively interpolating the information to reconstruct full-resolution color images. Therefore, to recovery of a full-resolution color image from a color filter array (CFA) like the Bayer pattern is generally considered as an interpolation issue for the unknown color components. In this paper, we first calculate luminance component value by combining R, G, B channel component information which is quite different from the conventional demosaicing algorithm. Because conventional system calculates G channel component followed by computing R and B channel components. Integrating the obtained gradient edge information and the improved weighting function in luminance component, a new edge sensitive demosaicing technique is presented. Based on 24 well known testing images, simulation results proved that our presented high-quality demosaicing technique shows the best image quality performance when compared with several recently presented techniques.

* School of Information Technology and Engineering (SITE), University of Ottawa(gjeon@site.uottawa.ca), (^o : 교신저자)

** 한양대학교 전자통신컴퓨터공학과(master@mytears.org, jjeong@ece.hanyang.ac.kr), *** 한라대학교 정보통신방송공학부(dhkim@halla.ac.kr),

**** 한양여자대학교 컴퓨터정보과(jkim@hywoman.ac.kr)

논문번호 : KICS2009-05-208, 접수일자 : 2009년 5월 18일, 최종논문접수일자 : 2009년 11월 18일

I. 서 론

과거 널리 사용하던 필름 카메라에 비해 다양한 장점을 가지는 디지털 카메라는 단일 CCD/CMOS 영상 센서를 기반으로 한다. 그림 1은 영상 획득 장치의 구조를 나타낸 것이며, 실제 영상은 영상 센서를 통해 인식되는데, CCD/CMOS 영상 센서는 빛의 밝기만을 인식할 수 있기 때문에 디지털 카메라는 RGB 컬러를 모두 얻기 위하여 3가지의 영상 센서와 각각의 센서마다 특정 색상만을 통과시키는 컬러 필터의 채용을 요구하게 된다. 하지만 영상 센서의 가격이 비싸기 때문에 보통 여러 개의 센서를 사용하기보다는 단일 센서의 표면에 컬러 필터 배열(CFA: Color Filter Array)을 채용하고 광학 필터로부터 통과된 신호만을 획득하게 된다¹⁾. 하지만 단일 센서를 사용할 경우 각 위치마다 두 가지씩의 색상 성분이 손실되기 때문에 화질의 열화가 발생하게 된다. 따라서 단일 영상 센서로부터 획득된 영상의 화질을 개선하고자 하는 연구는 꾸준히 요구되어 왔다 [2]. CFA는 영상 센서 전반부에 마이크로 렌즈(micro lens)가 부착되어 있고 각각의 픽셀마다 R, G, B 중 한가지의 색 신호만을 인식하는 3개의 색상필터를 배열한 패턴으로 되어있다. 배열된 색상의 구조에 따라 다양한 형태의 CFA를 가질 수 있지만 보통 그림 2와 같은 베이어 패턴(Bayer's pattern)이 널리 사용된다 [2]. 베이어 패턴은 4개의 픽셀 중 2개의 G(green)색상 필터(50%)와 하나의 R(red)색상 필터(25%), 그리고 하나의 B(blue)색상 필터(25%)로 구성된다. 이렇게 획득된 영상데이터

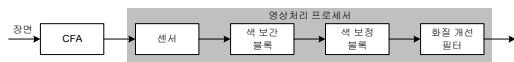


그림 1. 베이어 CFA 포맷

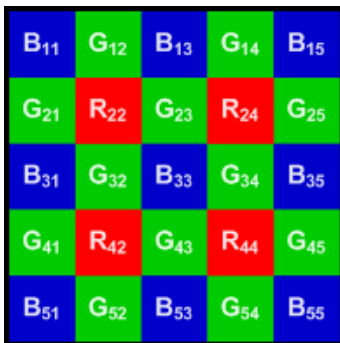


그림 2. 베이어 CFA 포맷

는 CFA 데이터로 불리고 그 특징은 픽셀 당 하나의 컬러만을 보유하게 된다. 따라서 각각의 픽셀이 R, G, B 중 하나의 색만을 가지고 있기 때문에 나머지 색들은 인접 픽셀 정보를 통해 예측되어야 하고, 모든 픽셀이 3개의 색 성분 값을 모두 가지도록 처리가 진행되어야 하며, 이 과정을 디모자이킹 혹은 색상 보간이라 부른다.

