

논문 2017-54-4-9

컬러 필터 어레이 영상에 대한 공동의 컬러보간과 임의 배율 다운샘플링 알고리즘

(Joint Demosaicking and Arbitrary-ratio Down Sampling Algorithm for Color Filter Array Image)

이 민 석*, 강 문 기**

(Min Seok Lee and Moon Gi Kang[Ⓢ])

요 약

본 논문은 컬러 필터 어레이 (CFA) 영상에 대한 공동의 컬러보간(Demosaicking)과 임의 배율의 다운샘플링(arbitrary-ratio down sampling) 알고리즘을 제시한다. 컬러보간은 단일 센서를 사용하는 다양한 영상 저장 시스템에서 영상 신호 처리 파이프라인의 필수적인 부분이다. 또한, 스마트폰과 같은 소구경 카메라 시스템에서는 영상 센서에서 획득되는 고해상도 영상이 보다 작은 해상도의 영상으로 스크린에 다운샘플링되어 디스플레이 된다. 기존 방법에서는 이러한 과정들을 거치기 위해 “컬러보간 후 다운샘플링” 모듈의 순서대로 영상을 처리하게 된다. 하지만 이러한 독립적이고 순차적인 방법은 많은 메모리 소모와 계산량을 필요로 하게 되고, 또한 영상 처리 과정에서 아티팩트(artifact)가 발생하여 영상 디테일의 손상을 가져오게 된다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 컬러보간과 다운샘플링을 동시에 동작하도록 하는 알고리즘을 제안한다. 제안하는 방법에서는 입력되는 컬러 필터 영상으로부터 고주파 및 저주파 성분으로 신호를 분해하는 방법에 기초하여 임의 배율에서 컬러 필터 영상으로 역 사상(inverse mapping)을 하고 컬러보간 및 다운샘플링을 동시에 수행하게 된다. 제안하는 알고리즘은 종래의 기술보다 더 나은 영상 품질 성능을 나타내면서 동시에 보다 적은 계산량이 필요로 하는 것을 보여준다.

Abstract

This paper presents a joint demosaicking and arbitrary-ratio down sampling algorithm for color filter array (CFA) images. Color demosaicking is a necessary part of image signal processing pipeline for many types of digital image recording system using single sensor. Also, such as smart phone, obtained high resolution image from image sensor has to be down-sampled to be displayed on the screen. The conventional solution is “Demosaicking first and down sampling later”. However, this scheme requires a significant amount of memory and computational cost. Also, artifacts can be introduced or details get damaged during demosaicking and down sampling process. In this paper, we propose a method in which demosaicking and down sampling are working simultaneously. We use inverse mapping of Bayer CFA and then joint demosaicking and down sampling with arbitrary-ratio scheme based on signal decomposition of high and low frequency component in input data. Experimental results show that our proposed algorithm has better image quality performance and much less computational cost than those of conventional solution.

Keywords : 컬러 필터 어레이 영상(CFA image), 컬러보간(demosaicking), 임의배율 다운샘플링(arbitrary-ratio down sampling)

* 학생회원, ** 정회원, 연세대학교 전기전자공학과
(Department of Electrical and Electronic Engineering,
Yonsei University)

Ⓢ Corresponding Author(E-mail : mkang@yonsei.ac.kr)
※ 이 논문은 2017년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로
한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업
업임(No. 2015R1A2A1A14000912)

Received ; November 11, 2016 Revised ; March 17, 2017

Accepted ; March 21, 2017

I. 서 론

디지털 영상 기록 시스템은 스마트폰 카메라, DSLR, 캠코더 등 많은 영상 장치에 사용되고 있다. 이러한 대부분의 카메라는 세 가지 컬러(R, G, B)를 획득할 수 있는 3-CCD/CMOS 영상 센서 대신에 한 픽셀에서 각기 다른 컬러 정보를 획득할 수 있는 단일 CCD/CMOS

영상 센서를 사용하고 있다. 단일 영상 센서는 그림 1에서 보이는 것과 같이 베이어(Bayer) 패턴 컬러 필터 배열^[1]을 가진 단일 영상 센서를 사용한다. 단일 영상 센서는 컬러 성분의 절반은 휘도(luminance) 정보로써 G 채널을 할당하고, 나머지 컬러 정보가 균일하게 R, B 채널에 할당되어 있다. 이러한 단일 영상 센서는 한 픽셀에서 한 가지 컬러 정보만 획득하기 때문에 다른 두 가지 컬러 정보를 추정해야 하는데 이 과정을 컬러보간(color demosaicking)이라고 한다^[2~3, 10~11]. 컬러보간 과정 이외에도, 영상 리사이징(resizing)은 또 다른 중요한 문제이다. 기존의 리사이징 연구에서는 주로 베이어 패턴 컬러 필터 영상에서 영상 확대과정(zooming)에 초점을 맞추어 진행되었다^[4]. 이러한 접근 방식은 영상 확대와 컬러보간 프로세스가 동시에 동작함으로써, 각각 개별적으로 동작하는 것에 비해 더 나은 성능을 가진다고 제안하고 있다. 최근 영상 다운샘플링(down sampling)이라 불리는 영상축소과정 과 컬러보간을 결합한 알고리즘이 제안되었으나 정수배율의 축소에 국한되어 있다^[5].

