

정규논문 (Regular Paper)

방송공학회논문지 제18권 제4호, 2013년 7월 (JBE Vol. 18, No. 4, July 2013)

<http://dx.doi.org/10.5909/JBE.2013.18.4.619>

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

## 컬러 채널 상관관계를 고려한 에지 방향성 컬러 디모자이킹 알고리즘

유두식<sup>a)</sup>, 이민석<sup>a)</sup>, 강문기<sup>a)‡</sup>

### An Edge Directed Color Demosaicing Algorithm Considering Color Channel Correlation

Du Sic Yoo<sup>a)</sup>, Min Seok Lee<sup>a)</sup>, and Moon Gi Kang<sup>a)‡</sup>

#### 요 약

본 논문은 컬러 채널 상관관계를 고려한 에지 방향성 컬러 디모자이킹 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 영역 분류 과정과 에지 방향성 컬러 보간 과정으로 이루어진다. 영역 분류 과정에서 채널 내 기울기와 채널 간 기울기값을 사용하여 주어진 Bayer 영상을 일반 에지, 패턴 에지, 평탄 영역으로 분류한다. 이때 일반 에지 판정 과정에서 두 개의 에지 방향 판정 기준을 사용하고, 패턴 에지 판정 과정에서 판정된 에지 방향에 대한 검증과정을 적용하여 에지 방향 추정 오류를 줄이도록 하였다. 보간 과정에서는 영역 분류과정에서 판정된 에지 방향에 따라 보간을 수행한다. 특히, 각 에지 방향에 대한 보간 성능을 향상시키기 위해 수평, 수직 방향 보간값은 채널 내 상관관계에 기반을 둔 컬러 보간식과 채널 간 상관관계에 기반을 둔 컬러 보간식을 영역 적응적으로 융합하여 구하였다. 실험 결과를 통해 제안하는 방법이 기존 방법에 비해 수치적인 면과 시각적인 면에서 뛰어난 결과를 보임을 확인 할 수 있다.

#### Abstract

In this paper, we propose an edge directed color demosaicing algorithm considering color channel correlation. The proposed method consists of local region classification step and edge directional interpolation step. In the first step, each region of a given Bayer image is classified as normal edge, pattern edge, and flat regions by using intra channel and inter channel gradients. Especially, two criteria and verification process for the normal edge and pattern edge classification are used to reduce edge direction estimation error, respectively. In the second step, edge directional interpolation process is performed according to characteristics of the classified regions. For horizontal and vertical directional interpolations, missing color components are obtained from interpolation equations based on intra channel and inter channel correlations in order to improve the performance of the directional interpolations. The simulation results show that the proposed algorithm outperforms conventional approaches in both objective and subjective terms.

Keyword : demosaicing, color interpolation, Bayer pattern, color filter array(CFA), edge classification

a) 연세대학교 전기전자공학부 (Department of Electrical and Electronic Engineering, Yonsei University)

‡ Corresponding Author : 강문기 (Moon Gi Kang)

E-mail: mkang@yonsei.ac.kr

Tel: +82-2-2123-7711

※ 이 논문은 2013년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2012R1A2A4A01003732).

· Manuscript received March 29, 2013 Revised July 1, 2013 Accepted July 1, 2013

### 1. 서론

최근 휴대폰 카메라, 디지털 카메라와 같은 디지털 이미징 장치가 널리 이용되고 있으며, 크기와 비용을 줄이기 위하여 이러한 이미징 장치는 단일 이미징 센서를 이용하여 영상을 획득한다. 하지만 이미징 센서는 이미징 장치에 입사하는 광원의 밝기 정보만 획득 가능하기 때문에, 전 채널 컬러 영상을 획득하기 위하여 이미징 장치에 컬러 필터 배열 (CFA : Color filter array)을 사용한다. 일반적으로 이미징 장치에서 그림 1과 같은 베이어 패턴(Bayer pattern)<sup>[1]</sup>을 널리 사용하고 있으며, 각 센서 화소 위치에서 적색(R), 녹색(G), 청색(B) 중 하나의 컬러 성분을 획득한다. 따라서 베이어 영상으로부터 전 채널 컬러 영상을 획득하기 위하여 각 화소 위치에서 손실된 컬러 성분을 이웃 화소를 이용하여 추정하는 과정이 필요하다. 이 과정을 컬러 보간(color interpolation 또는 demosaicing)<sup>[2]</sup>이라 한다.

