

논문 2010-47SP-4-6

웨이블릿 영역에서 색차를 이용한 디모자이킹 방법

(Demosaicking Method Using Color Difference in Wavelet Domain)

정 보 규*, 성 영 민*, 김 병 철**, 엄 일 규***

(Bo Gyu Jeong, Young Min Seong, Byung Chul Kim, and Il Kyu Eom)

요 약

본 논문에서는 웨이블릿 영역에서 색차를 이용한 효과적인 디모자이킹 방법을 제안한다. 저주파 영역의 웨이블릿 계수는 관찰된 고주파 계수를 이용한 에지 방향적인 보간에 의해 구해진다. 손실된 고주파 계수는 추정된 저주파 계수에 의해 얻어진다. 고주파수 영역에서 결함을 줄이고 시각적인 질을 향상시키기 위해서 웨이블릿 영역에서 색차 방법을 이용하여 고주파수 계수를 업데이트 한다. 웨이블릿 영역에서 제안한 디모자이킹 방법을 시뮬레이션하고, 기존의 디모자이킹 방법들과 비교를 하였다. 실험 결과를 통해 제안 방법이 향상된 디모자이킹 결과를 발생시킨다는 것을 보여주었다.

Abstract

In this paper, we present an efficient demosaicking method using the difference between color channels in the wavelet domain. In our method, the low frequency wavelet coefficients are obtained by an edge-directive interpolation using the observed high frequency coefficients. The missing high frequency coefficients are obtained by the estimated low frequency coefficients. In order to reduce artifacts in high frequency domain and to improve visual quality, we update the high frequency coefficient using the color difference rule in the wavelet domain. We simulate our demosaicking method in the wavelet domain and compare our algorithm to the existing demosaicking schemes. Experimental results illustrate that the proposed method can generate enhanced demosaicking results.

Keywords: demosaicking, wavelet, color filter array, color difference

I. 서 론

디지털 스틸 카메라는 필름의 불필요와 촬영 즉시의 활용성과 같은 장점으로 인해서 기존의 필름 카메라 시장을 대체하면서 급속도로 성장해 왔다. 이러한 디지털 영상 획득 장치들은 비용과 제작상의 문제를 해결하기 위해서 하나의 CCD(Charged-Coupled Device) 센서나 CMOS(Complementary Metal Oxide Semiconductor) 센서를 사용한다. 완전한 컬러 영상을 얻기 위해서는

세 가지의 센서가 필요하지만 비용 상의 문제 때문에 일반적으로 하나의 센서만을 사용한다. 따라서 하나의 CCD나 CMOS 센서에 특별한 장치가 필요한데, 이것을 CFA(Color Filter Array)라 부른다. 그림 1에서 보여지는 것이 가장 흔하게 사용되는 베이어 CFA 패턴

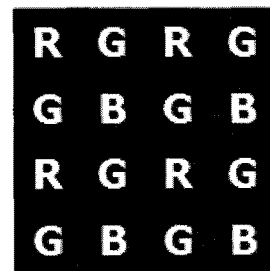


그림 1. 베이어 CFA 패턴
Fig. 1. Bayer CFA pattern.

* 학생회원, *** 정회원-교신저자, 부산대학교 전자전기공학부

(School of Electrical Engineering, Pusan National University)

** 정회원, 부산대학교 바이오메디컬공학과
(Department of Biomedical Engineering,
Pusan National University)

접수일자: 2010년1월5일, 수정완료일: 2010년4월23일

(Bayer cfa pattern)^[11] 이다. 그림 1에서 보는 바와 같이 CFA 필터는 세 가지의 컬러를 교대로 받아 들이게 되고, 그 결과 컬러 정보를 가지지 않는 화소들이 존재하게 된다. CFA 패턴을 각 채널 별로 분리 해보면 컬러 정보를 가지지 않는 화소가 존재하게 된다. 이러한 컬러 정보를 가지지 않은 위치에 컬러 정보를 찾아서 완전한 컬러 영상으로 만드는 과정을 디모자이킹이라고 한다.

현재까지 수많은 향상된 디모자이킹 기술이 제안되어왔다. 크게 채널내의 정보를 이용하는 방법^[2~3]과 채널간의 정보를 이용하는^[7~9, 12~13] 방법으로 분류할 수 있다. 초창기에 사용된 디모자이킹 방법이 채널내의 정보만을 이용해서 잃어버린 컬러 정보를 보간하는 방법이 주류를 이루었다. 이 방법들은 간단하면서도 빠르게 구현이 가능하다는 장점이 있는 반면에, 영상의 에지와 같이 많은 정보를 가진 곳에서는 잘못된 색상(color error), 지퍼 효과(zipper effect), 프린지 효과(fringe effect)와 같은 컬러 결함을 동반하게 된다.

채널간의 정보를 이용하는 디모자이킹 방법들은 공간 영역과 주파수 영역으로 더 세분화 시킬 수 있으며 앞의 방법들 보다 더 나은 화질을 보여준다. 공간 영역에서의 대표적인 디모자이킹 방법으로는 에지의 방향을 고려한 방법^[12~13]과 컬러의 비나 차값을 이용한 방법들^[7, 9]이 있다. 전자의 경우는 에지 지시기(indicator)를 사용하여 에지의 방향 (수평 또는 수직)을 측정 한 후 에지를 피하는 방향으로 보간해주는 방법이다. 후자의 방법은 영상의 물체 내에서 채널간의 높은 상관성이 있다는 사실을 바탕으로 컬러 정보간의 차이 값이나 비 값을 이용해서 비어있는 컬러 정보를 찾아주는 방법이다.