현재 디지털 영상 기록 장치는 대부분 높은 해상도의 영상을 획득하기 위해 다수의 메가 픽셀 영상 센서를 사용하고 있다. 영상 센서의 크기는 높은 해상도의 영상(예, 16M pixel)을 획득하고 있지만, 스마트 폰 및 디지털 카메라와 같은 휴대용 디지털 기기는 상대적으로 낮은 해상도(예, QHD)를 갖는 디스플레이를 갖고 있다. 센서로부터 획득된 높은 해상도의 영상은 영상 저장 장치와는 별도로 스크린에 디스플레이 되기 위해 다운샘플링 되어 센서의 해상도보다 낮은 해상도로 표시된다. 또한, 사용자가 용량 등의 문제로 원래의 센서 크기 만큼의 해상도에 비해 낮은 해상도를 갖는 영상으로 저장하기를 원할 경우에도 다운샘플링 과정이 필요하게 된다. 이러한 이유들로 인해 영상 크기를 줄이는 다운샘플링 과정은 중요한 이슈로 부각되고 있다. 베이어 컬러 패턴을 갖는 영상 센서에서 다운샘플링 된 풀컬러 영상을 생성하는 기존 방법은 “컬러보간 이후 다운샘플링” 되는 과정을 거치게 된다. 하지만, 이러한 과정에서는 대표적으로 두 가지 문제가 발생하게 된다. 첫 번째로, 베이어 컬러 패턴을 가진 영상 센서의 컬러 아티팩트(artifact)가 컬러보간과 다운샘플링 과정을 각각 거치는 과정에서 증폭, 확산되어 영상의 품질을 떨어뜨리게 된다. 그 결과 영상의 고주파 영역에 해당하는 에지, 디테일에서 손상이 발생하게 된다. 두 번째로, 많은 메모리 사용 및 소비 전력이 고해상도 영상을 센서에서 획득, 저장하는 과정과 알고리즘을 각각 적용하는 과정에

서 요구된다는 점이다. 이러한 이유로 본 논문에서는 컬러보간과 다운샘플링을 동시에 진행하는 방법을 제안하고자 한다. 베이어 컬러 필터 배열 영상의 휘도 성분을 추정하여 고주파 성분과 저주파 성분으로 나누어 컬러보간과 다운샘플링을 진행하고, 여기서 발생하는 아티팩트는 휘도성분의 에지 정보로부터 보상하는 과정을 거치게 된다. 특히 정수배율 뿐만 아니라 실수배율에서도 동작할 수 있도록 하는 것이 제안하는 알고리즘의 또 다른 장점이다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 먼저 영상 휘도 성분 추정 모델 및 신호 융합 방법에 대해 설명하고, 이어서 컬러보간과 다운샘플링에 대해 차례로 설명한다. 또한 발생하는 에지에서의 아티팩트를 바로 잡는 방법에 대해 설명한다. III장에서는 다양한 영상에 대한 실험 결과 및 기존 알고리즘과의 비교를 제공한다. 마지막으로 IV장에서 논문의 결론을 제시한다.

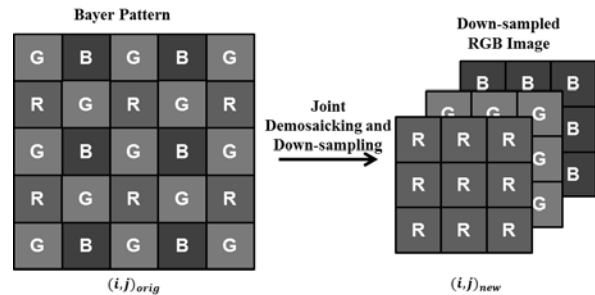


그림 1. 컬러보간과 다운샘플링 동시 접근법
Fig. 1. Joint demosaicking and down sampling approach.