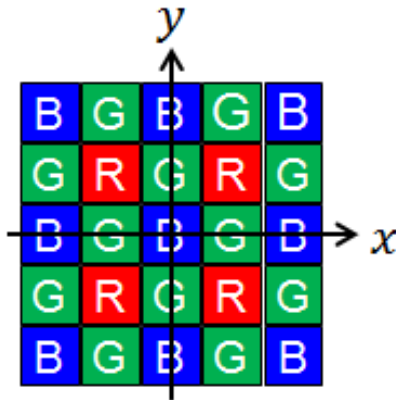


그림 1. 베이어 패턴  
Fig. 1. Bayer pattern

컬러 보간 방법은 이미징 장치의 성능에 미치는 중요한 요인 중 하나이며, 결과 영상의 성능을 향상시키기 위하여 이웃화소와의 상관관계를 추정하여 손실된 컬러 성분을 보간하는 다양한 방법이 제안되었다. 먼저 채널 내 상관관계 (intra channel correlation)을 기반으로 각 컬러 채널 내에서 독립적으로 보간을 수행하였다. 하지만 이러한 방법은 베이어 영상의 특성상 손실된 화소 위치에 존재하는 에지 성분의 복원력에 한계가 발생하게 된다. 따라서 이러한 영역

에서 에지 복원 성능을 향상시키기 위하여 컬러 보간 과정에서 채널 간 상관관계(inter channel correlation)를 고려하는 방법이 제안되었다. 채널 간 상관관계는 크게 평탄 색조 변화(smooth hue transition)<sup>[3][4]</sup>와 고정 채널 간 컬러 차(constant inter channel color difference)<sup>[5][14]</sup> 가정으로 분류할 수 있다. 평탄 색조 변화는 동일한 위치에서 밝기와 색도 사이의 비율이 국부 영역에서 고정적이라는 것을 가정하고, 고정 채널 간 컬러 차는 인접한 영역에서 밝기와 색도 사이의 차는 고정적이라 가정한다. 이러한 채널 간 상관관계는 에지를 가로지르는 방향에 대해서는 성립하지 않기 때문에, 에지 방향에 대한 고려 없이 보간을 수행하는 경우 에지 영역에서 지퍼 현상(zipper effects), 무아레(Moire)와 같은 보간 에러가 발생하게 된다. 따라서 에지 특성을 고려한 다양한 컬러 보간 방법이 제안되었다. 먼저 국부 영역의 에지 특성에 따른 가중치를 고려한 평균 기반 접근 방법<sup>[3][4][6][7]</sup>이 제안되었다. 가정된 에지 방향에 따른 유사성을 추정하여 이웃 화소의 가중치를 결정하고, 이웃 화소의 가중치 합으로 손실된 컬러 성분 값을 추정한다. 이러한 방법은 에지 영역 이외의 화소 값들도 보간 과정에 반영되기 때문에 존재하는 에지 특성에 따라 에지 성분이 블러(blur)되거나 지퍼 현상이 발생된다. 이러한 문제를 줄이기 위하여 에지 방향성 컬러 보간 방법<sup>[8][14]</sup>이 제안되었다. 에지 방향성 보간 방법은 영역 결정 과정과 보간 수행 과정으로 이루어진다. 먼저 영역 결정 과정에서 베이어 영상을 분석하여 국부 영역의 특성에 따른 영역을 분류한다. 다음으로 에지 방향에 대한 가정을 바탕으로 수직, 수평 방향으로 보간된 값을 얻고, 앞서 분류된 영역에 따라 두 값을 융합하여 최종 보간 값을 결정한다. 따라서 이러한 에지 방향성 컬러 보간 방법은 영역 분류과정의 정확도를 높이면 보간 성능을 향상시킬 수 있다. 하지만 에지 방향을 잘못 추정하게 되면, 컬러 보간 에러가 두드러지게 발생한다.