주파수 영역에서의 대표적인 디모자이킹 방법은 Gunturk^[17]등이 제시한 방법이 있는데, 이 방법은 공간 상에서의 방법을 이용해서 잃어버린 컬러값을 구한 후 주파수 영역에서 레드와 블루 채널의 고주파 성분들을 제약조건(constraint sets)이 만족 될 때까지 반복적으로 사영(projection)하는 방법이다. 흔히 이 과정을 교대 사영(Alternating projection)이라고 부른다. 이와 같은 반복적인 방법이 좋은 성능을 보이지만, 계산상의 효율성이 떨어지게 된다.

Gunturk의 논문을 위시하여 최근에 주파수 영역의 다양한 이점들을 사용하는 많은 연구가 행해져오고 있다^[11, 15, 26~28]. Xin Li는 잘못된 컬러 정보를 줄이기 위해 공간 적응적인 정지 기준(stopping criterion)을 제안

했다^[11]. Li chen은 변형된 미디언 필터링 연산을 웨이블릿 부대역(subband) 영역에 적용하는 방법을 제안했다^[27]. 이러한 방법들은 여전히 에지 부분에서 잘못된 정보를 가진다는 단점이 있다.

본 논문에서는 다른 단계의 웨이블릿 계수들 간에 높은 상관성이 있다는 가정을 전제로 하여 새로운 디모자이킹 방법을 제안한다. 제안 방법에서 고주파 계수의 정보를 향상시키기 위해서 다른 단계의 고주파계수의 색차(color difference)을 이용하였다. 실험 결과는 주관적인 부분과 객관적인 부분 모두에서 다른 디모자이킹 방법들보다 우수하다는 것을 보여준다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장은 웨이블릿 영역에서의 디모자이킹 방법을 설명하고, III장에서는 제안 알고리즘을 설명한다. IV장에서는 제안된 방법을 이용하여 보간된 영상을 주관적이고 객관적인 측면 모두에서 기존의 방법들과의 성능을 비교하고, V장에서 결론을 맺는다.

II. 웨이블릿 영역에서의 디모자이킹

D 를 영상의 색 요소(color component)라 하면, $D \in R, G, B$ 이다. 각각의 색 요소는 그림 2와 같이 4개의 다운샘플(down sampled)된 영상으로 나누어질 수 있다. 다운샘플된 영상은 폴리페이즈(polyphase)변환에 의해 만들어진다. 그러므로 D 를 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$D = D_1 + D_2 + D_3 + D_4. \tag{1}$$

그림 2에서 보여 지는 바와 같이 디모자이킹은 관찰된 값 $\{R_1, G_2, G_3, B_4\} \in O$ 으로부터 측정값

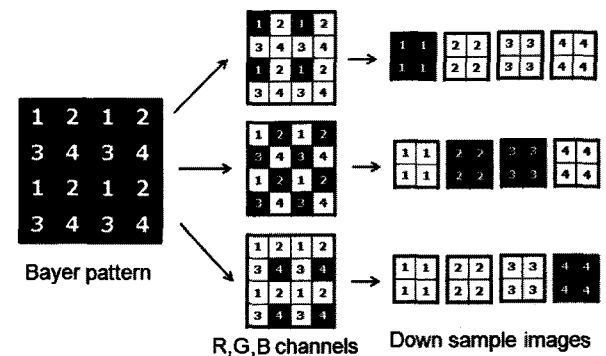


그림 2 다운샘플된 영상
Fig. 2. Downsampled (DS) images.

$\{R_2, R_3, R_4, G_1, G_4, B_1, B_2, B_3\} \in E$ 을 구하는 보간의 과정으로 볼 수 있다.

공간 영역에서는 추출할 수 없는 통계적 특성을 웨이블릿 변환 영역에서는 쉽게 추출할 수 있다. 각 컬러들 간의 상관관계를 웨이블릿 영역에서 효과적으로 이용할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 다음과 같이 영상을 웨이블릿 변환하여 디모자이킹에 사용한다. 즉,

$$O \rightarrow [W_o^{LL}, W_o^{LH}, W_o^{HL}, W_o^{HH}], \quad (2)$$

여기서 W_o^{LL} 는 저주파 계수, $W_o^{LH}, W_o^{HL}, W_o^{HH}$ 는 각각 수평, 수직, 대각 방향을 나타내는 고주파 계수이다. 웨이블릿 영역에서의 디모자이킹은 관찰된 웨이블릿 계수 값 ($W_o^{LL, LH, HL, HH}$)으로부터 웨이블릿 계수 값 ($W_E^{LL, LH, HL, HH}$)을 추정하는 것이 된다.