지금까지 다양한 난이도와 성능을 목표로 색상 보간을 위한 연구가 진행되어 왔고 다양한 보간 방식들이 발표되어왔다^{3)~17)}. 그 중 가장 고전적인 방법은 쌍선형 또는 이중선형보간(bi-linear interpolation) 기법이다³⁾. 이 방법은 픽셀이 속한 영역 특성이 고려되지 않은 채 색상 보간 과정이 수행되기 때문에 구현이 복잡하지 않다는 장점을 가지는 반면, 보간된 영상에서 상당한 색상 열화를 가져온다. Chang and Chen⁹⁾은 R, G, B 성분간의 상관관계를 이용하여 우선 50%의 데이터를 차지하는 G성분 값을 예측한 후, 예측된 G성분 값을 이용하여 나머지 R과 B성분 값을 예측하는 알고리즘을 제안하였다. Chung¹⁶⁾ 등은 보간 하고자 하는 픽셀이 위치하는 영역의 특성을 고려하여 에지의 기율기(gradient of edge)를 먼저 계산한 후, 해당 픽셀이 수평방향 에지가 존재하는 영역에 놓여있는지 아니면 수직방향 에지가 존재하는 영역에 놓여있는지를 알아내고 그 방향에 맞게 색상 보간을 수행하는 방법을 제안하였다. Li⁸⁾는 successive approximation 기법을 이용한 디모자이킹 알고리즘을 제안했는데, 이는 앞서 소개한 방식을 이용해 색상 보간 과정을 수행한 후 다시 한번 전체적으로 영상을 처리하여 부정확한 색 성분 값을 조절하는 방식이다. 하지만 이 방법은 전체 색상 보간 기법의 안정성을 저해한다는 단점과 함께 연산이 전체적으로 이루어지기 때문에 많은 계산량이 요구된다는 문제점을 가진다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 컬러 성분 에지 기율기 필터링을 이용한 디모자이킹 알고리즘을 제안하며, 다음과 같이 3단계로 수행된다. 1단계에서는 이중선형 보간을 이용해 손실된 색상 성분 값을 예측하고 식(1)을 통해 휘도(L: luminance) 값을 구한다. 2단계에서는 구해진 L값을 이용하여 R과 B위치에서 G성분 값을 보간한다. 3단계에서는 보간된 G값을 이용하여 “G위치에서 R과 B성분 보간”과 “R과 B위치에서 B와 R성분 보간” 과정을 차례로 수행한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 제II장에서는 제안하는 색상 보간 알고리즘을 소개한다. 제III장에서는 실험결과를 통해 제

안하는 알고리즘의 우수성을 증명하고 제 IV장에서 론을 맺는다.

II. 제안하는 디모자이킹 알고리즘

2.1 휘도(L) 성분 예측

지금까지 발표된 에지 기울기를 이용한 색상 보 간 기법들은 우선 G성분 값을 예측한 후, 예측된 G 값을 이용하여 R과 B값을 차례로 구했다⁹⁾. 왜냐하면 Bayer CFA구조에서 절반가량의 픽셀들이 G성분을 표현하는 데에 할당되어 있기 때문에 G성분이 컬러 영상의 휘도 성분 값을 결정하는데 있어 가장 큰 역할을 할 것이라는 사실에 기반한다. 하지만 식 (1)과 같이 일반적으로 L(휘도)성분은 29.9%의 R성분과 58.7%의 G성분, 그리고 11.4%의 B성분의 합으로 구성된다¹⁶⁾. 따라서 58.7%만을 기여하는 G성분값만을 가지고 휘도 성분을 예측하기에는 무리가 따른다.

$$L = 0.299 \cdot R + 0.587 \cdot G + 0.114 \cdot B \quad (1)$$

휘도 성분을 이용하여 보간을 수행해야 하는 또 다른 이유는 하나의 CFA를 통해 얻어지는 영상은 그림 3과 같이 흑백영상과 같은 모습으로 표현되고 픽셀당 한가지 색상 정보만을 가지게 되며 픽셀이 위치하는 R, G, B 성분 값에 따라 휘도 성분의 차이가 크다는 관찰에서 나온다.

본 논문이 제안하는 알고리즘은 우선 이중선형 보간과 같은 간단한 필터를 이용하여 모든 픽셀의 R, G, B성분값을 일차적으로 구한다³⁾. 예를 들어 그림 2와 같은 베이어 패턴이 있다고 할 때 B₃₃위치에서의 양선형 보간의 결과는 식 (2)와 같이 구해

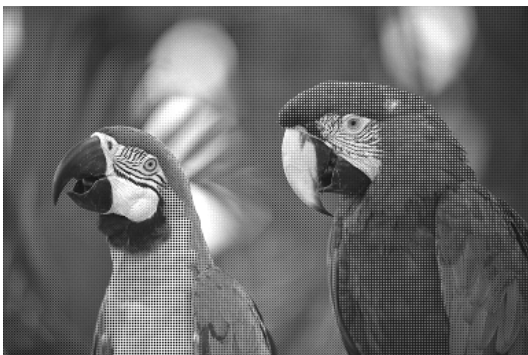


그림 3. CFA 영상 필터를 통과한 영상의 예

진다.

$$G_{33} = \frac{G_{23} + G_{34} + G_{43} + G_{32}}{4}, \quad R_{33} = \frac{R_{22} + R_{24} + R_{44} + R_{42}}{4} \quad (2)$$

물론 G₃₃와 R₃₃를 구하는 과정에서 식 (3a), (3b)과 같이 단 두 개의 픽셀을 사용하는 등의 수식의 간략화는 가능하다. 예를 들어 G₃₃의 예측값으로 G₃₂와 G₃₄의 평균값을 이용할 수도 있다.

$$G_{33} = \frac{G_{32} + G_{34}}{2}, \quad R_{33} = \frac{R_{22} + R_{44}}{2} \quad (3a)$$

$$G_{33} = \frac{G_{23} + G_{43}}{2}, \quad R_{33} = \frac{R_{24} + R_{42}}{2} \quad (3b)$$

B성분값을 구하는 과정은 R성분값을 구하는 과정과 동일한 방법으로 수행한다. 이렇게 R, G, B성분값이 구해지면 본 논문에서는 식 (1)을 이용해 휘도성분 L값을 구한다. 그림 4(a)는 L성분값으로 채운 Bayer패턴을 나타내었다.