상용화된 이미징 장치에서 컬러 보간 방법은 세밀한 에지에 대한 복원 능력이 중요시 된다. 일반적으로 가중치 평균 기반 방법 보다 에지 방향성 컬러 보간 방법이 세밀한 에지를 복원 할 수 있다. 에지 방향성 컬러 보간 방법의 성능은 영역 분류 과정의 정확도와 이에 따른 보간 방법에 따라 결정된다. 먼저 에지 방향 추정 오류는 베이어 샘플링

과 잡음에 의하여 에지 방향 판단이 모호한 영역에서 발생한다. 따라서 이러한 영역에서 보간 에러를 최소화 하면서 정확한 에지 방향에 따라 세밀한 에지를 복원하는 방법이 필요하다. 한편 에지 방향에 대한 보간 성능을 향상시키기 위하여 채널 간 상관관계를 이용한 보간 식을 사용한다. 하지만 각 컬러 채널의 정보가 상이하게 변하는 영역에서 채널 간 상관관계에 따른 보간식을 이용하여 보간하게 되면 보간 에러가 발생하게 된다. 예를 들어 G, B 채널의 화소값은 일정하고 R 채널에서만 에지 정보가 존재하는 영역에서 고정 컬러 차 가정을 사용하여 G 채널 값을 보간하는 경우, 컬러 차이값 (G-R)의 변화량에 의해 잘못된 G 채널 값이 추정된다. 따라서 채널 간 상관관계가 성립하지 않는 영역에서도 보간 에러 없이 컬러 보간을 수행하기 위한 방법이 필요하다.

본 논문은 이러한 문제를 해결하고 에지 영역의 성능을 향상시키기 위하여 컬러 채널 상관관계를 고려한 에지 방향성 컬러 보간 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 영역 분류 단계와 에지 방향성 보간 단계로 이루어진다. 영역 분류 단계에서는 베이어 영상에서의 기울기(gradient)를 기반으로 국부 영역을 일반 에지, 패턴 에지, 평탄 영역으로 분류한다. 먼저 같은 채널 내의 기울기 값을 바탕으로 두 개의 판정 기준(criterion)을 사용하여, 베이어 영상에서 일반 에지 영역을 구분한다. 이때, 두 개의 판정 기준이 동일하게

에지 방향을 판정할 경우, 수직, 수평 에지로 분류한다. 다음으로 분류되지 않은 영역은 우선 다른 채널 간 기울기 값을 기반으로 에지 방향을 분류하고, 분류된 에지 방향에 대한 검증 과정을 거쳐 최종적인 에지 방향을 결정한다. 에지 방향성 보간 단계는 앞서 영역 결정 단계에서 결정된 에지 방향에 따라 보간을 수행한다. 이때 채널 간 상관관계가 성립하지 않은 영역에서도 에러 없이 보간을 수행하기 위하여, 채널 내 상관관계와 채널 간 상관관계에 따라 각각 에지 방향에 따른 보간 값을 구하고, 이를 적응적으로 융합하여 각 방향에 대한 최종 보간 값을 결정한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 제안하는 컬러 채널 상관관계를 고려한 에지 방향성 컬러 보간 방법을 설명하였다. 먼저 제안하는 방법의 전체적인 구조를 설명하고, 계속해서 제안하는 방법의 국부 영역 분류 과정, G 채널 보간, R, B 채널 보간을 차례대로 설명한다. 3장에서는 실험을 통해 기존 방법과 제안하는 방법의 성능을 비교하였으며, 4장에서 본 논문의 결론을 제시하였다.