III. 제안된 디모자이킹 방법

1. 에지 방향을 이용한 저주파 계수의 추정(G 채널)

원 영상을 웨이블릿 변환했을 때 에너지의 대부분을 저주파 부밴드에서 가지고 있다. 또한 저주파 부밴드는 원 영상이 저해상도로 근사화된 것으로 볼 수 있다. 따라서 본 논문에서는 저주파 계수를 추정하기 위하여 에지 적응적인 보간법을 사용한다. 일반적인 에지 적응적 보간 방법은 영상의 차이, 또는 미분값을 이용하여 에지의 방향을 결정하고, 이 방향에 대한 보간을 수행한다. 웨이블릿 영역에서 고주파 부대역은 공간 영상의 에지에 대한 정보를 가지고 있다. 그러므로 본 논문에서

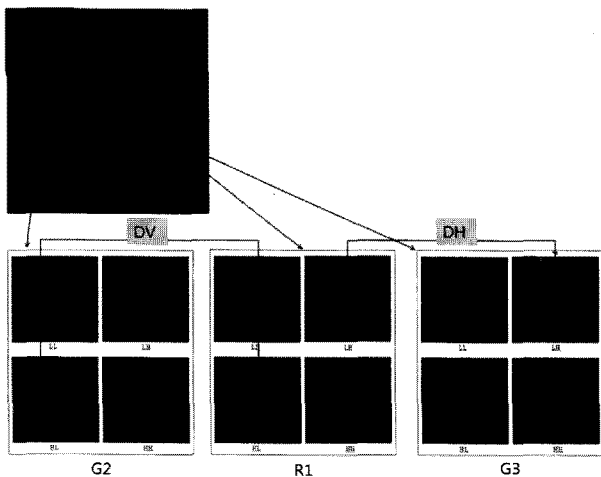


그림 3. 에지 지시기를 구하는 방법
Fig. 3. The method for calculating edge indicators.

서는 에지 적응적 보간을 위한 에지 지시기를 구하여 위하여 고주파 계수를 사용하고자 한다.

먼저 그림 3에서 보는 바와 같이 베이어 패턴은 $\begin{pmatrix} R_1 & G_3 \\ G_3 & R_1 \end{pmatrix}$ 의 형태로 구성되어 있다. R_1 의 자리에 위치할 웨이블릿 영역에서의 G_1 의 저주파 계수값을 추정하기 위하여 이미 알고 있는 R_1, G_2, G_3 에 대한 웨이블릿 고주파 계수를 사용한다. 위치 (i, j) 에서 $W_{G_1}^{LL}$ 의 값을 추정하기 위한 수평방향 및 수직방향의 에지 지시기를 각각 $DH_{G_1}(i, j)$ 및 $DV_{G_1}(i, j)$ 라고 하면,

$$DH_{G_1}(i, j) = |W_{G_3}^{LH}(i, j)| + |W_{G_3}^{LH}(i-1, j)| + |W_{R_1}^{LH}(i, j)|, \quad (3)$$

$$DV_{G_1}(i, j) = |W_{G_2}^{HL}(i, j)| + |W_{G_2}^{HL}(i, j-1)| + |W_{R_1}^{HL}(i, j)|. \quad (4)$$

즉, 수평방향의 에지 지시기 $DH_{G_1}(i, j)$ 를 구하기 위해서는 G_3 및 R_1 에 대한 수평 방향의 웨이블릿 계수를 사용하고, $DV_{G_1}(i, j)$ 를 구하기 위해서는 G_3 및 R_1 의 수직 방향의 웨이블릿 계수를 사용한다. 그림 3은 이러한 과정을 나타내고 있다.

식 (3), (4)를 통해 구해진 에지 지시기를 이용하여 다음과 같이 G_1 의 저주파 계수를 추정할 수 있다. 먼저 수평 방향의 에지가 많은 경우 즉, $DH_{G_1}(i, j) > DV_{G_1}(i, j)$ 일 때는 G_2 및 R_1 를 사용하여 다음과 같이 수평 방향으로 보간을 수행한다.

$$\begin{aligned} \tilde{W}_{G_1}^{LL}(i, j) = & \frac{W_{G_2}^{LL}(i, j) + W_{G_2}^{LL}(i, j-1)}{2} \\ & + \frac{2W_{R_1}^{LL}(i, j) - W_{R_1}^{LL}(i, j-1) - W_{R_1}^{LL}(i, j+1)}{4} \end{aligned} \quad (5)$$

다음으로 수직 방향의 에지가 클 경우 즉, $DH_{G_1}(i, j) < DV_{G_1}(i, j)$ 일 때에는 수직 방향의 보간을 다음과 같이 수행한다.

$$\begin{aligned} \tilde{W}_{G_1}^{LL}(i, j) = & \frac{W_{G_3}^{LL}(i, j) + W_{G_3}^{LL}(i-1, j)}{2} \\ & + \frac{2W_{R_1}^{LL}(i, j) - W_{R_1}^{LL}(i-1, j) - W_{R_1}^{LL}(i+1, j)}{4} \end{aligned} \quad (6)$$