II. 본 론

1. 휘도 성분 추정 및 신호 융합

본 논문에서는 임의 배율의 다운샘플링을 컬러보간 과정과 동시에 진행되는 알고리즘을 제안한다. 이를 위해 첫 번째로, 베이어 컬러 패턴에서 영상 크기와 같은 해상도를 지닌, 고주파 정보가 많은 휘도 정보를 추정한다. 베이어 컬러 패턴에서 서브 샘플된(sub sampled) R, G, B 컬러 신호는 주파수 분석을 통해 다음의 매트릭스(Matrix)와 같은 수식^[6]으로 휘도 성분 Y와 색차 성분 C1, C2로 추정할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} Y \\ C1 \\ C2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/4 & 1/2 & 1/4 \\ -1/4 & 1/2 & -1/4 \\ -1/4 & 0 & 1/4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_{CFA} \\ G_{CFA} \\ B_{CFA} \end{bmatrix} \quad (1)$$

본 논문에서는 고주파 정보가 많은 샤프한 휘도 성분

을 추정하기 위해 다음의 수식과 같이 sinc 함수를 콘볼루션(convolution) 하여 리샘플링(resampling)하는 과정을 거치게 된다.

$$Y = \left(\frac{1}{4}R_{CFA} + \frac{1}{2}G_{CFA} + \frac{1}{4}B_{CFA} \right) * \text{sinc}(\omega_c) \quad (2)$$

여기서, 컷오프 주파수인 ω_c 는 sinc 함수의 샤프니스를 조절하는 정도의 파라미터로 사용된다.

제안하는 방법에서는, 위와 같이 추정된 휘도 성분으로부터 다운샘플링 된 영상에 비해 상대적으로 풍부한 고주파 정보를 얻게 되는데, 신호 분해 방법을 기초로 하여 추정된 고주파 신호를 융합하여 고해상도의 신호를 얻게 된다. 신호 분해 방법은 영역 적응적 융합 알고리즘^[6]에 기초하여, 각각의 컬러 정보는 고주파 신호와 저주파 신호로 분해 될 수 있고 각각의 컬러의 고주파 신호는 같은 공간의 휘도의 고주파 성분과 유사한 경향을 보임을 다음의 식 (6), (7)과 같이 가정할 수 있다.

$$R^h \approx G^h \approx B^h \approx kY^h \quad (3)$$

$$X = X^h + X^l \approx kY^h + X^l, \quad X \in \{R, G, B\} \quad (4)$$

따라서 베이어 컬러 패턴 입력 영상에서 추정할 수 있는 풀 컬러 신호 $\hat{X}, X \in \{R, G, B\}$ 는 다음의 수식과 같이 추정된 휘도 신호 Y의 고주파 정보와 입력 영상의 저주파 정보로 분해하여 융합할 수 있다.

$$\hat{X} = k(Y - \text{low}(Y)) + \text{low}(X_{CFA}), \quad X \in \{R, G, B\} \quad (5)$$

여기서, $(Y - \text{low}(Y))$ 는 휘도 신호의 고주파 성분을 나타내고, $\text{low}(X_{CFA})$ 는 입력되는 베이어 패턴에서 컬러 신호의 저주파 성분을 나타낸다. 이때, $\text{low}(\cdot)$ 연산자는 입력 영상의 위치에서 평균값으로 저주파 성분을 추정한다. 제안하는 알고리즘에서는 수식 (8)에 기반한 추정된 휘도 정보와 신호 융합을 바탕으로 다운샘플링과 컬러보간이 동시에 진행된다.

2. 컬러보간과 다운샘플링

제안하는 방법은 역방향 매핑(inverse mapping)을 통한 영상 축소 방법으로 다운샘플링을 하는 것이다. 역방향 매핑은 실제 구현에서 많이 사용하며 목적영상의 각 위치를 스캔하면서 해당 목적 영상으로 매핑되는 원영상상의 좌표를 계산하여 해당 픽셀값을 가져오면 되기 때문이다. 또 다른 방법으로는 순방향 매핑(forward

mapping)이 있는데, 순방향 매핑에서는 목적 영상 상에서 공백이나 과도한 충돌 등이 발생하게 되어, 추가적으로 이 공백을 채우거나 충돌을 해결하는 기법을 사용해야 한다. 제안하는 방법에서는 해당하는 영상 상의 좌표가 정수가 아니라 실수 값인 경우가 많은 임의배율(arbitrary ratio)으로 해당 지점의 픽셀값을 결정할 때, 다음의 수식과 같이 k:1 배율에서 역방향 매핑으로 원영상상의 좌표가 설정된다.