## II. 국부 영역의 특성을 고려한 에지 방향성 컬러 보간

제안하는 방법은 그림 2와 같이 진행된다. 먼저 베이어

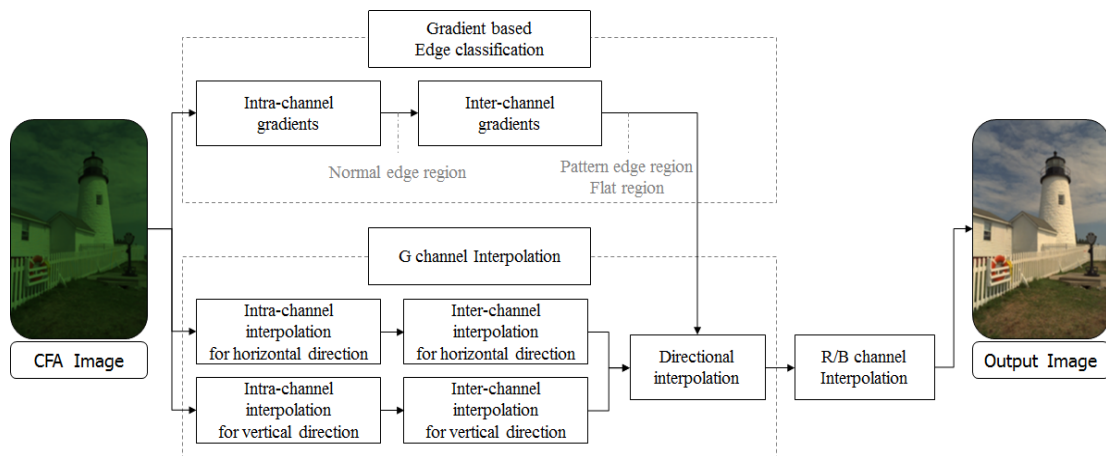


그림 2. 제안하는 방법의 수행 과정  
 Fig. 2. Flowchart of the proposed method

패턴 영상에서 기울기 값을 이용하여 각 화소 위치에서 국부 영역의 특성을 추정하고, 추정된 특성에 따라 에지 방향을 분류한다. 그 후 채널 내 및 채널 간 상관관계를 기반을 둔 보간식을 이용하여 영역 적응적으로 수평, 수직 방향 보간값을 얻고, 분류된 영역 특성을 고려하여 수직, 수평 방향으로 보간된 값을 융합하여 최종 보간 값을 획득한다.

### 1. 기울기 기반 에지 분류 과정

제안하는 방법은 채널 내 및 채널 간 기울기 값을 이용하여 국부 영역을 분류한다. 채널 내 기울기는 각 R, G, B 채널 내에서 기울기를 나타내고, 채널 간 기울기는 G와 R 채널 또는 G와 B 채널사이의 기울기를 나타낸다. 베이어 패턴 샘플링에 의해 에지 정보가 손실되기 때문에 채널 내 기울기는 일반적인 에지 방향을 찾는데 용이하지만, 같은 채널 내부에 정보가 부족한 세밀하고 복잡한 에지 영역에서는 에지 방향 판단에 적합하지 않다. 반면 채널 간 기울기는 다른 채널에서 세밀하고 복잡한 에지 영역의 정보를 얻을 수 있기 때문에 세밀한 에지 영역에서 에지 방향을 찾는 데 용이하다. 따라서 이러한 두 기울기 값의 장점을 이용하여 국부 영역을 두 단계로 나눠 분류한다. 그림 3과 같이 베이어 패턴 영상에서 먼저 일반 에지 영역을 분류한 뒤, 분류되지 않은 영역을 패턴 에지 영역과 평탄 영역으로 분류한다.