$DH_{G_1}(i, j) = DV_{G_1}(i, j)$ 인 경우는 배경 영역으로 간주할 수 있다. 따라서 보간은 식 (5)와 (6)의 평균값을 취해 구한다. 즉,

$$\begin{aligned} \widetilde{W}_{G_4}^{LL}(i,j) = & \frac{W_{G_2}^{LL}(i,j) + W_{G_3}^{LL}(i,j) + W_{G_2}^{LL}(i,j-1) + W_{G_3}^{LL}(i-1,j)}{4} \\ & + \frac{2W_{R_1}^{LL}(i,j) - W_{R_1}^{LL}(i-1,j) - W_{R_1}^{LL}(i+1,j)}{8} \\ & + \frac{2W_{R_1}^{LL}(i,j) - W_{R_1}^{LL}(i,j-1) - W_{R_1}^{LL}(i,j+1)}{8} \end{aligned} \quad (7)$$

다음으로 B_4 의 자리에 위치할 웨이블릿 영역에서의 G_4 의 저주파 계수값을 추정하기 위해서 베이어 패턴으로부터 얻어진 G_2, G_3, B_4 에 대한 웨이블릿 고주파 계수를 사용한다. 위치 (i,j) 에서 $W_{G_4}^{LL}$ 의 값을 추정하기 위한 수평방향 및 수직방향의 에지 지시기 $DH_{G_4}(i,j)$ 및 $DV_{G_4}(i,j)$ 를 각각 다음과 같이 구할 수 있다.

$$DH_{G_4}(i,j) = |W_{G_2}^{LH}(i,j)| + |W_{G_2}^{LH}(i+1,j)| + |W_{B_4}^{LH}(i,j)|, \quad (8)$$

$$DV_{G_4}(i,j) = |W_{G_3}^{HL}(i,j)| + |W_{G_3}^{HL}(i,j+1)| + |W_{B_4}^{HL}(i,j)| \quad (9)$$

G_4 에 대한 웨이블릿 저주파 계수 $\widetilde{W}_{G_4}^{LL}(i,j)$ 은 수평방향 에지가 강할 경우 즉, $DH_{G_4}(i,j) > DV_{G_4}(i,j)$ 다음과 같이 추정할 수 있다.

$$\begin{aligned} \widetilde{W}_{G_4}^{LL}(i,j) = & \frac{W_{G_2}^{LL}(i,j) + W_{G_3}^{LL}(i,j+1)}{2} \\ & + \frac{2W_{B_4}^{LL}(i,j) - W_{B_4}^{LL}(i,j-1) - W_{B_4}^{LL}(i,j+1)}{4} \end{aligned} \quad (10)$$

수직 방향의 에지가 클 경우 즉, $DH_{G_4}(i,j) < DV_{G_4}(i,j)$ 일 때에는 수직 방향의 보간은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \widetilde{W}_{G_4}^{LL}(i,j) = & \frac{W_{G_2}^{LL}(i,j) + W_{G_2}^{LL}(i+1,j)}{2} \\ & + \frac{2W_{B_4}^{LL}(i,j) - W_{B_4}^{LL}(i-1,j) - W_{B_4}^{LL}(i+1,j)}{4} \end{aligned} \quad (11)$$

또한 평탄 영역으로 판정될 경우 즉, $DH_{G_4}(i,j) = DV_{G_4}(i,j)$ 일 때 G_4 에 대한 웨이블릿 저주파 계수 다음과 같이 수평 및 수직 방향에 대한 평균값으로 구해진다.

$$\begin{aligned} \widetilde{W}_{G_4}^{LL}(i,j) = & \frac{W_{G_2}^{LL}(i,j) + W_{G_3}^{LL}(i,j) + W_{G_2}^{LL}(i+1,j) + W_{G_3}^{LL}(i,j+1)}{4} \\ & + \frac{2W_{B_4}^{LL}(i,j) - W_{B_4}^{LL}(i-1,j) - W_{B_4}^{LL}(i+1,j)}{8} \\ & + \frac{2W_{B_4}^{LL}(i,j) - W_{B_4}^{LL}(i,j-1) - W_{B_4}^{LL}(i,j+1)}{8} \end{aligned} \quad (12)$$

2. 색차 방법을 이용한 저주파 계수의 추정 (R, B 채널)

색차 방법은 주어진 영상 영역 경계 내에서 색의 차이가 거의 일정하다는 가정에 근거하고 있다. 즉,

$$D - D' = \text{constant}, \quad (13)$$

여기서 D 및 D' 은 컬러 채널을 나타낸다. 위와 같은 관계를 이용하여 웨이블릿 저주파 대역의 R 채널 및 B 채널의 값을 추정할 수 있다. 이 방법은 많은 디모자이킹 방법에서 일반적으로 사용되고 있으며, 본 논문에서는 색차 방법을 이용한 컬러값을 추정을 웨이블릿 저주파 대역에 적용하여 었다.