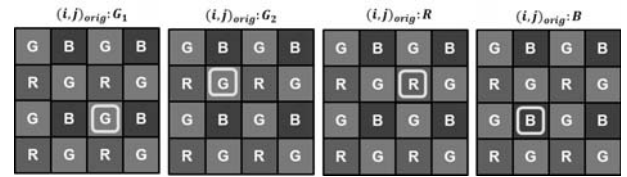


그림 2. 4가지 경우의 원 영상상의 좌표

Fig. 2. Four possible cases of original pixel positions.

$$(i_{orig}, j_{orig}) = \left(\frac{1}{k} \times i_{new}, \frac{1}{k} \times j_{new} \right) \quad (6)$$

여기서 (i_{orig}, j_{orig}) 은 베이어 패턴 입력의 원영상의 좌표이고, (i_{new}, j_{new}) 은 목적 영상인 풀 컬러 영상의 대상 화상의 픽셀을 나타낸다. 이때, 원영상의 입력 특성이 베이어 패턴 영상이므로, 스캔된 원영상상의 좌표 값은 그림 2와 같은 네 가지 종류의 케이스(G_1, G_2, R, B)가 가능하다. 베이어 패턴 입력 영상에서의 알고리즘은 원영상상의 좌표 값의 컬러 종류에 각각 다르게 처리해야 한다. 이는 둘러싸고 있는 주변 픽셀 값의 컬러정보가 각기 다르기 때문이다. 다운샘플링과 컬러보간 알고리즘은 식 (5)의 신호 융합 방법과 같이 $\text{low}(\cdot)$ 연산을 베이어 패턴 입력과 추정된 휘도 신호에 원영상상의 좌표 (i_{orig}, j_{orig}) 을 중심으로 주변 서포트 S 안에서 평균값을 구하여 다음의 수식과 같이 구할 수 있다.

$$\hat{R}_{CI}^{ds}(i_{new}, j_{new}) = \alpha \left\{ Y(i_{orig}, j_{orig}) - \left(\sum_{(m,n) \in S_R} Y(m,n) \right) / n(S_R) \right\} + \left(\sum_{(m,n) \in S_R} R_{CFA}(m,n) \right) / n(S_R) \quad (7)$$

$$\hat{G}_{CI}^{ds}(i_{new}, j_{new}) = \alpha \left\{ Y(i_{orig}, j_{orig}) - \left(\sum_{(m,n) \in S_G} Y(m,n) \right) / n(S_G) \right\} + \left(\sum_{(m,n) \in S_G} G_{CFA}(m,n) \right) / n(S_G) \quad (8)$$

$$\hat{B}_{CI}^{ds}(i_{new}, j_{new}) = \alpha \left\{ Y(i_{orig}, j_{orig}) - \left(\sum_{(m,n) \in S_B} Y(m,n) \right) / n(S_B) \right\} + \left(\sum_{(m,n) \in S_B} B_{CFA}(m,n) \right) / n(S_B) \quad (9)$$

여기서, S_R, S_G, S_B 는 R, G, B 각 채널에서 역방향 매핑 될 화소 (i_{orig}, j_{orig})의 국부 영역을 의미하고, $n(S_R), n(S_G), n(S_B)$ 는 그 영역 안에서의 픽셀 개수를 의미한다. 아래 그림 3은 역방향 매핑 될 원 영상 상의 좌표가 G_1 의 위에 있을 경우에 컬러보간이 진행될 때 위의 수식에서 R, G, B 각 채널에서의 서포트 S를 베이어 패턴 입력과 추정된 휘도 Y에서 같은 색으로 표시하여 나타낸 것이다. G_1 위치 이외의 G_2, R, B 위치에서도 마찬가지로 각각의 서포트가 결정되고 보간될 픽셀 값이 수식을 통해 구해진다. 결론적으로, 공동의 다운샘

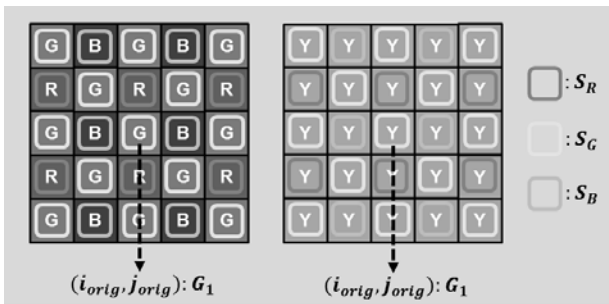


그림 3. G_1 위치에서의 다운샘플링 서포트
Fig. 3. The support of G_1 position to be downsampled.

