

일반논문 (Regular Paper)

방송공학회논문지 제23권 제1호, 2018년 1월 (JBE Vol. 23, No. 1, January 2018)

<https://doi.org/10.5909/JBE.2018.23.1.146>

ISSN 2287-9137 (Online) ISSN 1226-7953 (Print)

## 조리개 마스크 휠을 이용한 정칙화 기반 초해상도 디모자이킹

신 정 호<sup>a)†</sup>

### Regularization-based Superresolution Demosaicing using Aperture Mask Wheels

Jeongho Shin<sup>a)†</sup>

#### 요 약

본 논문에서는 베이어 영역에서의 저해상도 영상을 고해상도 컬러 영상으로 복원하기 위한 초해상도 디모자이킹 기술을 제안한다. 제안한 방법은 조리개 마스크 휠의 다양한 형태의 조리개 마스크로 초점 열화가 발생되기 때문에 취득한 저해상도 영상들은 서로 다른 방향의 초점열화를 가지며 부화소 단위의 영상 정합이 필요하지 않고 단지 조리개 마스크 형태에 해당하는 초점열화만 추정하면 초해상도 영상복원 방법을 적용할 수 있다. 제안한 시스템은 기존의 카메라 렌즈 시스템에 조리개 마스크 휠을 추가함으로써 새로운 형태의 렌즈 시스템을 제작할 필요 없이 초해상도 영상을 복원할 수 있는 카메라 시스템으로 확장 가능하다. 마지막으로 본 논문에서 제안한 조리개 마스크를 이용한 사용한 초해상도 디모자이킹 기술의 성능을 검증하기 위해서 기존의 초해상도 영상복원과 디모자이킹 기술과 비교하였으며, 그 결과 공간 및 컬러 해상도가 상당히 개선되었음을 보였다.

#### Abstract

This paper presents a superresolution demosaicing technique that can restore high-resolution color image from differently blurred low resolution images in Bayer domain. The proposed superresolution demosaicing algorithm uses an aperture mask wheel to get differently blurred low resolution images, so we just need to estimate point spread function at each frame. In addition, it does not require image registration because there is no translational motion between low resolution images. By using a rotatable aperture mask wheel, consecutive captured images provide sufficiently exclusive information for superresolution. Therefore, the proposed method can reduce the registration error between the low-resolution image as well as the calculation amount for superresolution restoration. The existing lens system of the camera can be extended to obtain a superresolution image by only adding an rotatable aperture mask wheels. Finally, in order to verify the performance of the proposed system, experimental results are performed. The proposed method showed the significant improvements in the sense of spatial and color resolution.

Keywords : superresolution, demosaicing, image restoration, aperture mask

---

a) 한경대학교 컴퓨터공학과(Dept. of Computer Engineering, Hankyong National University)

† Corresponding Author : 신정호(Jeongho Shin)

E-mail: [shinj@hknu.ac.kr](mailto:shinj@hknu.ac.kr)

Tel: +82-31-670-5353

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4773-168X>

Manuscript received December 11, 2017; Revised January 4, 2018; Accepted January 8, 2018.

Copyright © 2017 Korean Institute of Broadcast and Media Engineers. All rights reserved.

“This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and not altered.”

## I. 서론

일반적인 디지털 카메라로 촬영한 영상은 렌즈, 조리개, 센서 등의 다양한 영향으로 화질이 저하되는 과정을 겪는다. 이와 같은 화질 열화 중에서 렌즈와 센서에서는 공간 해상도 저하와 영상 센서의 컬러 샘플링에서는 컬러 해상도의 저하가 발생한다. 단일 영상센서로 컬러 영상을 취득하는 경우에는 컬러필터배열 (CFA: Color filter array)을 사용하여 센서의 화소마다 한 가지 색상 성분만을 샘플링한다. 현재 대부분의 디지털 카메라에서는 컬러 정보를 얻기 위해서 베이어 컬러필터배열 (Bayer CFA)을 사용한다. 이 방법은 단일 영상센서와 CFA를 사용하는 카메라에서 한 화소에서 한 가지의 색상 정보만을 추출하기 때문에 각 화소마다 RGB 채널 중에서 한 가지 색상 정보만을 취득할 수 있고, 다른 두 채널의 색상 정보는 영상보간 등의 방법을 사용해서 추정해야 한다. 이러한 컬러 정보 추정을 위한 기술을 CFA 보간 또는 디모자이킹 (demosaicing)이라고 한다<sup>[1,10]</sup>.