먼저 R 레드 채널의 잃어버린 저주파수 계수를 구하기 위하여 G 채널의 값과 알고 있는 R 채널의 값 (R_1)의 색차를 다음과 같이 정의한다.

$$WD_{G_4, R_1}^{LL}(i,j) = W_{R_1}^{LL}(i,j) - \widetilde{W}_{G_4}^{LL}(i,j), \quad (14)$$

식 (14)의 색차값을 이용하여 세 개의 R 채널값을 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} \widetilde{W}_{R_2}^{LL}(i,j) = & W_{G_2}^{LL}(i,j) + \frac{1}{2} WD_{R_2, G_4}^{LL}(i,j) + \frac{1}{2} WD_{R_2, G_4}^{LL}(i,j+1) \end{aligned} \quad (15)$$

$$\begin{aligned} \widetilde{W}_{R_3}^{LL}(i,j) = & W_{G_3}^{LL}(i,j) + \frac{1}{2} WD_{R_3, G_4}^{LL}(i,j) + \frac{1}{2} WD_{R_3, G_4}^{LL}(i+1,j) \end{aligned} \quad (16)$$

$$\begin{aligned} \widetilde{W}_{R_4}^{LL}(i,j) = & \widetilde{W}_{G_4}^{LL}(i,j) + \frac{1}{4} WD_{R_4, G_4}^{LL}(i,j) + \frac{1}{4} WD_{R_4, G_4}^{LL}(i,j+1) \\ & + \frac{1}{4} WD_{R_4, G_4}^{LL}(i+1,j) + \frac{1}{4} WD_{R_4, G_4}^{LL}(i+1,j+1) \end{aligned} \quad (17)$$

B 채널에서는 $W_{B_4}^{LL}$ 를 알고 있기 때문에 G_4 채널의

값과 알고 있는 B_4 채널의 값에 대한 색차를 다음과 같이 정의한다.

$$WD_{G_3, B_4}^{LL}(i, j) = W_{B_4}^{LL}(i, j) - \widetilde{W}_{G_3}^{LL}(i, j), \quad (18)$$

B 채널의 컬러값들 ($W_{B_1}^{LL}, W_{B_2}^{LL}, W_{B_3}^{LL}$)은 R 채널의 값을 추정하는 방법으로 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \widetilde{W}_{B_1}^{LL}(i, j) &= \widetilde{W}_{G_1}^{LL}(i, j) + \frac{1}{4} WD_{B_1, G_1}^{LL}(i, j) + \frac{1}{4} WD_{B_1, G_1}^{LL}(i, j-1) \\ &+ \frac{1}{4} WD_{B_1, G_1}^{LL}(i-1, j) + \frac{1}{4} WD_{B_1, G_1}^{LL}(i-1, j-1) \end{aligned} \quad (19)$$

$$\begin{aligned} \widetilde{W}_{B_2}^{LL}(i, j) &= W_{G_2}^{LL}(i, j) + \frac{1}{2} WD_{B_2, G_2}^{LL}(i, j) + \frac{1}{2} WD_{B_2, G_2}^{LL}(i-1, j) \end{aligned} \quad (20)$$

$$\begin{aligned} \widetilde{W}_{B_3}^{LL}(i, j) &= W_{G_3}^{LL}(i, j) + \frac{1}{2} WD_{B_3, G_3}^{LL}(i, j) + \frac{1}{2} WD_{B_3, G_3}^{LL}(i, j-1) \end{aligned} \quad (21)$$

3 고주파수 계수의 추정

일반적으로 DS 영상에서 고주파 웨이블릿 계수들 간의 상관성이 저주파 계수들 보다 아주 높게 나타난다.^[17, 28~29] 이러한 관계를 이용하여 웨이블릿 영역 디모자이킹에서 고주파 계수를 추정하기 위하여 'replace rule' 또는 'max rule'을 사용한다. 'replace rule'은 알고 있는 크기로 대처하는 방법이고, 'max rule'은 G 채널을 고주파 계수값과 R 또는 B 채널값 중에서 큰 값을 선택하는 방법이다. 본 논문에서는 고주파 계수값을 추정하기 위하여 'replace rule'을 사용하였다.

본 논문에서는 'replace rule'에 의해서 추정된 고주파 계수값을 보다 정교하게 추정하기 위하여 고주파 부밴드에 대한 색차 방법을 제안한다. 즉, 웨이블릿 영역의 고주파 계수는 각 컬러값에 대한 웨이블릿 필터링 즉, 일반적으로 FIR(Finite Impulse Response) 필터에 의해서 구해진다. 식 (13)의 색차 관계는 컬러값이 FIR 필터를 거치더라도 그대로 유지된다^[11]. 이러한 관계를 이용하기 위하여 본 논문에서는 1단계의 저주파수 부밴드의 계수들을 다음과 같 한 번 더 웨이블릿 분해를 수행한다.

$$W_O^{LL} \rightarrow [W_O^{LL2}, W_O^{LH2}, W_O^{HL2}, W_O^{HH2}] \quad (22)$$

여기서 W_O^{LL2} 와 $W_O^{LH2}, W_O^{HL2}, W_O^{HH2}$ 는 각각 2단계의 저주파 계수와 고주파 계수를 나타낸다. 이 계수를 이용하여 G 채널의 고주파 계수는 다음과 같이 더 정교하게 업데이트 될 수 있다.

$$\widetilde{W}_{G_1}^{LH}(i, j) = \widetilde{W}_{G_1}^{LH2}(i, j) + (W_{R_1}^{LH}(i, j) - W_{R_1}^{LH2}(i, j)) \quad (23)$$

$$\widetilde{W}_{G_1}^{HL}(i, j) = \widetilde{W}_{G_1}^{HL2}(i, j) + (W_{R_1}^{HL}(i, j) - W_{R_1}^{HL2}(i, j)) \quad (24)$$

여기서 대각 방향 즉, HH 부밴드에 대한 것은 거의 영향을 주지 않기 때문에 적용하지 않는다. 나머지 채널들도 이와 유사한 방법을 사용하여 고주파 계수값을 업데이트 시켜준다. 이 방법은 기존의 방법들보다 효율적이면서 좋은 결과를 보여주고 있다. 특히, 텍스트와 같은 부분에서 향상을 보여준다.