플링과 컬러보간 과정은 위의 수식과 예시 그림에서와 같이 $low(\cdot)$ 연산이 같은 픽셀 위치에서의 컬러 채널과 휘도 성분과 같은 서포트 S 내에서 적용되어 저주파 신호와 고주파 신호로 분해된다. 즉, 다운샘플링과 컬러보간된 $\hat{R}_{CI}^{ds}, \hat{G}_{CI}^{ds}, \hat{B}_{CI}^{ds}$ 값은 앞서 추정된 샤프한 휘도 성분의 고주파 정보와 컬러의 저주파 정보를 융합하여 최종 신호 값을 추정하게 된다.

3. 다운샘플된 영상의 에지 보정

본 논문의 주요 장점은 임의 배율에 대한 다운샘플링을 진행하면서 동시에 컬러보간을 한다는 점이다. 하지만 다운샘플링하는 과정에서 에지 방향과 영역 특성을 고려하지 않기 때문에 에지영역에서의 아티팩트(artifact)가 많이 발생하게 된다. 이러한 아티팩트들을 제거하기 위해 제안하는 방법에서는 다운샘플된 풀 컬러 영상에서 추가적으로 에지 보정 방법을 통해 고화질의 영상을 얻고자 한다.

관심있는 에지 영역에서의 에지 방향은 작은 마스크 내의 방향 벡터(gradient vector)들의 평균값에 직교(orthogonal)하는 특성^[7]이 있다. 본 논문에서는 에지 방향의 추정은 추정된 휘도 신호에서 다음의 비용 함수(cost function)의 최소화 과정을 통해

$$\begin{aligned} cost(\vec{d}) &= \sum \vec{d} \cdot \vec{Y}(m,n)^2 \\ &= \vec{d} \vec{C} \vec{d} = [m \ n] \begin{bmatrix} c_{00} & c_{01} \\ c_{10} & c_{11} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} m \\ n \end{bmatrix} \\ &= c_{00}m^2 + (c_{01} + c_{10})mn + c_{11}n^2 \end{aligned} \quad (10)$$

여기서, $\vec{d}=[m \ n]^T$ 는 현재 픽셀에서의 벡터 값을 의미하고, \vec{Y} 는 추정된 휘도성분의 방향 벡터를 의미하고, 현재 픽셀에서의 공분산(covariance) C는 다음의 수식과 같이 정의된다.

$$\begin{bmatrix} c_{00} & c_{01} \\ c_{10} & c_{11} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum Y_v \times Y_v & \sum Y_v \times Y_h \\ \sum Y_v \times Y_h & \sum Y_h \times Y_h \end{bmatrix} \quad (11)$$

여기서, Y_v, Y_h 는 휘도 신호에서 각각 수직과 수평방향으로의 편도함수(derivative)를 나타낸다. \vec{d} 벡터는 에지 방향과 수직을 나타내며(gradient 벡터와 평행), 그러한 경우 $cost(\vec{d})$ 는 큰 값을 반환하고 그 반대의 경우는 작은 값을 반환한다. 이러한 특성을 활용하여 다운샘플된 컬러 영상에서 에지 방향에 대한 가중치를 다음의 가우시안 커널을 활용하여 구할 수 있다.

$$w(m,n) = \exp\{-cost(\vec{d})/h\} \quad (12)$$

여기서, h 값은 미리 설정된 값으로 가우시안 커널의 기울임 정도를 컨트롤할 수 있다. 가우시안 커널을 적용하여 추정된 가중치는 에지의 방향을 따라 큰 값이 할당되도록 설계되었다. 다운샘플된 풀 컬러 영상에서 에지 아티팩트는 앞서 설계된 가중치를 적용하여 다음의 수식과 같이 에지 보정 과정을 통과하게 된다.

$$\begin{aligned} \hat{X}_{CI}^{Ez}(i_{new}, j_{new}) &= \sum_{(m,n) \in S} w(m,n) \hat{X}_{CI}^{ds}(i_{new}+m, j_{new}+n) \\ , X \in \{R, G, B\} \end{aligned} \quad (13)$$

다운샘플된 풀 컬러 영상은 에지 방향에 따라서는 주변의 아티팩트를 커널을 통과해 필터링 해주게 되어 제거해 주게 된다. 그 결과 에지 영역에서 흔히 발생하는 계단 현상과 같은 아티팩트가 제거되어 깨끗한 품질의 영상을 획득하게 한다.

III. 실험

제안하는 알고리즘을 코닥 영상과 실제 카메라로 촬영한 영상에 적용하여 기존 방법들과 비교 분석하였다.