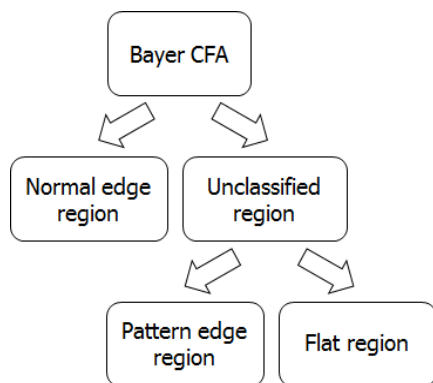


그림 3. 국부 영역 분류  
Fig. 3. Local region classification

### 1.1 채널 내 기울기 값을 이용한 일반 에지 영역 분류

본 논문에서 에지 성분이 뚜렷한 영역을 일반적인 에지 영역으로 정의하고, 채널 내 기울기 값을 이용하여 베이어 패턴 영상에서 일반 에지 영역을 분류한다. 하지만 베이어 샘플링에 의해 에지 성분이 손실되기 때문에 에지 방향 판단이 모호한 경우가 발생하게 된다. 따라서 이러한 영역에서 잘못된 방향으로 에지 방향을 판단하는 경우를 방지하기 위하여 두 개의 에지 방향 판정 기준을 사용하였다. 두 개의 에지 방향 판정 기준에 의해 판단된 에지 방향이 일치하는 뚜렷한 에지 영역은 에지 방향을 분류하고, 판단된 에지 방향이 일치하지 않는 에지 방향 추정이 모호한 영역은 에지 방향 판단을 보류한다. 일반 에지 방향 판정 과정을 다음 수식을 통해 표현할 수 있다.

$$\begin{cases} \text{수평 에지 영역} & (C_1 : \text{수평 에지}) \cap (C_2 : \text{수평 에지}) \\ \text{수직 에지 영역} & (C_1 : \text{수직 에지}) \cap (C_2 : \text{수직 에지}) \\ \text{판단 보류 영역} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

여기서  $C_1, C_2$ 는 각각 에지 방향 판정 기준 1, 2를 나타낸다.

채널 내 기울기를 구하기전에, 먼저 베이어 패턴 샘플링에 의해 손실된 G 채널 성분을 각각 수평, 수직 방향에 대해 임시로 보간 한다. 그림 1 베이어 영상의 경우, 채널 간 상관관계를 이용한 B 위치에서 수평, 수직 G 채널 보간값<sup>[5]-[6]</sup>은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} G_h(x,y) &= \frac{G(x-1,y) + G(x+1,y)}{2} + \frac{2B(x,y) - B(x-2,y) - B(x+2,y)}{4} \\ G_v(x,y) &= \frac{G(x,y-1) + G(x,y+1)}{2} + \frac{2B(x,y) - B(x,y-2) - B(x,y+2)}{4} \end{aligned} \quad (2)$$

여기서  $G_h, G_v$ 는 각각 수평, 수직 방향으로 보간된 G 채널 값을 의미한다.  $(x,y)$ 는 현재 화소 위치를 나타낸다.

에지 방향 판정 기준은 에지 영역에서 에지를 가로지르는 방향으로 기울기 값을 구할 경우 큰 값을 갖는 특성을 이용하여 결정 할 수 있다. 기울기를 구하는 방법에 따라

절대적인 기울기 값의 차이는 발생하지만, 에지 영역에서 상대적인 기울기 값의 차이는 공통적인 특성을 갖는다. 따라서 에지 방향 판정 기준 1, 2를 같은 채널 내의 1차, 2차 기울기 값으로 하였다. 먼저 판정 기준 1은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} C_1^h &= \sum_{(k,l) \in \mathfrak{N}_1} |G_h(x+k,y+l) - G_h(x+k,y+l+1)| \\ &\quad + \sum_{(k,l) \in \mathfrak{N}_1} |G_v(x+k,y+l) - G_v(x+k,y+l+1)| \\ C_1^v &= \sum_{(k,l) \in \mathfrak{N}_1} |G_h(x+k,y+l) - G_h(x+k+1,y+l)| \\ &\quad + \sum_{(k,l) \in \mathfrak{N}_1} |G_v(x+k,y+l) - G_v(x+k+1,y+l)| \end{aligned} \quad (3)$$