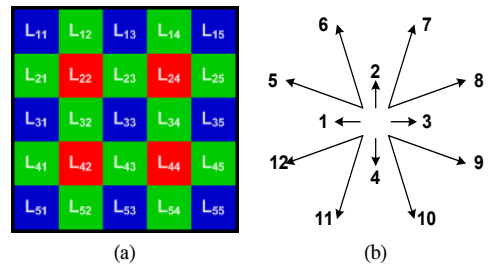


그림 4. (a) 주위의 참조 픽셀들, (b) 보간의 방향들

2.2 R 또는 B위치에서의 G보간

손실된 값들을 보간하기 위해서는 이웃하는 L성분으로 이루어진 픽셀들을 이용하게 된다. 본 알고리즘에서는 그림 4(a)의 L₃₃위치에 있는 G값을 보간하기 위해 원래의 G성분값을 보존하고 있는 {L₁₂, L₁₄, L₂₃, L₂₅, L₃₄, L₄₅, L₅₄, L₄₃, L₅₂, L₄₁, L₃₂, L₂₁}과 같은 12개의 픽셀을 이용한다. 즉, 인접 픽셀간의 거리를 s라고 할 때, 거리가 s인 이웃 L성분 {L₂₃, L₃₄, L₄₃, L₃₂}뿐만 아니라 거리가 √5s인 8개의 L성분 값들을 추가적으로 이용하여 알고리즘의 성능을 개선하고자 한다. 이들 픽셀들은 “수평 방향으로 s의 거리만큼, 수직방향으로 2s의 거리만큼” 또는 그 반대로 “수평 방향으로 2s의 거리만큼, 수직

방향으로 s의 거리만큼”에 위치하는 픽셀들의 L성분값을 이용하는 것이다. 에지 기울기에 따라 보간에 이용되는 픽셀들의 k번째 방향은 표 1의 편의성을 위해 1부터 12까지 번호로 구분하였고 보간 과정이 수행되는 픽셀에서 k번째 방향에 있는 픽셀까지의 수평 이동거리 매개변수 (Horizontal Direction Displacement Parameter: HDDP) $d_{H,k}$ 와 수직 이동거리 매개변수 (Vertical DDP: VDDP) $d_{V,k}$ 는 표 1에 나타내었다. 본 논문에서는 k번째 방향 에지 기울기에 놓여있는 픽셀들은 그 에지가 지나가는 픽셀들이 가지고 있는 특성과 비슷한 특성을 보일 것이라는 추정으로부터 방향 k에 대한 가중치 $\omega_k(i,j)$ 를 식 (4)와 같이 정의하였다.

$$\omega_k(i,j) = \left(\frac{1}{1 + \delta_k(i,j)} \right)^2 \quad (4)$$

여기서 δ_k 값은 주변 픽셀들의 k번째 방향 경사도와 현재 픽셀의 k번째 방향 경사도에 거리 가중치 μ_k 를 고려하여 구하는 값으로 식 (5)와 같이 정의된다.

$$\delta_k(i,j) = \mu_k \left[\begin{array}{l} \rho_V(i,j) \{ \gamma_k(i-2,j) + \gamma_k(i+2,j) \} \\ + \rho_H(i,j) \{ \gamma_k(i,j-2) + \gamma_k(i,j+2) \} + \gamma_k(i,j) \end{array} \right] \quad (5)$$

이 때 ρ_V 와 ρ_H 는 각각 수직방향과 수평방향으로 표현되는 가중치($0 \leq \rho_V, \rho_H \leq 1$)를 의미하고 식 (6), (7)과 같이 구해지며, 이 값들은 식 (8)과 (9)에 소개되는 수평경사도 Γ_H 값과 수직경사도 Γ_V 값에 의해 결정된다.

$$\rho_V(i,j) = \frac{\Gamma_H(i,j)}{\Gamma_H(i,j) + \Gamma_V(i,j)} \quad (6)$$

$$\rho_H(i,j) = 1 - \rho_V(i,j) \quad (7)$$

표 1. R 또는 B위치에서 G성분값을 예측하기 위한 HDDP $d_{H,k}$ 와 VDDP $d_{V,k}$

k	$d_{H,k}$	$d_{V,k}$	k	$d_{H,k}$	$d_{V,k}$
1	-1	0	7	1	-2
2	0	-1	8	2	-1
3	1	0	9	2	1
4	0	1	10	1	2
5	-2	-1	11	-1	2
6	-1	-2	12	-2	1

$$\Gamma_H(i,j) = |L(i+2,j) - L(i,j)| + |L(i+1,j) - L(i-1,j)| + |L(i,j) - L(i-2,j)| \quad (8)$$

$$\Gamma_V(i,j) = |L(i,j+2) - L(i,j)| + |L(i,j+1) - L(i,j-1)| + |L(i,j) - L(i,j-2)| \quad (9)$$