저해상도 영상에서 고해상도 영상을 추정하기 위해서 초해상도 (superresolution) 영상복원 기술을 사용할 수 있다. 초해상도 영상복원은 다수의 저해상도 영상을 사용해서 고해상도 영상을 추정하는 기술이다<sup>[2]</sup>. Tsai와 Huang은 저해상도 영상 프레임들을 사용하여 고해상도 영상을 복원하는 초해상도 영상복원 기술을 최초로 제안했다<sup>[3]</sup>. 이후 수십 년 동안 초해상도 영상복원을 위한 많은 연구가 꾸준히 수행되고 있다<sup>[4,5,11]</sup>. 초해상도 영상복원을 위해서는 입력으로 사용하는 각각의 저해상도 영상들에 포함된 배타적인 정보를 활용해야 고해상도 영상을 추정할 수 있다. 예를 들면 저해상도 비디오에서의 움직임 정보를 사용하기 위해서 영상들의 움직임 정보를 부화소 단위로 정확히 추정하여 정합한다. 한편 영상들의 움직임 정보를 사용하지 않는 경우에는 저해상도 영상에서의 조명 위치의 변화나 서로 다른 초점 열화와 같은 광학적인 변화를 사용한다.

한편 디모자이킹과 초해상도 영상복원을 통합하여 저해상도 베이어 영상에서 고해상도 영상을 복원하기 위한 기술이 연구되었다<sup>[6,7]</sup>. 논문 [6]에서는 B-TV (Bilateral total variation) 정칙화 방법을 사용하여 고해상도 영상 복

원을 수행하였으나 밝기 영상과 컬러 영상의 두 가지 영역에서 세 개의 정칙화 항을 최적화하여 상당한 계산량이 필요하다. 이러한 문제를 단순화하기 위해서 논문 [7]에서는 정칙화 항을 제거하고 블러링된 베이어 영역에서의 저해상도 영상들로부터 고해상도 영상을 복원하는 알고리즘을 개발했다. 그러나 이 두 가지 방법 모두 저해상도 영상들 사이의 움직임을 추정해야 하는 과정이 필요하다.

본 논문에서는 디모자이킹과 초해상도 영상복원의 문제를 동시에 해결하는 방법을 제안한다. 초해상도 영상을 복원하기 위해서는 다수의 저해상도 영상 프레임 간의 움직임을 부화소 단위로 추정하고 정합하는 과정이 필요하다. 그러나 본 논문에서는 초해상도 영상복원 알고리즘 [8]을 확장하여 움직임 정보를 사용하지 않고 초해상도 영상을 복원하기 위해서 베이어 영역에서의 열화영상들로부터 고해상도 영상을 취득하는 방법을 제안한다. 본 논문에서 제안하는 초해상도 디모자이킹 기술의 특징은 다음과 같다. 첫째, 초해상도 영상복원과 디모자이킹을 동시에 수행한다. 둘째, 조리개 마스크 휠을 사용하여 부화소 단위의 움직임 추정 및 정합 과정이 필요 없는 초해상도 영상복원을 위한 기술을 구현한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 제안하는 초해상도 영상복원 기술의 개발을 위해서 베이어 영역에서의 저해상도 영상열화 모델을 제시한다. 3절에서는 조리개 마스크 휠을 사용한 방향성 초점열화와 컬러필터배열에 의한 영상열화 모델과 영상 취득 시스템을 제시한다. 4절에서는 초해상도 디모자이킹 영상 복원 기술을 제안한다. 5절에서는 실험 결과를 제시하고, 마지막으로 6절에서 결론을 맺는다.

## II. 공간해상도와 컬러해상도 열화 모델

고해상도 영상으로부터 렌즈 외부의 조리개 마스크를 통과한 빛이 베이어 컬러필터배열 아래의 영상 센서를 통과하면서 저해상도 영상으로 열화되는 영상 열화 모델을 그림 1에 제시한다.

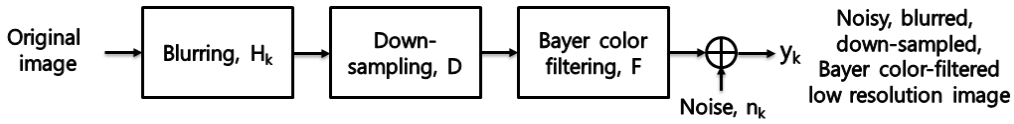


그림 1. 영상 열화 모델  
Fig. 1. Image degradation model

$N \times N$  크기의 고해상도 컬러 영상이 초점열화, 부표본화, 잡음이 차례로 적용되어서  $M \times M$  크기의 베이어 샘플링된 저해상도 영상으로 열화된다고 가정한다. 이러한 저해상도 열화 과정을 벡터-행렬 수식으로 표현하면  $k$ 번째 베이어 샘플링된 저해상도 영상은

$$y_k = FDH_k x + \eta_k, \quad (1)$$

와 같다. 여기에서  $y_k$ 와  $\eta_k$ 는 각각  $M^2 \times 1$  길이를 가지며 사전순으로 배열된  $k$ 번째의 저해상도 영상과 잡음을 나타내는 벡터이고,  $x$ 는  $3N^2 \times 1$  길이를 갖는 고해상도 컬러 영상 벡터이다.  $H_k$ 는  $3N^2 \times 3N^2$  크기의 영상열화 행렬을 나타내며,  $D$ 는 고해상도의 영상을 저해상도 영상으로 샘플링하는 행렬이고  $F$ 는 베이어 컬러 샘플링을 수행하는 행렬이다.