여기서  $C_1^h, C_1^v$ 은 판정 기준 1의 수평, 수직 방향 인수 (factor)이다.  $(k,l)$ 은 현재 화소의 위치 변화량을 나타낸다.  $\mathfrak{N}_1$ 은 1차 기울기를 구하는 과정에서 현재 화소를 중심으로  $3 \times 3$ 내에서 이웃화소로 평행 이동을 위한 위치 변화량의 집합이다. 보간 방향을 에지 방향이라 가정하면, 보간 방향에 수직인 기울기는 큰 값을 갖기 때문에, 수식 (3)에서  $G_v$ 의 수평 방향 1차 미분값과  $G_h$ 의 수직 방향 1차 미분값은 에지 방향 판정 시 사용하였다. 또한 에지 방향과 일치하는 방향으로 보간된 경우가 에지를 가로지르는 방향으로 보간된 경우보다 더 작은 기울기 값을 갖기 때문에, 수식 (3)에서  $G_h$ 의 수평 방향 1차 미분값과  $G_v$ 의 수직 방향 1차 미분값은 에지 방향 판정 시 사용하였다. 따라서 판정 기준 1을 이용한 에지 방향 판단은 다음과 같다.

$$C_1 = \begin{cases} C_1^h < \alpha C_1^v & \text{수평 에지} \\ C_1^v < \alpha C_1^h & \text{수직 에지} \end{cases} \quad (4)$$

이때  $\alpha$ 는 수직, 수평 방향 기울기 값의 비율을 조정하는 파라미터로서, 판단된 에지 방향의 신뢰도를 조절한다.  $\alpha$

값이 작을수록 에지 방향 판단 에러가 적고, 뚜렷한 에지만 판단한다.

같은 채널 내의 2차 미분을 이용한 판정 기준 2는 수식(5)와 같다. 여기서  $C_2^h, C_2^v$ 은 판정 기준 2의 수평, 수직 방향 인수이다.  $\mathfrak{N}_2$ 은 2차 기울기를 구하는 과정에서 현재 화소를 중심으로  $3 \times 3$ 내에서 이웃화소로 평행 이동을 위한 위치 변화량의 집합이다. 따라서 판정 기준 2를 이용한 에지 방향 판단은 다음과 같다.

$$C_2 = \begin{cases} C_2^h < \alpha C_2^v & \text{수평 에지} \\ C_2^v < \alpha C_2^h & \text{수직 에지} \end{cases} \quad (6)$$

일반적인 에지 영역 판정 과정을 요약하면 다음과 같다. 먼저 수식 (4), (6)의 판정 기준 1, 2에 따라 에지 방향을 판단하고, 수식 (1)을 이용하여 각 판단된 에지 방향 결과를 비교하여 일치하는 경우, 일반적인 수평, 수직 에지 영역으로 분류한다. 판단된 에지 방향이 서로 다를 경우, 분류되지 않은 영역으로 판단한다.

## 1.2 채널 간 기울기 값을 이용한 패턴 에지 및 평탄 영역 분류

본 논문에서 패턴 에지 영역은 세밀한 에지 성분이 베이어 패턴 샘플링에 의해 손실된 영역으로 에지 방향 판단이 모호한 영역으로 정의하고, 평탄 영역은 현재 화소를 기준으로 모든 이웃 화소 값이 유사한 영역으로 정의한다. 앞선 과정에서 분류되지 않은 영역은 채널 간 기울기 값을 이용하여 패턴 에지 영역과 평탄 영역으로 분류한다. 이때 에지 방향 추정 에러를 줄이기 위하여, 먼저 채널 간 기울기 값을 이용하여 에지 방향을 추정 한 뒤, 추정된 에지 방향을 검증하여 최종적인 에지 방향을 판단한다.