여기서 $L(i,j)$ 는 (i,j) 위치에서의 픽셀의 휘도값을 나타낸다. k번째 방향에서의 거리 가중치 $\mu_k(i,j)$ 와 경사도 $\gamma_k(i,j)$ 는 식 (10), (11)과 같이 구해진다.

$$\mu_k(i,j) = \begin{cases} 1, & k \in \{1, 2, 3, 4\} \\ 0.424, & k \in \{5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12\} \end{cases} \quad (10)$$

$$\gamma_k(i,j) = |L(i + d_{H,k}, j + d_{V,k}) - L(i - d_{H,k}, j - d_{V,k})| + |L(i + 2d_{H,k}, j + 2d_{V,k}) - L(i,j)| + |L(i,j) - L(i - 2d_{H,k}, j - 2d_{V,k})| \quad (11)$$

여기서 식 (10)에 소개된 0.424의 값은 $(1/\sqrt{5})$ 의 근사값을 나타낸다. 이제 B픽셀 또는 R픽셀 위에서의 G값들은 식 (12), (13)과 같이 보간된다.

$$G(i,j) = B(i,j) + \frac{\sum_{k=1}^{12} \delta_k(i,j) \kappa_{B,k}(i,j)}{\sum_{k=1}^{12} \delta_k(i,j)} \quad (12)$$

$$G(i,j) = R(i,j) + \frac{\sum_{k=1}^{12} \delta_k(i,j) \kappa_{R,k}(i,j)}{\sum_{k=1}^{12} \delta_k(i,j)} \quad (13)$$

여기서 $\kappa_{B,k}(i,j)$ 값은 k번째 방향에 있는 이웃 픽셀에서의 G값과 B값의 차이를 나타내고, 마찬가지로 $\kappa_{R,k}(i,j)$ 값은 k번째 방향에 있는 이웃 픽셀에서의 G값과 R값의 차이를 나타낸다. 본 논문에서 $\kappa_{B,k}(i,j)$ 와 $\kappa_{R,k}(i,j)$ 매개변수가 도입된 이유는 G값을 주위 픽셀의 G성분들로부터 유추하는 것보다 현재 가지고 있는 B 또는 R정보로부터 G픽셀값을 유추하는 것이 더 정확하기 때문이다.

$$\kappa_{B,k}(i,j) = G(i + d_{H,k}, j + d_{V,k}) - B(i + d_{H,k}, j + d_{V,k}) \quad (14)$$

$$\kappa_{R,k}(i,j) = G(i + d_{H,k}, j + d_{V,k}) - R(i + d_{H,k}, j + d_{V,k})$$

2.3 G 위치에서의 R과 B성분값 보간과 R과 B 위치에서의 R과 B성분값 보간

G픽셀 위에서의 B성분 값을 보간할 때는 그림 5(a)와 (b)에 표시된 것과 같은 여섯 가지 방향을 고려하여 보간을 수행한다. 보간에 사용되는 수평 이동거리 매개변수 HDDDP $d_{H,k}$ 와 수직 이동거리 매개변수 VDDDP $d_{V,k}$ 는 각각 표 2와 표 3에 나타내었다. 이 때 B성분 값은 식 (15)와 같이 얻어지며, G픽셀 위에서의 R성분 값은 식 (16)과 같이 얻어진다.

$$B(i, j) = G(i, j) - \frac{\sum_{k=1}^8 \delta_k(i, j) \kappa_{B,k}(i, j)}{\sum_{k=1}^8 \delta_k(i, j)} \quad (15)$$

$$R(i, j) = G(i, j) - \frac{\sum_{k=1}^6 \delta_k(i, j) \kappa_{R,k}(i, j)}{\sum_{k=1}^6 \delta_k(i, j)} \quad (16)$$

R, G, B 채널들은 서로 높은 상관도를 가지고 있기 때문에, G 값을 먼저 구한 후에 G값으로부터 R과 B값을 유추하는 것이 R, G, B 값 자체를 각각 구하는 것보다 상대적으로 정확하다. 식 (15), (16)를 통해 G위치에서의 R과 B성분 값들이 이미 보간 되었으므로 R과 B위치에서의 B와 R성분 값의 보간은 그림 5(c), 5(d)와 같이 8방향의 이웃 픽