### III. 움직임이 없는 저해상도 열화영상 취득을 위한 조리개 마스크 휠

일반적으로 초해상도 영상을 복원하기 위해서는 다수의

저해상도 영상 프레임 간의 움직임을 부화소 단위로 추정하고 정합하는 과정이 필요하다. 그러나 방법 [5]에서는 저해상도 영상들이 프레임 간에 움직임이 존재하지 않아도 서로 다른 형태의 영상열화를 포함하면 초해상도 영상복원이 가능하다는 것을 보였다. 이와 같은 방법을 구현하기 위해서 [8]에서는 렌즈 외부에 회전이 가능한 직사각형의 조리개 마스크를 부착하여 서로 다른 영상열화를 발생시켜서 다수의 저해상도 영상을 취득한다. 조리개 마스크를 회전하면서 취득한 열화 영상에서의 초점 열화 커널 계수의 무게 중심은 동일하지만 서로 방향의 초점열화를 가진다. 따라서 저해상도 영상들 사이에 전역적 움직임이 없고 서로 다른 방향성 열화만을 가지기 때문에 부화소 단위의 움직임 추정과 정합과정을 생략할 수 있고 저해상도 영상들의 에일리어싱 성분으로부터 초해상도 복원이 가능하다. 또한 저해상도 영상들 사이의 정합오류와 정합을 위한 계산량을 감소시킬 수 있기 때문에 고해상도 영상을 추정하기에 용이하다.

본 논문에서는 [8]에서 제안한 직사각형 조리개 마스크를 확장해서 조리개 마스크 휠을 구성함으로써 서로 다른 초점 열화를 가진 저해상도 영상들을 베이어 컬러필터배열 영역에서 취득하는 구조를 제안한다. 다양한 영상 열화를

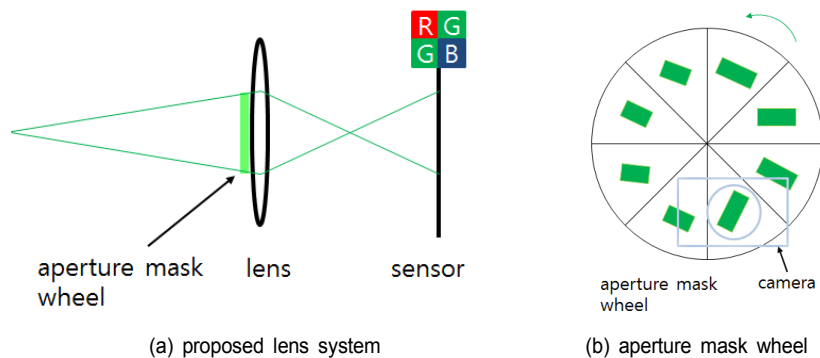


그림 2. 움직임 없는 저해상도 영상을 생성하기 위한 조리개 마스크 휠  
Fig. 2. aperture mask wheel for motion-free low resolution images

발생시키기 위하여 조리개 마스크 휠에 서로 다른 열화를 발생하는 조리개 마스크를 장착한 예를 그림 2에 제시한다. 조리개 마스크 휠을 사용하여 다양한 직사각형의 방향성 초점 열화를 발생시키기 때문에 각각의 저해상도 영상들은 서로 방향의 초점열화를 가진다. 특히 조리개 마스크의 중심 위치를 렌즈의 중심에 맞도록 하면 초점열화 커널 계수의 무게 중심이 동일하여 부화소 단위의 영상 정합이 필요하지 않다.

#### IV. 정칙화 기반 초해상도 디모자이킹 영상복원

본 절에서는 베이어 영역의 저해상도 영상  $y_k$ 로부터 고해상도 컬러영상을 복원하기 위한 정칙화 기반의 초해상도 영상복원 알고리즘을 제안한다. 식 (1)에서 제시한 베이어 영역의 영상 열화 모델은 고해상도 컬러영상  $x$ 가 영상열화 과정을 거쳐 베이어 영역에서 샘플링된 저해상도 영상  $y_k$ 을 얻는다고 가정한다.