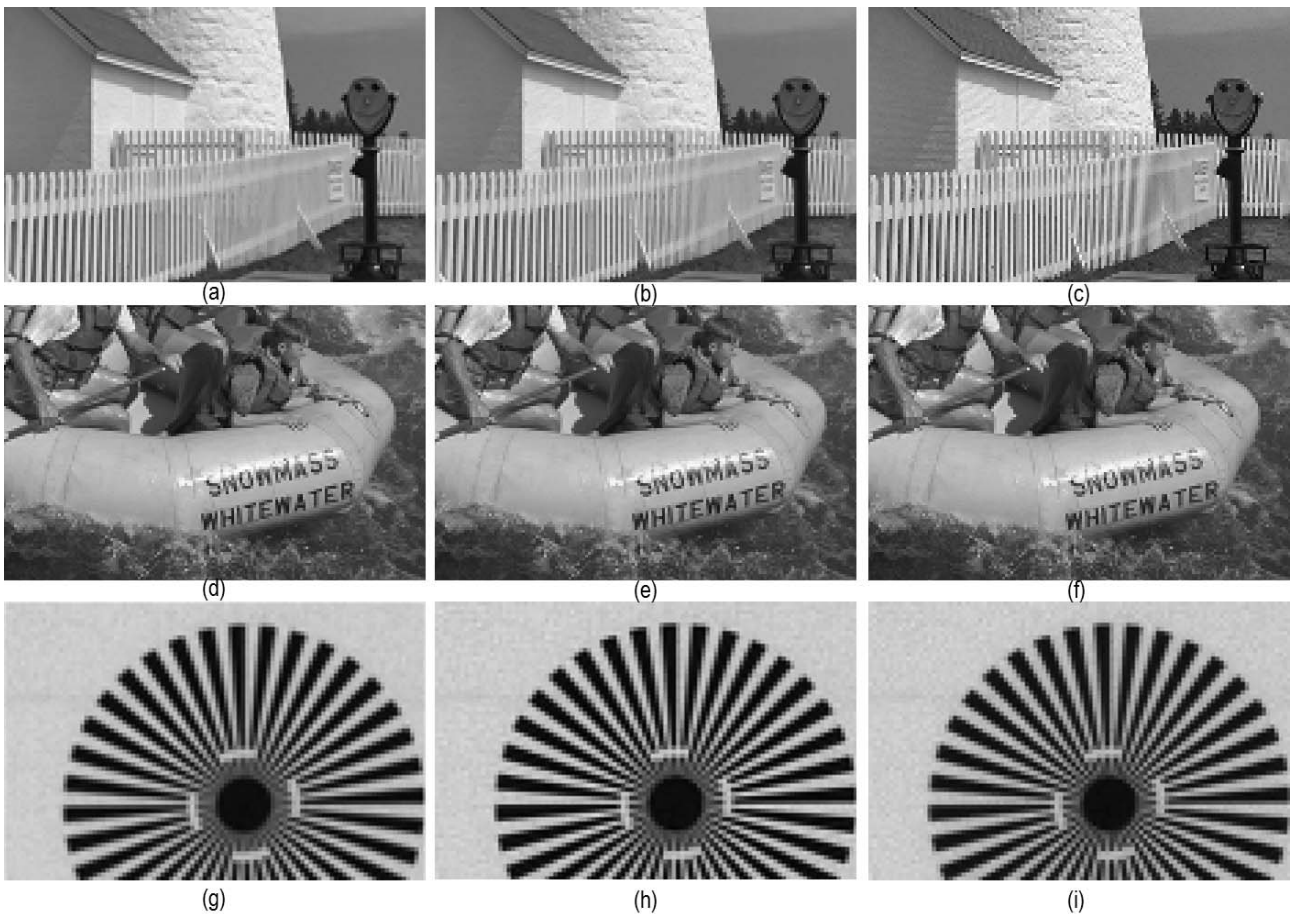


그림 4. “Kodak19”영상에 (a) “컬러보간^[3] 후 다운샘플링^[9]” 방법, (b) “공동의 컬러보간과 정수배율 다운샘플링^[5]”방법, (c) 제안하는 방법을 적용해 비교함, “Kodak14”영상에 (d) “컬러보간^[3] 후 다운샘플링^[9]” 방법, (e) “공동의 컬러보간과 정수배율 다운샘플링^[5]”방법, (f) 제안하는 방법을 적용해 비교함, 또한 실제영상에 (g) “컬러보간 후 다운샘플링” 방법, (h) “공동의 컬러보간과 정수배율 다운샘플링”방법, (i) 제안하는 방법을 적용해 비교함

Fig. 4. Experimental results for “Kodak19” using (a) “Demosaicking^[3] first and Down sampling^[9] later” method, (b) “joint demosaicking and integer-ratio down sampling^[5]”, and (c) the proposed method. And experimental results for “Kodak14” using (d) “Demosaicking^[3] first and Down sampling^[9] later” method, (e) “joint demosaicking and integer-ratio down sampling^[5]”, and (f) the proposed method. And results for real image using (g) “Demosaicking^[3] first and Down sampling^[9] later” method, (h) “joint demosaicking and integer-ratio down sampling^[5]”, and (i) the proposed method.