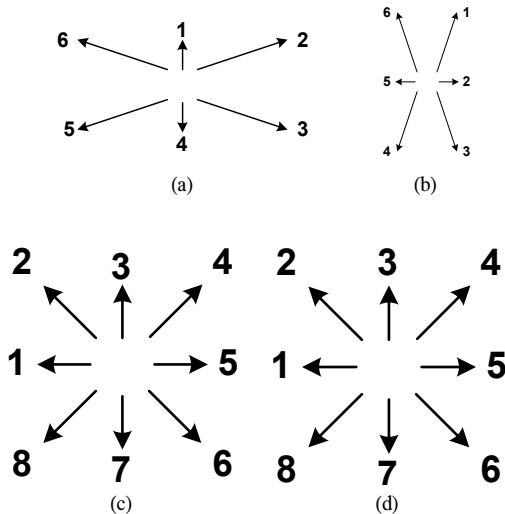


그림 5. (a) G 위치에서의 B성분값 보간을 위한 수평방향, (b) G 위치에서의 B성분값 보간을 위한 수직방향, (c) R위치에서의 B성분값을 보간하기 위한 모든 방향, (d) B위치에서의 R성분값을 보간하기 위한 모든 방향

셀들의 정보를 모두 사용할 수 있다. 또한 k번째 방향에 있는 이웃 픽셀에서의 G값과 B값의 차이를 나타내는 $\kappa_{B,k}(i, j)$ 값과 k번째 방향에 있는 이웃 픽셀에서의 G값과 R값의 차이를 나타내는 $\kappa_{R,k}(i, j)$ 값은 식 (14)에 의해 결정되고 이 때 사용되는 HDDDP $d_{H,k}$ 와 VDDDP $d_{V,k}$ 는 표 4와 표 5에 각각 나타내었다. B성분의 값과 R성분의 값은 식 (17), (18)과 같이 구해진다.

$$B(i, j) = G(i, j) - \frac{\sum_{k=1}^8 \delta_k(i, j) \kappa_{B,k}(i, j)}{\sum_{k=1}^8 \delta_k(i, j)} \quad (17)$$

$$R(i, j) = G(i, j) - \frac{\sum_{k=1}^8 \delta_k(i, j) \kappa_{R,k}(i, j)}{\sum_{k=1}^8 \delta_k(i, j)} \quad (18)$$

표 2. G위치에서 B성분값을 예측하기 위한 HDDDP $d_{H,k}$ 와 VDDDP $d_{V,k}$

k	$d_{H,k}$	$d_{V,k}$	k	$d_{H,k}$	$d_{V,k}$
1	0	-1	4	0	1
2	2	-1	5	-2	1
3	2	1	6	-2	-1

표 3. R위치에서 B성분값을 보간하기 위한 HDDDP $d_{H,k}$ 와 VDDDP $d_{V,k}$

k	$d_{H,k}$	$d_{V,k}$	k	$d_{H,k}$	$d_{V,k}$
1	1	-2	4	-1	2
2	1	0	5	-1	0
3	1	2	6	-1	-2

표 4. R위치에서 B성분값을 보간하기 위한 HDDDP $d_{H,k}$ 와 VDDDP $d_{V,k}$

k	$d_{H,k}$	$d_{V,k}$	k	$d_{H,k}$	$d_{V,k}$
1	-1	0	5	1	0
2	-1	-1	6	1	1
3	0	-1	7	0	1
4	1	-1	8	-1	1

표 5. B위치에서 R성분값을 보간하기 위한 HDDDP $d_{H,k}$ 와 VDDDP $d_{V,k}$

k	$d_{H,k}$	$d_{V,k}$	k	$d_{H,k}$	$d_{V,k}$
1	-1	0	5	1	0
2	-1	-1	6	1	1
3	0	-1	7	0	1
4	1	-1	8	-1	1

III. 실험 결과 및 고찰

제안한 알고리즘의 성능을 평가하기 위해 그림 6에 표현한 것과 같이 KodakCD에 있는 24장의 컬러영상(768 * 512)을 이용하여 객관적, 주관적 화질을 평가하였다^[18]. 제안한 알고리즘은 MS-Windows XP를 탑재한 Pentium IV processor (3.2 GHz)에서 구현하였고, 개발된 프로그램 환경은 Microsoft Visual C++ 2005이다. 실험에서 24개의 테스트 영상들은 모자이크 영상을 얻기 위해 우선 다운 샘플링 처리를 하였다. 본 실험에서는 평가의 공정성을 위해 식 (19) 및 식 (21)과 같이 CPSNR(color peak signal-to-noise ratio)과 S-CIELAB $\Delta E^*_{a,b}$ (Spatial CIELAB DeltaE color difference)^{[6],[16]}를 사용하였다. $W * H$ 크기 컬러 영상의 CPSNR은 식 (19)와 같다.

$$CPSNR = 10 \log_{10} \frac{255^2}{MSE} \quad (19)$$

$$MSE = \frac{1}{3(W \times H)} \sum_{i=0}^{W-1} \sum_{j=0}^{H-1} \sum_{c \in \Xi} [x^c_{ori}(i,j) - x^c_{dm}(i,j)]^2 \quad (20)$$

여기서 $\Xi = \{R, G, B\}$ 이고 $x^R_{ori}(i,j)$, $x^G_{ori}(i,j)$, $x^B_{ori}(i,j)$ 는 (i,j) 위치에서의 세가지 색성분값을 의미한다. 또한 $x^R_{dm}(i,j)$, $x^G_{dm}(i,j)$, $x^B_{dm}(i,j)$ 는 (i,j) 위치에서의 디모자이킹 과정이 수행된 영상의 세가지 색성분값을 의미한다. S-CIELAB $\Delta E^*_{a,b}$ 는 식 (21)과 같이 정의된다.