일반적으로 영상복원 문제에 있어서 저해상도 영상  $y_k$ 에 인가된 미소한 오차 혹은 변화가 일반적으로 그의 해  $x$ 에 심각한 변화를 초래하는데 이를 ill-posedness라 하고, 이 문제를 해결하여 well-posedness가 되도록 안정화하는 것을 정칙화라고 한다. 본 논문에서는 식 (1)에서 디모자이킹된 고해상도 영상  $x$ 를 추정하기 위해서 정칙화 기반의 영상복원 방법을 사용한다. 영상복원 문제를 정칙화하기 위해서 선형적 평활도(a priori smoothness) 제약조건을 적용하여 정칙화 방식으로 해를 구하기 위해서

$$f(x) = \sum_{k=1}^K \|y_k - FDH_k x\|^2 + \lambda_1 J_1(x) + \lambda_2 J_2(x), \quad (2)$$

$$J_1(x) = \|Cx\|^2,$$

$$J_2(x) = \|Cx_R - Cx_G\|^2 + \|Cx_G - Cx_B\|^2 + \|Cx_R - Cx_B\|^2, \quad (3)$$

와 같은 비용 함수(cost function)를 최소화시킴으로써 구할 수 있다. 위 식의 첫 번째 항  $\sum_{k=1}^K \|y_k - FDH_k x\|^2$ 은 고해상도

도 컬러영상과 조리개 마스크에 의해서 열화되고 베이어 영역에서 샘플링된  $k$ 개의 저해상도 영상 간의 유사도를 나타낸다. 두 번째 항  $J_1(x)$ 은 컬러 채널 내부에서의 고주파 성분을 제한하는 역할을 수행한다. 여기에서  $C$ 는 고주파 통과필터를 나타내며, 이 항을 최소화시키는 과정은 주로 증폭된 잡음에 의한 고주파 성분을 억제하여 복원된 신호의 에너지를 제한하는 역할을 하므로 안정화 함수라 한다. 또한  $\lambda_1$ 과  $\lambda_2$ 는 평활도 제약조건의 양을 조절하는 정칙화 매개변수를 나타낸다. 정칙화 접근 방식에 의한 해는 정칙화 매개변수를 조절하여 잡음이 증폭된 신호와 평활한 신호 사이의 적절한 값을 결정한다. 마지막으로 세 번째 항  $J_2(x)$ 은 다른 컬러 채널에서 존재하는 에지의 위치와 방향이 일치하도록 컬러 채널 간의 고주파 성분을 제한하는 역할을 수행하여 디모자이킹 과정에서 발생하는 컬러 채널 간의 오차를 제한할 수 있다.

식(2)와 (3)의 해를 구하기 위해서 반복적 방법을 사용하면 다음과 같이 해를 구할 수 있다.

$$x_R^{n+1} = x_R^n + \beta \sum_{k=1}^K [H_k^T D^T F^T y_{R,k} - H_k^T D^T F^T FDH_k x_R^n + \lambda_1 C^T C x_R^n + \lambda_2 C^T C (2x_R^n - x_G^n - x_B^n)], \quad (4)$$

$$x_G^{n+1} = x_G^n + \beta \sum_{k=1}^K [H_k^T D^T F^T y_{G,k} - H_k^T D^T F^T FDH_k x_G^n + \lambda_1 C^T C x_G^n + \lambda_2 C^T C (2x_G^n - x_R^n - x_B^n)], \quad (5)$$

$$x_B^{n+1} = x_B^n + \beta \sum_{k=1}^K [H_k^T D^T F^T y_{B,k} - H_k^T D^T F^T FDH_k x_B^n + \lambda_1 C^T C x_B^n + \lambda_2 C^T C (2x_B^n - x_R^n - x_G^n)], \quad (6)$$

여기에서  $n$ 은 반복 횟수를 나타내고,  $\beta$ 는 반복적 결과의 수렴 속도를 조절하는 상수이다.

#### V. 실험 결과

본 논문에서 제안한 초해상도 디모자이킹 알고리즘의 성능 평가를 위해서 식 (1)의 열화 과정을 통해서 베이어 영역에서의 저해상도 영상을 생성하기 위해서 다음과 같은 열

상 열화 과정을 적용했다.

식 (1)의 열화 과정  $H_k$ 를 통해 저해상도 영상을 얻기 위해서 그림 2에서와 같이 다양한 형태의 조리개 마스크의 중심 위치를 동일하게 정렬한 조리개 마스크 휠의 사용을 가정하고 초점열화를 발생시켰다. 결과적으로 저해상도 영상들 간에는 평행 이동이 없기 때문에 영상정합이 필요하지 않고 부화도 단위의 충분한 배타적인 정보의 활용이 가능하다. 이어서  $D$ 를 사용하여 수평과 수직의 각각 1/2 크기의 영상으로 부표본화를 수행하고 마지막으로  $F$ 에 의해서 베이어 샘플링된 저해상도 영상을 생성했다.