기존의 방법으로는 “컬러보간 후 다운샘플링” 방법과 “공동의 컬러보간과 정수배율 다운샘플링” 방법을 적용하였다. 이때, 컬러보간 방법으로는 최근 많은 연구가 진행된 방향 선형 최소 평균 제곱 오차 추정(Directional Linear Minimum Mean Square-Error Estimation)을 사용한 컬러보간^[3] 방법을 적용하였으며, 영상 축소 방법은 대표적인 리사이징 방법인 바이 큐빅(Bicubic) 방법^[9]을 적용하였다. 본 논문과 비슷한 접근 방법인 컬러보간과 다운샘플링을 동시에 수행하는 알고리즘으로 정수 배율에만 적용되는 다운샘플링^[5]방법과 비교 하였다. 실험 영상으로는 그림 4에서 보는 바와 같이 대표적인 코닥 영상들과 실제 카메라 센서로 촬영한 해상도 차트

영상으로 테스트 하였다. 먼저, 코닥 영상은 512×728 영상을 1/2배 축소하였고 카메라로 촬영한 영상은 1920×1080 영상을 1/2배 각각 알고리즘들로 축소하였다. 그림 4의 실험 영상 (a), (b), (c)를 보면, 고주파 정보가 많은 펜스 부분에서 제안하는 방법이 컬러 엘리어싱과 같은 아티팩트가 적으면서 해상도의 손실이 적게 나타난다. 그리고 영상 (d), (e), (f)에서 글자 부분에서 제안하는 방법을 적용시켰을 때, 좀 더 선명하고 깨끗한 영상을 얻을 수 있었다. 또한 실제 영상에 알고리즘을 적용시킨 부분을 보면 원 영상 상에 검은색으로 나타나야 할 부분이 아티팩트로 인해 다른 색으로 보이는 화질 열화가 (g), (h)영상에서는 보이지만 제안하는 방법을

적용한 (i)영상을 보면 좋은 품질의 영상이 나타나는 것을 확인 할 수 있다.

그림 5와 표 1은 제안하는 방법에 대해 코닥영상과 실제 영상에 대한 실험 수치비교이다. 그림 5에서는 코닥 영상 전체 셋트에 대해서 알고리즘을 비교, 분석 하였다. 코닥 영상들과 실제영상에서 테스트 한 결과 PSNR의 측면에 있어서 제안하는 방법은 기존 방법들에 비해 평균적으로 1dB 이상 향상시켰다. 기존 연구들의 결과와 비교해 보았을 때, 제안하는 방법은 수치적인 측면과 가시적인 측면 모두에서 더 나은 결과를 보여 준다. 특히 제안하는 방법은 임의 배열에서 동작할 수 있도록 하여 기존 방법보다 선택의 폭을 더 넓혀줌과 동시에 성능적인 측면에서도 우수함을 보여준다. 표 2는 계산량 비교를 위해 수행시간을 나타내었다. 4.0GHz CPU와 16GB 메모리를 탑재한 PC에서 C/C++의 실험 환경에서 구현하였다. 제안하는 방법은 sinc 함수와 exponential 등의 연산을 테이블화 시키고 계산상의 최적화를 통해 연산시간을 실시간화 시키고자 하였다. 기존의 연구들보다 제안하는 방법에서 빠른 수행 속도를 보이고 있다.

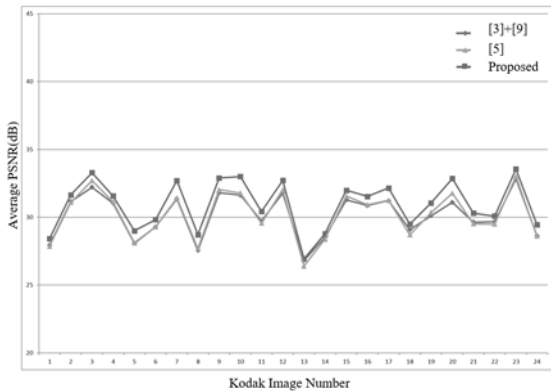


그림 5. 코닥 영상들에 대한 PSNR 비교
Fig. 5. Comparison of PSNR values of Kodak Images.

표 1. 실제 영상에 대한 PSNR 비교
Table1. Comparison of PSNR values of Real Image.