IV. 실험 결과

본 논문에서는 디모자이킹을 수행하기 위하여 Le Gall의 언데시메이트된(undecimated) JPEG2000 5/3 웨이블릿 필터를 사용하였다. 이 필터는 웨이블릿 변환을 이용한 디모자이킹 방법에 많이 사용되었기 때문에 다른 방법과의 비교를 위하여 본 논문에서 사용하였다. Le Gall의 필터는 저주파 필터로써 $h_0 = [1 \ 2 \ 1]/4$ 와 $g_0 = [-1 \ 2 \ 6 \ 2 \ -1]/8$ 를 사용하고, 고주파 필터로 $h_1 = [1 \ -2 \ 1]/4$ 와 $g_1 = [1 \ 2 \ -6 \ 2 \ 1]/8$ 를 사용한다.

본 논문에서는 그림 4에서 보여 지는 것과 같이

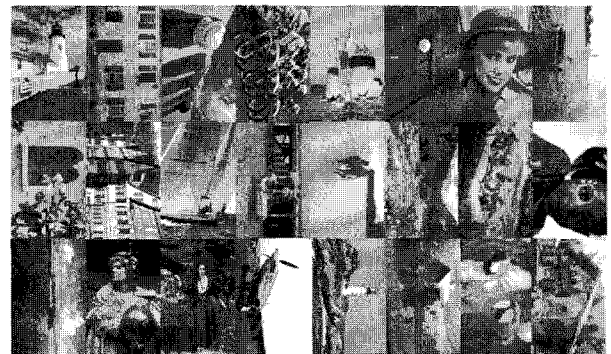


그림 4. Kodak Photo CD Photo Sampler의 24개 영상 (영상의 번호는 1부터 24, 순서는 왼쪽에서 오른쪽, 위에서 아래로)

Fig. 4. 24 images from Kodak Photo CD Photo Sampler, 1991, Images are numbered from 1 to 24, in order of left-to-right, top-to-bottom.

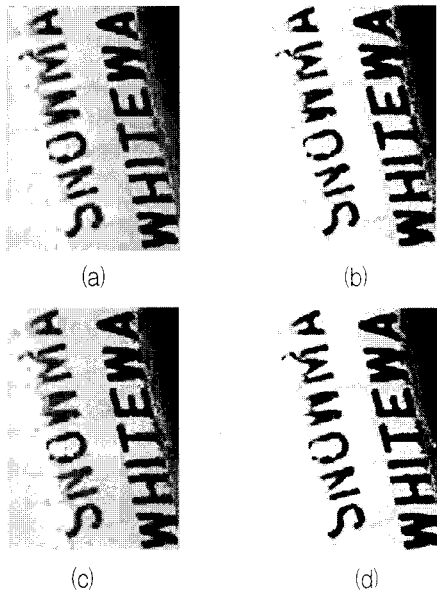


그림 5. 디모자이킹 결과
(a) 원본 영상(#15), (b) Gunturk's 방법^[17],
(c) Jung's 방법^[28], (d) 제안 방법

Fig. 5. The demosaicking results, (a) original image (#15), (b) Gunturk's method^[17], (c) Jung's method^[28], (d) the proposed method. 512×768의 크기를 가지는 24장의 Kodak Photo CD 영상을 테스트 영상으로 사용하였다^[6]. 제안한 알고리즘의 성능을 테스트하기 위하여 객관적인 방법과 주관적인 방법 모두를 이용하였다. 현재까지 제안된 방법들과 비교를 위하여 객관적인 성능 테스트 척도인 PSNR(Peak Signal to Noise Ratio)을 사용하였다.

표 1은 기존의 방법들과 제안한 방법을 24의 영상에 적용하여 각 영상에 대한 PSNR의 향상 정도를 객관적으로 보여준다. 각 행에서 가장 좋은 성능을 나타내는 값을 볼드체(bold font)를 사용하였다. 대부분의 행에서 제안된 방법의 우수함을 다시 한 번 확인할 수 있다. 이들 표와 제시된 그림을 바탕으로 제안 방법은 효율적이면서 객관적인 측면에서도 우수한 성능을 가진다는 것을 알 수 있다.

그림 5(a)는 래프팅(raffing)하는 영상(#15)의 원본 이미지로써 고무보트의 텍스트 부분을 확대한 것이다. 그림 5(b),(c)는 기존의 제안된 방법을 이용해 디모자이킹을 수행한 영상이며, 그림 5(d)는 제안된 방법에 의한 것이다. 'WHITEWA'라는 텍스트를 보면 기존의 방법들은 텍스트뿐만 아니라 주위의 배경에서도 제대로된 색 정보를 가지지 못해서 왜곡된 현상을 보이는 반면 제안된 방법에서는 이러한 현상을 거의 찾아보기가 힘들다. 또한 그림 6은 경비행기 영상(#20)으로 텍스트의

표 1. 다양한 디모자이킹 방법에 대한 PSNR 값
Table 1. PSNR values for various demosaicking methods.