그림 2의 조리개 마스크 휠은 5x5 직사각형과 9x3과 5x3 직사각형 열화를 발생시키는 조리개 마스크를 45도 단위로 회전하여 모두 9개의 초점 열화의 발생을 가정한다. 식 (4)-(6)을 사용하여 9개의 저해상도 영상으로부터 초해상도 디모자이킹 추정을 위해서 실험에서 사용한 매개변수는 각각  $\beta = 0.03$ ,  $\lambda_1 = 1.0$ ,  $\lambda_2 = 20.0$ ,  $n = 40$  이고, 고주파 필터는 다음의 커널을 선택적으로 사용했다.

$$C_1 = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & -2 & 0 & -2 & 0 \\ 0 & 0 & 12 & 0 & 0 \\ 0 & -2 & 0 & -2 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}, C_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -2 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & 12 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & -2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -2 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad (7)$$

$$C_3 = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}, C_4 = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

제안한 방법의 성능을 검증하기 위해서 코닥 영상 세트와 IMAX 영상 세트를 사용하여 초해상도 디모자이킹 결과에 대한 CPSNR을 표 1과 표 2에 각각 제시했다. CPSNR은 다음 식을 사용하여 계산했다.

$$CPSNR = 10 \log_{10} \left( \frac{255^2 \times 3N^2}{\sum_{C=R,G,B} (x_C - \hat{x}_C)^2} \right), \quad (8)$$

표 1과 2에서는 모두 7가지의 알고리즘들을 비교 제시하였다. 실험 1은 저해상도 단일 프레임을 사용한 복원 결과이다. 이 방법은 5x3 크기의 직사각형 열화가 발생한 저해상도 베이어 단일 영상을 에지 기반 디모자이킹 방법 [9]를 사용하여 컬러 보간을 수행하고 초해상도 복원 방법 [8]을 사용하여 반복적으로 고해상도 영상을 복원했다. 실험 2에서 7까지는 모두 베이어 영역에서 취득한 9장의 저해상도 영상을 입력 영상으로 사용했다. 실험 2는 다중 프레임 초해상도 컬러 디모자이킹 방법 [7]을 사용하여 복원한 결과이다. 이 방법은 정칙화를 위한 식 (3)에서의 스무딩 항을 적용하지 않기 때문에 해가 발산하는 문제를 방지하기 위해서 여러 장의 저해상도 입력 영상을 사용하거나 블러링된 초기 값을 사용해야 한다. 실험 3과 4는 9장의 베이어 저해상도 영상을 사용하여 식(2)의  $J_1(x)$ 과  $J_2(x)$  각각 하나만을 정칙화 항으로 사용하여 복원 결과이다. 실험 5부터 7까지는  $J_1(x)$ 과  $J_2(x)$  모두를 사용하여 복원한 결과를

표 1. 코닥 영상에 대한 CPSNR 비교 (단위: dB)

Table 1. CPSNRs for Kodak images

Image	1) Single frame SR. $C_1, C_2$ ([9]&[8])	2) Multiframe[7]	3) Multiframe $J_1(x), C_1, C_2$	4) Multiframe $J_2(x), C_1, C_2$	5) Proposed $J_1(x) + J_2(x)$ $C_3$	6) Proposed $J_1(x) + J_2(x)$ $C_4$	7) Proposed $J_1(x) + J_2(x)$ $C_1, C_2$
1	31.30	30.58	30.85	32.29	32.32	32.51	32.40
2	25.71	25.24	25.55	27.73	27.43	27.65	27.74
3	29.82	28.72	29.00	30.39	30.41	30.68	30.50
4	21.70	20.26	20.63	23.35	22.95	23.25	23.39
5	29.20	28.16	28.49	30.52	30.51	30.89	30.66
6	26.87	26.13	26.42	28.34	28.12	28.33	28.37
7	29.18	28.80	29.10	31.32	30.96	31.15	31.31
8	25.70	24.45	24.86	27.92	27.48	27.90	28.01
9	29.03	28.33	28.59	30.07	30.03	30.19	30.12
10	26.14	25.45	25.75	27.76	27.55	27.77	27.80
11	28.17	27.20	27.51	29.50	29.29	29.52	29.55
12	25.00	24.66	24.86	26.37	26.21	26.36	26.37
average	25.29	24.61	24.97	26.89	26.79	27.09	27.17

표 2. IMAX 영상에 대한 CPSNR 비교 (단위: dB)  
Table 2. CPSNRs for IMAX images

Image	1) single frame SR. $C_1, C_2$ ([9]&[8])	2) Multiframe [7]	3) Multiframe $J_1(x), C_1, C_2$	4) Multiframe $J_2(x), C_1, C_2$	5) Proposed $J_1(x) + J_2(x)$ $C_3$	6) Proposed $J_1(x) + J_2(x)$ $C_4$	7) Proposed $J_1(x) + J_2(x)$ $C_1, C_2$
1	25.05	24.01	24.32	26.37	26.01	26.34	26.45
2	22.68	22.46	22.73	23.04	23.69	23.72	23.15
3	29.57	28.95	29.23	30.07	30.41	30.53	30.19
4	29.35	29.08	29.40	29.36	30.41	30.45	29.54
5	26.97	26.23	26.46	27.94	27.82	28.00	28.00
6	27.30	26.46	26.76	28.64	28.48	28.73	28.71
7	28.11	27.32	27.61	28.77	28.83	28.98	28.88
8	26.83	26.06	26.35	27.54	27.71	27.88	27.64
9	22.54	21.62	21.88	23.55	23.34	23.53	23.61
10	23.27	21.67	21.97	24.03	23.48	23.71	24.08
11	26.34	26.01	26.29	26.57	27.25	27.30	26.71
12	31.31	30.97	31.21	31.69	32.15	32.24	31.81
13	28.71	27.89	28.14	29.17	29.58	29.76	29.28
14	31.95	30.96	31.28	32.25	32.78	32.98	32.42
15	31.38	30.77	31.03	32.01	32.11	32.22	32.10
16	32.41	31.83	32.06	32.62	32.88	32.94	32.71
17	25.50	25.40	25.66	25.92	26.73	26.80	26.08
18	26.17	26.31	26.59	26.34	27.26	27.22	26.47
average	26.13	25.58	25.89	26.84	27.15	27.33	27.10