PSNR(dB)	[3] + [9]		[5]		제안	
Real Image	R	21.7	R	23.1	R	24.0
	G	23.9	G	24.9	G	25.1
	B	21.8	B	22.8	B	24.2

표 2. 연산량 비교
Table2. Computational complexity comparison.

방법	[3] + [9]	[5]	제안
연산 시간 (초)	10.12	6.54	0.4

IV. 결 론

본 논문에서는 베이어 데이터로부터 컬러보간과 다운샘플링을 동시에 하는 알고리즘을 제안하였다. 알고리즘의 성능 향상을 위하여 베이어 입력으로부터 휘도 성분 추정을 통해 얻는 고주파 정보와 컬러의 주된 저주파 정보를 이용하여 다운샘플링 된 풀 컬러 영상을 획득 하였다. 이때, 영상 신호를 분리하여 융합하는 방법에 기반하였으며 에지영역에서의 화질 열화를 위한 에지 보상 방법을 통해 고품질의 영상을 획득할 수 있게 하였다. 제안된 알고리즘의 성능은 테스트 영상과 실제 영상의 실험을 통해서 확인하였다. 실험 결과 제안한 알고리즘이 기존의 알고리즘보다 우수함을 정량적 평가 및 시각적인 측면에서 확인 할 수 있었다. 또한 계산량 및 메모리 소모적인 측면에서도 기존 방법들에 비해 우수한 성능을 나타내는 것을 확인할 수 있었다.

REFERENCES

- [1] B. E. Bayer, "Color imaging array," U.S. Patent 3 971 065, July 1976.
- [2] N. X. Lian, L. Chang, Y. P. Tan, and V. Zagorodnov, "Adaptive filtering for color filter array demosaicking," *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 15, no. 10, pp. 2515-2525, Oct. 2007.
- [3] L. Zhang and X. Wu, "Color demosaicking via directional linear minimum mean square-error estimation," *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 14, no. 12, pp. 2167-2178, Dec. 2005.
- [4] K. Chung, W. Yang, W. Yan and C. Fuh, "New joint demosaicing and arbitrary-ratio resizing algorithm for color filter array based on DCT approach," *IEEE Trans. Consum. Electron.*, vol. 56, no. 2, pp.783-791, May 2010.
- [5] S. Lee and M. G. Kang, "Joint demosaicking and integer-ratio downsampling algorithm for color filter array image," in *Proc. of SPIE Conf. on Image Processing*, vol. 9399, San Francisco, United States, Feb. 2015.
- [6] E. Dubois, "Frequency-domain methods for demosaicking of bayer-sampled color images," *IEEE Signal Process. Lett.*, vol. 12, no. 12, pp. 847-850, Dec. 2005.
- [7] J. H. Park and M. G. Kang, "Spatially adaptive multi-resolution multispectral image fusion," *International Journal of Remote Sensing*, vol 25, no. 23, pp. 5491-5508, Dec. 2004.
- [8] X. Feng and P. Milanfar, "Multiscale principal

components analysis for image local orientation estimation,” 36th Asilomar Conf. Signals, Systems and Computers, Pacific Grove, CA, Nov. 2002.

- [9] R. G. Keys, “Cubic convolution interpolation for digital image processing,” IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Process., vol. ASSP-29, no. 6, pp. 1153-1160, Dec. 1981.

- [10] H. M. Oh, D. S. Yoo, and M. G. Kang, “Edge-Directed Color Interpolation on Disjointed Color Filter Array,” Journal of The Institute of Electronics Engineers of Korea, Vol. 47-SP, no. 1, pp. 53-61, Jan 2010.

- [11] C. W. Kim, D. S. Yoo, and M. G. Kang, “Spatially Adaptive Color Demosaicing of Noisy Bayer Data,” Journal of The Institute of Electronics Engineers of Korea, Vol. 47-SP, no. 2, pp. 86-94, Feb 2010.

저 자 소 개



이 민 석(학생회원)
2009년 연세대학교 전기전자공학부
학사 졸업.
2009년~현재 연세대학교 전기전자
공학과 석박사 통합과정.
<주관심분야: 노이즈 필터링, 초
해상도 영상복원>



강 문 기(정회원)-교신저자
1986년 서울대학교 전자공학과 학사
졸업.
1988년 서울대학교 전자공학과 석사
졸업.
1994년 Northwestern University
박사 졸업.

1994~1997년 Assistant Professor.
1997~1999년 연세대학교 전기전자공학과 조교수.
1999~2004년 연세대학교 전기전자공학과 부교수.
2004년~현재 연세대학교 전기전자공학과 정교수.
<주관심분야: 영상복원, 초해상도 영상복원, 비선
형 필터링, 비디오 분석 및 처리 부화소단위의 움
직임 추정>