Image No.	[17]	[11]	[27]	[28]	Proposed method
1	39.747	40.171	40.019	40.638	40.405
2	36.834	38.395	37.168	38.738	38.205
3	40.321	40.286	40.337	41.563	42.285
4	37.003	36.398	36.952	37.847	38.387
5	41.302	41.850	41.344	42.216	42.711
6	38.157	38.226	38.010	38.326	39.547
7	39.282	39.900	39.100	40.121	40.961
8	37.805	38.924	38.132	40.159	39.847
9	40.793	40.725	40.647	41.602	42.617
10	35.074	36.059	35.428	36.408	35.977
11	40.946	41.483	40.912	42.273	42.641
12	38.924	39.227	39.061	39.911	39.941
13	41.271	42.400	41.338	43.105	43.499
14	34.348	35.315	34.824	35.613	34.759
15	35.504	34.818	35.206	35.916	37
16	37.400	38.208	37.27	38.770	39.44
17	40.310	40.432	40.591	43.815	43.551
18	40.691	41.191	40.821	42.182	41.969
19	36.685	36.851	36.732	37.330	37.168
20	39.263	39.217	39.298	40.665	40.771
21	38.680	39.231	38.96	39.788	39.364
22	38.022	37.854	37.928	38.076	38.365
23	41.779	40.151	41.614	40.165	40.914
24	34.728	35.059	34.804	35.176	38.892
Average (24)	38.536	38.849	38.604	39.600	39.800

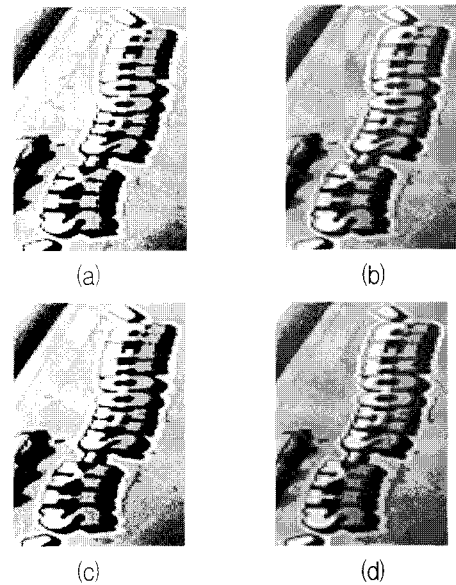


그림 6. 디모자이킹 결과
(a) 원본 영상(#20), (b) Gunturk's 방법^[17],
(c) Jung's 방법^[28], (d) 제안 방법

Fig. 6. The demosaicking results, (a) original image (#20), (b) Gunturk's method^[17], (c) Jung's method^[28], (d) the proposed method.

부근의 전반적인 부분들이 기존의 방법들 보다 우수함을 보여준다.

V. 결 론

본 논문은 웨이블릿 영역에서 CFA 디모자이킹 방법을 제안했다. 각 컬러 채널을 Polyphase를 통해서 다운 샘플링 하고 저주파 영역에서 에지의 방향을 고려해 보간을 하였다. 고주파 영역에서는 저주파 대역을 한 번 더 분해하여 이전 단계에서 측정된 값과 색차를 이용하여 보다 정교한 디모자이킹을 수행하였다. 제안된 알고리즘은 웨이블릿 기반의 디모자이킹에서 주로 사용하는 후처리를 사용하지 않기 때문에 계산상의 효율성을 가지고 있으며 기존 방법과 비교하여 객관적인 측면 및 주관적인 측면에서 우수한 성능을 보여주었다.