제시했다. 실험 5와 6에서는 식 (3)의 고주파 필터를 각각  $C_3$ 와  $C_4$ 를 사용한 결과를 제시했다. 마지막으로 실험 7에서는 R과 B채널에서  $C_1$ 와 G채널에서는  $C_2$ 를 적용했다.

표 1과 2에서 제시한 실험 결과를 객관적 지표인 CPSNR의 기준으로 살펴보면  $J_1(x)$ 과  $J_2(x)$  모두를 사용하여 컬러 채널 내부와 컬러 채널 간의 평활화 조건을 병합한 실험 5부터 7까지의 결과가 상대적으로 우수함을 알 수 있다. 각각의 실험에서 사용한 스무딩 항과 식 (3)의 고주파 필터의

종류를 표 1과 2의 첫 행에 표기했다. 식 (7)의 고주파 필터에 따르는 성능의 차이는 CPSNR 수치로 보면 차이가 크지 않음을 알 수 있다.

그림 3과 4에서는 실험에서 사용한 코닥 실험 영상 중에서 1번 영상과 8번 영상에 대한 결과 영상을 확대하여 각각 제시하였다. 두 그림의 (a)는 원영상이고 (b), (c), (d), (e), (f)의 영상은 각각 실험 1, 2, 3, 4, 7의 방법을 사용하여 구한 결과 영상이다.

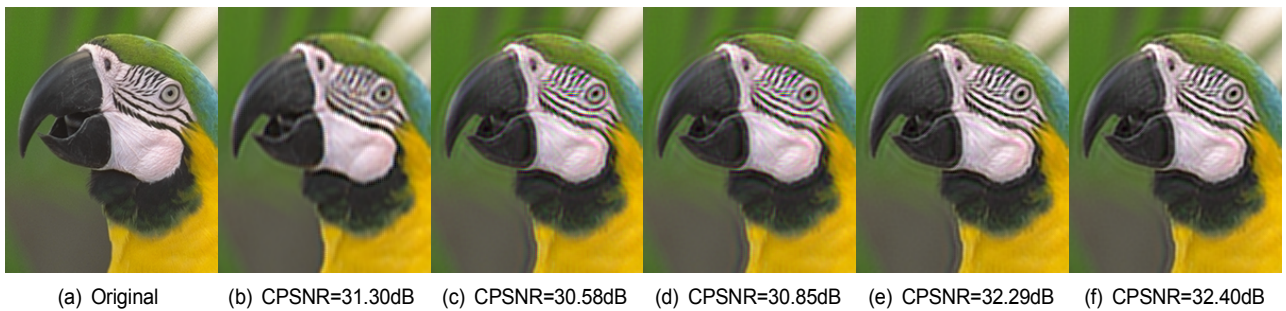


그림 3. 코닥 1번 영상의 실험결과 (a:원영상, b: 단일 프레임 복원 ([9] & [8]), c: 다중 프레임 복원 [7], d: 다중 프레임 복원 ( $J_1(x)$  and  $C_1, C_2$ ), e: 다중 프레임 복원 ( $J_2(x)$  and  $C_1, C_2$ ), f: 제안 방법 ( $J_1(x) + J_2(x)$  and  $C_1, C_2$ )

Fig. 3 Experimental results of Kodak 1 image (a: original image, b: single frame SR.  $C_1, C_2$  by [9] & [8], c: Multiframe SR by [7] d: Multiframe SR using  $J_1(x)$  and  $C_1, C_2$ , e: Multiframe SR using  $J_2(x)$  and  $C_1, C_2$ , f: Proposed usig  $J_1(x) + J_2(x)$  and  $C_1, C_2$