$$\Delta E^*_{a,b} = \frac{1}{XY} \times \sum_{i=0}^{W-1} \sum_{j=0}^{H-1} \sqrt{\sum_{c \in \Psi} [LAB^c_{ori}(i,j) - LAB^c_{dm}(i,j)]^2} \quad (21)$$

여기서 $\Psi = \{L, a, b\}$ 이고 $LAB^L_{ori}, LAB^a_{ori}, LAB^b_{ori}$ 는 (i,j) 위치에서의 세 개의 CIELAB 색성분값을 나타낸다. 또한 $LAB^L_{dm}, LAB^a_{dm}, LAB^b_{dm}$ 는 (i,j) 위치에



그림 6. 실험에 사용된 영상

서의 디모자이킹 과정이 수행된 영상의 세가지 CIELAB 색성분값을 나타낸다.

표 6과 7은 CPSNR과 S-CIELAB $\Delta E^*_{a,b}$ 의 결과를 나타내고 있으며, 성능이 가장 우수한 CPSNR과 가장 낮은 S-CIELAB $\Delta E^*_{a,b}$ 값을 보이는 알고리즘의 결과 값들은 회색으로 표시했다. 표 6과 7에서 알 수 있듯이 본 논문에서 제안하는 알고리즘이 전반적으로 가장 좋은 성능을 보이고 있다.

그림 7은 주관적 화질 비교를 나타내었다. 다양한 실험 방식 중에서 가장 우수한 성능을 보인 3가지 방식을 비교대상으로 삼았다. 그림 7(a)는 원본 영상을 나타내고, 그림 7(b)는 Ramanath^[4]가 제안한 방식, 그림 7(c)는 Chang이 제안한 linear방식^[9], 그림 7(d)는 Chang의 stochastic방식^[9], 그리고 그림

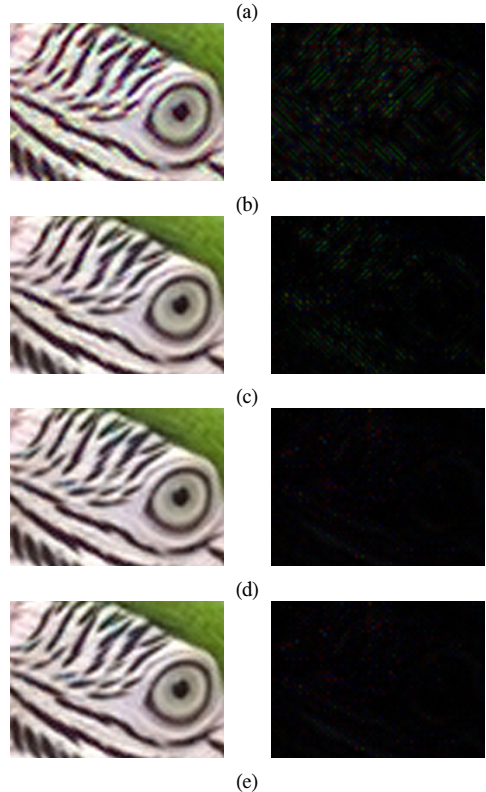


그림 7. 테스트 영상 23에서의 주관적 화질 비교 - 복원된 컬러 영상, 복원된 영상과 원본과의 차이: (a) 원본영상, (b) Ramanath [4], (c) Chang의 linear방식 [9], (d) Chang의 stochastic방식 [9], (e) 제안하는 알고리즘

표 6. 다양한 실험영상에 대한 CPSNR 결과 비교

	Ramana. [4]	Chang linear [9]	Chang Sto. [9]	Proposed	rank
1	31.716	37.019	37.068	37.390	1
2	37.183	37.755	37.826	38.841	1
3	38.161	40.595	40.648	40.853	1
4	36.483	38.644	38.706	39.328	1
5	31.080	35.441	35.505	35.098	3
6	32.866	37.087	37.119	37.499	1
7	36.803	39.896	39.969	40.358	1
8	30.519	33.483	33.553	34.341	1
9	37.855	40.314	40.375	41.052	1
10	37.075	40.010	40.058	39.814	3
11	34.106	37.865	37.918	38.442	1
12	38.503	40.782	40.824	41.577	1
13	28.515	34.134	34.160	34.132	3
14	32.858	34.732	34.823	35.249	1
15	35.761	37.367	37.418	37.929	1
16	36.458	40.010	40.032	40.592	1
17	36.213	40.046	40.084	40.289	1
18	32.210	35.918	35.963	36.273	1
19	35.132	37.948	38.024	39.269	1
20	36.105	39.565	39.614	39.515	3
21	33.039	38.018	38.059	38.203	1
22	34.330	36.731	36.787	37.638	1
23	38.622	40.501	40.572	40.919	1
24	30.694	33.666	33.695	34.089	1
Average	34.679	37.814	37.867	38.279	1