먼저 채널 간 기울기 값을 계산하고, 이를 이용하여 에지

$$\begin{aligned} C_2^h &= \sum_{(k,l) \in \mathfrak{N}_2} |2G_h(x+k,y+l) - G_h(x+k,y+l-1) - G_h(x+k,y+l+1)| \\ &\quad + \sum_{(k,l) \in \mathfrak{N}_2} |2G_v(x+k,y+l) - G_v(x+k,y+l-1) - G_v(x+k,y+l+1)| \\ C_2^v &= \sum_{(k,l) \in \mathfrak{N}_2} |2G_h(x+k,y+l) - G_h(x+k-1,y+l) - G_h(x+k+1,y+l)| \\ &\quad + \sum_{(k,l) \in \mathfrak{N}_2} |2G_v(x+k,y+l) - G_v(x+k-1,y+l) - G_v(x+k+1,y+l)| \end{aligned} \quad (5)$$

방향을 결정 한다. 그림 4에 수직 방향 마스크  $[1 - 1]^T$ 을 이용한 수직 방향 기울기를 구하는 과정을 예로써 나타내었다. 그림 4에서 화살표는 수직 방향 기울기를 계산하는 화소 위치를 의미한다. 채널 간 기울기는 컬러 채널에 따른 기울기 값을 계산하는 방향에 따라 값의 부호가 달라지기 때문에, 채널 간 기울기의 절대값 변화량을 사용하여 에지 방향을 판단한다. 채널 간 기울기 값을 바탕으로 패턴 에지 방향 판단 기준은 다음과 같다.

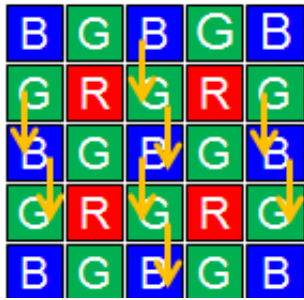


그림 4. 채널 간 기울기 값  
Fig. 4. Inter channel gradients

$$C_p^h = \text{Var}\left\{ \bigcup_{(k,l) \in \mathfrak{N}_p} |A(x+k,y+l) - A(x+k,y+l+1)| \right\}$$

$$C_p^v = \text{Var}\left\{ \bigcup_{(k,l) \in \mathfrak{N}_p} |A(x+k,y+l) - A(x+k+1,y+l)| \right\} \quad (7)$$

여기서  $C_p^h, C_p^v$ 는 패턴 에지 영역 구분을 위한 판정 기준의 수평, 수직 방향 인수이다.  $\mathfrak{N}_p$ 는 채널 간 1차 기울기를 구하는 과정에서 현재 화소를 중심으로  $5 \times 5$ 내에서 이웃 화소로 평행 이동을 위한 위치 변화량의 집합이다.  $A$ 는 베이어 영상에 존재하는 화소값을 의미하며, 각 화소 위치에 존재하는 컬러 성분에 따라 RGB 채널 중 하나의 값으로 결정된다.  $\text{Var}\{\cdot\}$ 은 채널 간 기울기 값들의 분산을 구하는 연산을 의미한다. 따라서  $C_p^h, C_p^v$ 를 사용한 패턴 에지 방향 판단을 다음과 같이 수행할 수 있다.

$$\begin{cases} C_p^h < \beta C_p^v & \text{수평 에지} \\ C_p^v < \beta C_p^h & \text{수직 에지} \end{cases} \quad (8)$$

여기서  $\beta$ 는 수직, 수평 방향 기울기 값의 비율을 조정하는 파라미터로서, 판단된 에지 방향의 신뢰도를 조절한다.

다음으로 앞서 판단된 에지 방향에 대한 검증 과정을 수행하고, 검증된 결과에 따라 패턴 에지 영역 또는 평탄 영역으로 분류한다. 검증 과정은 그림 5와 같은 절차를 수행하여 이뤄진다.  $2 \times 3$  블록에서 위쪽  $1 \times 3$  블록의 R위치에서 G 값은 이전 보간 과정에서 얻은 G 값을 이용하여 채워 넣고, 아래  $1 \times 3$  블록의 B위치에서 G 값은 앞선 과정에서 판단된 에지 방향에 따른 보간값을 사용하여 채워 넣는다. 이때  $2 \times 3$ 내에 수평 에지가 존재하면, 위, 아래 블록 모두에서 작은 기울기 값을 가지고, 수직 에지가 존재하면 위, 아래 블록 모두에서 큰 기울기 값을 가진다. 따라서 두 블록의 유사성을 비교하여 에지 방향 추정 정확성을 판단할 수 있다. 두 블록의 유사성은 위, 아래 블록의 기울기 값의 차이를 통해 구한다.