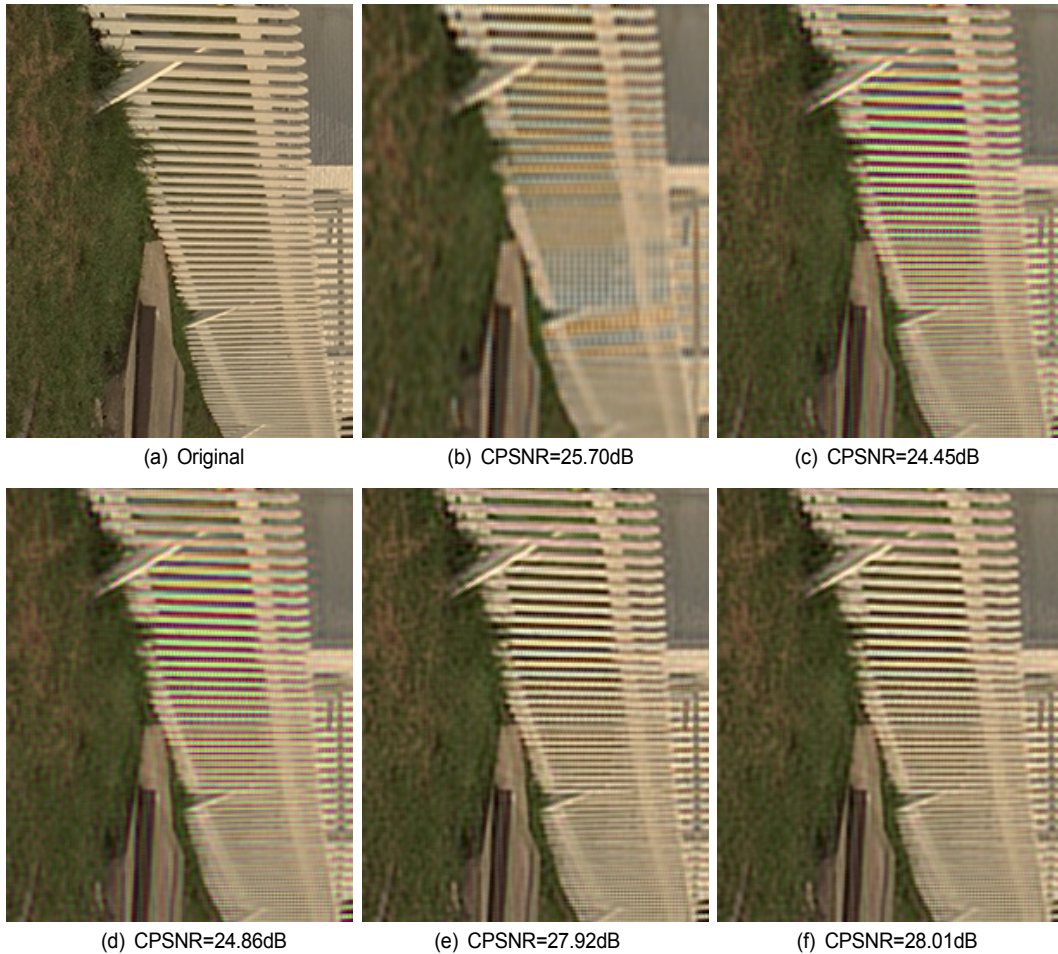


그림 4. 코닥 8번 영상의 실험결과 (a:원영상, b: 단일 프레임 복원 ([9] & [8]), c: 다중 프레임 복원 [7], d: 다중 프레임 복원 ( $J_1(x)$  and  $C_1, C_2$ ), e: 다중 프레임 복원 ( $J_2(x)$  and  $C_1, C_2$ ), f: 제안 방법 ( $J_1(x) + J_2(x)$  and  $C_1, C_2$ )

Fig. 4 Experimental results of Kodak 8 image (a: original image, b: single frame SR.  $C_1, C_2$  by [9] & [8], c: Multiframe SR by [7] d: Multiframe SR using  $J_1(x)$  and  $C_1, C_2$ , e: Multiframe SR using  $J_2(x)$  and  $C_1, C_2$ , f: Proposed using  $J_1(x) + J_2(x)$  and  $C_1, C_2$

그림 4(b)는 5x3 크기의 직사각형 열화가 발생한 저해상도 베이어 단일 영상을 에지 기반 디모자이킹 방법 [9]를 사용하여 컬러 보간을 수행하고 초해상도 복원 방법 [8]을 사용하여 복원을 수행했기 때문에 심각한 공간 및 컬러 해상도 저하를 보여준다. 그림 4(c)-(f)를 비교하면 담장의 피켓 부분에서 컬러 해상도의 차이를 볼 수 있다. 그림 4(c)와 (d)는 컬러 채널 간의 평활화를 고려하지 않아서 그림 4(e)와 (f)에 비하여 피켓에 더 많은 컬러 오류가 보인다. 결과적으로 컬러 채널 내부와 채널 간의 평활화를 고려한 제안한 방법이 고주파 성분에서 색 중첩의 문제를 효과적으로

해결하는 동시에 공간해상도의 향상도 효과적으로 개선하는 것을 알 수 있었다.