표 7. 다양한 실험영상에 대한 S-CIELAB ΔE_{ab}^* 결과 비교

	Ramana. [4]	Chang linear [9]	Chang Sto. [9]	Proposed	rank
1	3.1352	1.8481	1.8401	1.6072	1
2	2.2812	2.3116	2.2985	1.8988	1
3	1.3749	1.3246	1.3199	1.0879	1
4	2.0647	1.6902	1.6821	1.4056	1
5	4.6985	2.8603	2.8448	2.6094	1
6	2.2974	1.5659	1.5598	1.3213	1
7	1.7633	1.5460	1.5365	1.2975	1
8	3.1818	2.2489	2.2322	1.9096	1
9	1.2174	1.0996	1.0942	0.9036	1
10	1.3095	1.1293	1.1247	0.9457	1
11	2.4805	1.9417	1.9356	1.5947	1
12	1.0429	0.9519	0.9491	0.7634	1
13	4.9865	2.7954	2.7861	2.5233	1
14	3.2344	2.4652	2.4507	2.1247	1
15	2.1810	2.0946	2.0872	1.6849	1
16	1.7824	1.4305	1.4272	1.1661	1
17	2.2654	1.9156	1.9099	1.5713	1
18	3.8771	2.8875	2.8731	2.5004	1
19	2.1488	1.5797	1.5719	1.3365	1
20	1.6833	1.2596	1.2547	1.1268	1
21	2.5235	1.5900	1.5841	1.3808	1
22	2.2442	1.8867	1.8770	1.5851	1
23	1.3184	1.3674	1.3616	1.1346	1
24	2.6392	1.9188	1.9107	1.6255	1
Average	2.4055	1.8212	1.8130	1.5460	1

7(e)는 제안하는 방식이 적용된 실험 결과를 각각 나타낸다. 실험 결과 가장 열화된 화질을 보이는 방식은 그림 7(b)이며, 보간된 컬러 영상을 보면 눈 모양 얼룩 주위에 R, G, B 컬러정보가 잘못 배합된 것을 확인할 수 있다. 또한 영상이 전반적으로 어둡고 눈 부분의 얼룩 주위에 계단현상이 발생한다는 단점과 함께 흰색과 검은색 선의 경계부분에 밝은 부분이 생기는 오류도 볼 수 있다. Chang이 제안한 방식의 결과 영상인 그림 7(d)는 비교 대상 영상들 중 객관적 화질 평가 기준인 CPSNR이 가장 우수했지만 주관적 화질 측면에서는 제안한 알고리즘(그림 7(e))이 우수함을 알 수 있다. 특히 다양한 에지 방향이 혼재해 정확히 색보간을 하기 힘든 영역이라도 제안된 기법은 화질 열화를 최소화하면서 만족할만한 색보간 영상을 제공하는 것을 확인할 수 있었다.

IV. 결 론

본 논문은 CFA 데이터의 색상 보간을 위한 새로운 방법을 제안하였다. 제안한 방법은 컬러 성분 에지 기울기 필터링을 이용한 디모자이킹 알고리즘을 제안하였으며, 먼저 이중선형 보간을 이용해 소실된 색상 성분 값을 예측하고 휘도(L: luminance) 값을 구한 후, 정확한 에지 정보를 추출하였다. 다음에는 구해진 L값을 이용하여 R과 B위치에서 G성분 값을 보간하였고 마지막 단계에서는 보간된 G값을 이용하여 "G위치에서 R과 B성분 보간"과 "R과 B위치에서 B와 R성분 보간" 과정을 차례로 수행하였다. 다양한 테스트 영상을 이용하여 제안된 알고리즘이 기존의 디모자이킹 알고리즘과 비교하여 CPSNR과 S-CIELAB $\Delta E^*_{a,b}$ 이 우수하며, 주관적 화질평가 또한 우수함을 입증하였다.

참 고 문 헌

[1] R. Lukac and K.N. Plataniotis, "Color filter arrays: Design and performance analysis," *IEEE Trans. Consum. Electron.*, Vol.51, No.4, pp.1260-1267, Apr. 2005.

[2] B.E. Bayer, "Color Imaging Array," U.S. Patent 3 971 065, 1976.

[3] J.E. Adams, "Interactions between color plane interpolation and other image processing functions in electronic photography," *Proc.*

SPIE, Vol.2416, pp.144-151, 1995.

[4] B. Ramanath, W.E. Synder, and G.L. Bilbro, "Demosaicking methods for Bayer color array," *Journal of Electronic Imaging*, Vol.11, No.3, pp.306-615, Jul. 2002.

[5] S. Battiato, G. Gallo, and F. Stanco, "A locally adaptive zooming algorithm for digital images," *Image and Vision Computing*, Vol.20, No.11, pp.805-812, Sept. 2002.

[6] S.C. Pei and I.K. Tam, "Effective color interpolation in CCD color filter arrays using signal correlation," *IEEE Trans. Circuits and Systems Video Tech.*, Vol.13, No.6, pp.503-513, June 2003.