참 고 문 헌

- [1] B. Bayer, Color imaging array, U. S. Patent No. 3,971,065 (1976).
- [2] D. Cok, Signal processing method and apparatus for sampled color signal, U. S. Patent 4,642,678, (1987).
- [3] J. Adams, K. Parulski, and K. Spaulding, "Color processing in digital cameras," IEEE Micro, vol. 18, no. 6, pp.20-30, Nov.-Dec. 1988
- [4] Keys, Robert.G. et.al., "Cubic Convolution Interpolation for Digital Image Processing IEEE Transactions on Acoustic, Speech and Signal Processing, vol.29, pp.1153-1160, 1981.
- [5] J. E. Adams Jr, Interactions between color plane interpolation and other image processing functions in electronic photography, proc, SPIE, (2416), 144-151 (1995).
- [6] <http://www.site.uottawa.ca/~edubois/demosaicking/>
24 images from KODAK Photo CD Photo Sampler, 1991.
- [7] R. Kimmel, Demosaicking: Image reconstruction from color CCD samples, IEEE Transaction. Image Processing, 8, 1221-1228, (1999).
- [8] W. Lu and Y.-P Tan, Color filter array demosaicking: New method and performance measures, IEEE Transaction on Image Process, 12(10), 1194-1210 (2003).
- [9] S. C. Pei and I. K. Tam, effective color interpolation in ccd color filter arrays using signal correlation, IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 12(6), 503-513 (2003).
- [10] J. W. Glotzbach, R. W. Schafer, and K. Illgner, A method of color filter array interpolation with alias cancellation properties, IEEE international conference, Image Processing, 1, 141-144 (2001).
- [11] X. Li, Demosaicking by successive approximation, IEEE Transaction on Image Processing, 14(3), 370-379 (2005).
- [12] Claude. A. Laroche and Mark. A. Prescott, Apparatus and method for adaptively interpolating a full color image utilizing chrominance gradients, U. S. Patent 5,373,322, (1994).
- [13] J. F. Hamilton and J.E. Adams, Adaptive color plan interpolation in single sensor color electronic a camera, U. S. Patent 5,629,734 (1997).
- [14] R. Kakarala and Z. Baharav, Adaptive demosaicking with the principal vector method, IEEE Transaction Consumer Electronics, 48(6), 932-937 (2002).
- [15] Li Chen, Kim-Hui Yap, Yu He, Color Filter Array Demosaicking Using Wavelet-Based Subband Synthesis, IEEE International Conference on Image Processing, 2, 1002-1005 (2005).
- [16] J. Driesen, P. Scheunders, Wavelet-based Color Filter Array demosaicking, IEEE International Conference on Image Processing, 5, 3311-3314 (2004).
- [17] B. K. Gunturk, Y. Altubasak, and R. M. Mersereau, Color Plane interpolation using alternating projection, IEEE Transactions on image Processing, 11(9), 2002.
- [18] X.Wu, W.K. Choi, and P. Bao, Color restoration from digital camera data by pattern matching, Proc. SPIE, 3018, 12-17 (1997).
- [19] E. Chang, S. Cheung, and D. Pan, Color filter array recovery using a threshold-based variable number of gradients, Pro. SPIE, 3650, 1999, 36-43.
- [20] X. Li and M. Orchard, New edge directed interpolation, in Proc. IEEE International Conference, Image Processing, 2, 2000, 311-314.
- [21] S.Mallat, "Multifrequency channel decompositions of images and wavelet models". IEEE Trans, Acous. Speech Sig. Proc., vol. 37, 12, 1989, pp 2091-2110
- [22] "Recommendations on Uniform Color Space,

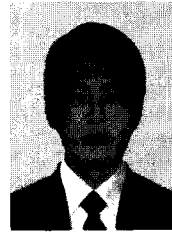
- Color Difference Equation, Psychometric Color Terms," C.I.E, Supplement no.2 to CIE publication no. 15(E-131) 1971/(TC-1.3), 1978
- [23] C. Y. Tsai, and K. T. Song, "Heterogeneity-Projection Hard-Decision Color Interpolation Using Spectral-Spatial Correlation," IEEE Transactions on Image Processing, vol.16, no.1, pp.78-91, 2007.
- [24] X. Wu, and N. Zhang, "Primary-Consistent Soft-Decision Color Demosaicking for Digital Cameras," IEEE Transactions on Image Processing, vol.13, no.9, pp.1263-1274, 2004.
- [25] D. Menon, S. Andriani, and G. Calvagno, "Demosaicing with Directional Filtering and a Posteriori Decision," IEEE Transactions on Image Processing, vol.16, no.1, pp.132-141, 2007.
- [26] K. H. Chung, and Y. H. Chan, "Color Demosaicing Using Variance of Color Difference," IEEE Transactions on Image Processing, vol.15, no.10, pp.2944-2955, 2006.
- [27] Li Chen, Kim-Hui Yap, Yu He, "Subband Synthesis for Color Filter Array Demosaicking," IEEE Trans. Systems, Man and Cybernetics, Part A, Vol.38, Issue2, pp. 485-492, March 2008
- [28] Bo Gyu Jeong, Sueng Hwa Hyun, Il Kyu Eom, "Edge adaptive demosaicking in wavelet domain," 9th International Conference on Signal Processing 26-29 Oct. 2008 Page(s):836 - 839 I.

 저 자 소 개



정 보 규(학생회원)
 2006년 부경대학교 전기공학과
 학사 졸업.
 2009년 부산대학교 전자전기공학
 과 석사 졸업.
 2009년 부산대학교 전자전기
 공학과 박사과정.

<주관심분야 : 영상처리, 디모자이킹, 웨이블릿
 변환 신호처리>



성 영 민(학생회원)
 2008년 동의대학교 전자공학과
 학사 졸업.
 2010년 부산대학교 전자전기
 공학과 석사 졸업.
 <주관심분야 : 영상처리, 디모자이
 킹>



김 병 철(정회원)
 1994년 영남대학교 전자공학과
 학사 졸업
 1996년 영남대학교 전자공학과
 석사 졸업
 1999년 영남대학교 전자공학과
 박사 졸업

현재 부산대학교 바이오메디컬공학과 부교수
 <주관심분야 : 무선통신시스템, 의용공학>



엄 일 규(정회원)-교신저자
 1990년 부산대학교 전자공학과
 학사 졸업.
 1992년 부산대학교 전자공학과
 석사 졸업.
 1998년 부산대학교 전자공학과
 박사 졸업.

현재 부산대학교 전자전기공학부 교수
 <주관심분야 : 통계신호처리, 영상처리, 웨이블릿
 변환 신호처리, 신경회로망>