## VI. 결 론

본 논문에서는 프레임 간의 움직임 정보를 추정하지 않고 베이어 영역에서의 저해상도 영상을 사용하는 정칙화 기반의 초해상도 디모자이킹 기술을 제안했다. 제안 방법에서는 초해상도 복원 과정에서 움직임 추정이 필요 없는

저해상도 영상을 취득하기 위하여 방향성 초점열화를 발생시키는 조리개 마스크 휠을 사용하여 서로 다르게 열화된 저해상도 영상들을 취득한다. 저해상도 영상 사이에는 전역적 움직임이 없고 서로 다른 방향성 열화만을 가지기 때문에 부화소 단위의 움직임 추정과 정합과정을 생략할 수 있어서 기존의 초해상도 영상복원 기술에 비하여 고해상도 영상을 추정하기에 용이하다. 제안하는 방법은 초해상도 영상복원 기술을 베이어 영역에서 취득한 저해상도 영상들을 사용하여 적용할 수 있도록 정칙화 기반 초해상도 알고리즘에 컬러 보간을 위한 제약조건을 추가하여 디모자이킹도 동시에 처리할 수 있는 방법이다. 제안한 초해상도 디모자이킹 기술의 실제 적용을 위해서 카메라 렌즈 외부에 다양한 형태의 조리개 마스크를 장착한 휠을 회전하여 영상을 촬영하는 방법을 적용하면, 저해상도 영상을 취득할 때마다 초점 열화를 다르게 설정할 필요 없는 초해상도 계산 카메라의 구현이 가능할 것으로 기대한다.

## 참 고 문 헌 (References)

- [1] B. K. Gunturk, J. Glotzbach, Y. Altunbasak, R. W. Schafer, and R. M. Mersereau, "Demosaicing: Color filter array interpolation," *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 20, no. 3, pp. 21-36, May 2003.
- [2] S. C. Park, M. K. Park, and M. G. Kang, "Super-resolution image reconstruction: A technical overview," *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 20, no. 3, pp. 21 - 36, May 2003.
- [3] R. Y. Tsai and T. S. Huang, "Multiframe image restoration and registration," *Advances in Computer Vision and Image Processing*, pp. 317 - 339, JAI Press Inc., 1984.
- [4] S. Borman and R. L. Stevenson, *Spatial resolution enhancement of low-resolution image sequences-A review*, University of Nortre Dame, Tech. Rep., 1998.
- [5] M. Elad, and A. Feuer, "Restoration of a single superresolution image from several blurred, noisy, and undersampled measured images," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 6, no. 12, pp. 1646-1658, December 1997.
- [6] S. Farsiu, M. Elad, and P. Milanfar, "Multiframe demosaicing and super-resolution of color images," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 15, no. 1, pp. 141-159, January 2006.
- [7] M. Trimeche, "Color demosaicing using multi-frame super-resolution," *Proc. European Signal Processing Conference*, August 2008.
- [8] J. Shin, "Superresolution Restoration From Directional Rectangular Blurred Images", *Journal of Broadcast Engineering*, vol. 19, no. 1, pp. 109-117, January 2014.
- [9] R. H. Hibbard, "Apparatus and method for adaptively interpolating a full color image utilizing luminance gradient," U.S. Patent 5 382 976, 1995.
- [10] D. S. Yoo, M. S. Lee, and M. G. Kang, "An Edge Directed Color Demosaicing Algorithm Considering Color Channel Correlation", *Journal of Broadcast Engineering*, vol. 18, no. 4, pp. 619-630, July 2013.
- [11] W-H. K, J-N Kim, and S-I Jeong, "Fast Multiple Mixed Image Interpolation Method for Image Resolution Enhancement", *Journal of Broadcast Engineering*, vol. 19, no. 1, pp. 118-121, January 2014.

## 저 자 소 개



### 신 정 호

- 1994년 : 중앙대학교 전자공학과 학사 졸업
- 1998년 : 중앙대학교 전자공학과 석사 졸업
- 2001년 : 중앙대학교 첨단영상대학원 영상공학과 박사 졸업
- 1993년 12월 ~ 1995년 8월 : (주)기아자동차 중앙기술연구소 연구원
- 1999년 12월 ~ 2001년 6월 : 테네시대학교 전기 및 컴퓨터공학과 방문연구원
- 2001년 7월 ~ 2001년 10월 : 존스홉킨스대학교 방사선과 연구원
- 2002년 2월 ~ 2002년 5월 : 한국과학재단 연구원
- 2002년 6월 ~ 2003년 3월 : 한국과학기술기획평가원 선임연구원
- 2003년 4월 ~ 2006년 7월 : 중앙대학교 첨단영상대학원 연구교수
- 2013년 2월 ~ 2014년 1월 : 노스캐롤라이나대학교 전기 및 컴퓨터공학과 방문연구원
- 2006년 8월 ~ 현재 : 한경대학교 컴퓨터공학과 교수
- ORCID : <http://orcid.org/0000-0003-4773-168X>
- 주관심분야 : 영상처리, 영상복원, 계산사진학