[7] R. Lukac, K.N. Plataniotis, D. Hatzinakos, and H. Aleksic, "A novel cost effective demosaicing approach," *IEEE Trans. Consum. Electron.*, Vol.50, No.1, pp.256-261, Feb. 2004.

[8] X. Li, "Demosaicing by successive approximation," *IEEE Trans. Image Process.*, Vol.14, No.3, pp.370-379, Mar. 2005.

[9] H.-A. Chang and H. Chen, "Directionally weighted color interpolation for digital cameras," in *Proc. IEEE ISCAS 2005*, Vol.6, pp.6284-6287, 23-26 May 2005.

[10] X. Wu and L. Zhang, "Joint Spatial-Temporal Color Demosaicking," *Lecture Notes in Computer Science*, Vol.3540, pp.235-252, June 2005.

[11] R. Lukac, K. N. Plataniotis, and D. Hatzinakos, "Color image zooming on the Bayer pattern," *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, Vol.15, No.11, pp.1475 - 1492, Nov. 2005.

[12] L. Zhang and X. Wu, "Color demosaicking via directional linear minimum mean square-error estimation," *IEEE Trans. Image Processing*, Vol.14, No.12, pp.2167-2178, Dec. 2005.

[13] G. Zapryanov and I. Nikolova, "Demosaicing methods for pseudo-random Bayer color filter array," in *Proc. ProRisc 2005*, pp.687-692, 2005.


[14] 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.

- [15] K.H. Chung and Y. H. Chan, C.H. Fu and Y.L. Chan, "A High Performance Lossless Bayer Image Compression Scheme," in Proc. IEEE ICIP 2007, Vol.2, pp.II-353-II-356, Sep 16-19, 2007, San Antonio, Texas, USA.
- [16] K.-L. Chung, W.-J. Yang, W.-M. Yan, and C.-C. Wang, "Demosaicing of color filter array captured images using gradient edge detection masks and adaptive heterogeneity-projection," IEEE Trans. Image Processing, Vol.17, No.12, pp.2356-2367, Dec. 2008.
- [17] D. Alleysson, S. Süsstrunk, and J. Hérault, "Color demosaicing by estimating luminance and opponent chromatic signals in the Fourier domain," in Proc. IS&T/SID 10th Color Imaging Conference, Vol.10, pp.331-336, 2002.
- [18] Available: <http://r0k.us/graphics/kodak/>

전 광 길 (Gwanggil Jeon) 정회원

 2003년 2월 한양대학교 전자전 기컴퓨터공학과
 2005년 2월 한양대학교 전자통신전파공학과 석사
 2008년 8월 한양대학교 전자통신전파공학과 박사
 2008년 9월~2009년 8월 한양대학교 전자통신전파공학과 박사 후 과정

2009년 9월~현재 University of Ottawa, School of Information Technology and Engineering (SITE) 박사 후 과정
 <관심분야> 영상처리, 인공지능, 화질개선, 영상압축

정 태 영 (Tae-young Jung) 정회원

 2007년 2월 홍익대학교 전자전 기공학, 컴퓨터공학과
 2009년 2월 한양대학교 전자통신전파공학과 석사
 2009년 2월~현재 한양대학교 전자통신전파공학과 박사 과정

<관심분야> 디모자이킹, 차세대 비디오 코덱을 위한 알고리즘

김 동 형 (Donghyung Kim) 정회원

 1999년 2월 충북대학교 전자공학과 공학사
 2001년 8월 충북대학교 전자공학과 공학석사
 2007년 2월 한양대학교 전자통신전파공학과 공학박사
 2007년 8월 한양대학교 BK21 Post Doc.

2008년 8월 한국전자통신연구원 선임연구원
 2008년 8월~현재 한라대학교 정보통신방송공학부 전임강사
 <관심분야> 영상처리, 영상압축

김 승 종 (Seungjong Kim) 정회원

 1992년 2월 한양대학교 자연과학대학 수학과 이학사(부전공 전자공학)
 1994년 2월 한양대학교 대학원 전자통신공학과 공학석사
 2000년 2월 한양대학교 대학원 전자통신공학과 공학박사

2000년~2001년 (주)Vision Interactive 선임연구원
 2000년~현재 한양여자대학교 컴퓨터정보과 부교수
 <관심분야> 디지털 신호처리, 디지털 통신, 이미지/비디오 처리 및 압축

정 제 창 (Jechang Jeong) 정회원

 1980년 2월 서울대학교 전자공학과 졸업
 1982년 2월 KAIST 전기전자공학과 (석사)
 1990년 미국 미시간대학 전기공학과 (공학박사)
 1980~1986 KBS 기술연구소

연구원(디지털 TV 및 뉴미디어 연구)
 1991~1995 삼성전자 멀티미디어 연구소 (MPEG, HDTV, 멀티미디어 연구)
 1995~현재 한양대학교 전자통신컴퓨터공학과 교수 (영상통신 및 신호처리 연구실)
 1998년 11월 27일 과학기술자상 수상
 1998년 12월 31일 정보통신부장관상 표창
 <관심분야> 영상처리, 영상압축