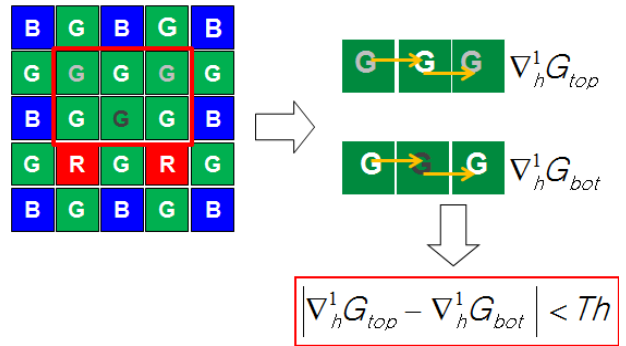


그림 5. 에지 방향 검증  
Fig. 5. Verification of the determined edge direction

$$|\nabla_h^1 G_{top} - \nabla_h^1 G_{bot}| < Th \quad (9)$$

이때  $Th$ 는 사전에 정의된 문턱값(threshold)이다.  $\nabla_h^1 G_{top}, \nabla_h^1 G_{bot}$ 는 수평 방향 마스크  $[1 - 1]$ 를 이용한 위, 아래 블록의 기울기 값을 의미한다. 수식 (9)를 이용하여 두 블록이 유사하다고 판단되면, 앞서 판단된 에지 방향을 유지하고, 그렇지 않으면 평탄 영역으로 판단한다.

## 2. G 채널 보간

G 채널 보간은 앞서 분류된 영역의 특성을 고려하여 에지 방향에 따라 손실된 G 채널 값을 보간한다. 즉, 일반 에

지, 패턴 에지 영역에서 최종 보간값은 수평 또는 수직 보간값으로 구하고, 평탄 영역에서 최종 보간값은 수평, 수직 보간값을 융합하여 구한다.

일반적으로 손실된 컬러 성분의 보간식은 채널 간 상관관계 가정을 이용하여 구한다. 하지만, 각 채널의 정보가 서로 상이하게 변하여 채널 간 상관관계가 성립하지 않는 영역에서는 이러한 보간식을 사용하면 에러가 발생하게 된다. 따라서 본 논문에서는 채널 내 상관관계와 채널 간 상관관계에 기반을 둔 컬러 보간식 이용하여 영역 적응적으로 융합하여 최종 보간값을 획득하였다. 먼저 채널 간 상관관계에 기반을 둔 수평, 수직 방향 G 채널 보간값  $G_h^{Inter}$ ,  $G_v^{Inter}$ 은 수식(2)의  $G_h$ ,  $G_v$  값으로 구할 수 있다. 채널 내 상관관계에 기반을 둔 수평, 수직 방향 G 채널 보간값  $G_h^{Intra}$ ,  $G_v^{Intra}$ 은 다음과 같이 구한다.

$$\begin{aligned} G_h^{Intra}(x,y) &= \frac{G(x-1,y) + G(x+1,y)}{2} \\ G_v^{Intra}(x,y) &= \frac{G(x,y-1) + G(x,y+1)}{2} \end{aligned} \quad (10)$$

먼저 일반 에지 영역과 패턴 에지 영역에서 에지 방향은 수직 또는 수평 방향으로 분류되기 때문에, 수직, 수평 방향 보간값으로 손실된 G 채널 값을 구한다. 수직, 수평 방향에 대한 보간 값을 구하는 과정은 정확히 일치하기 때문에, 본 논문에서 수평 방향에 대한 G 채널 최종 보간 값을 구하는 과정만 설명한다. 수평 방향 보간값은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\widehat{G}_h(x,y) = \frac{(w_{Inter} G_h^{Inter}(x,y) + w_{Intra} G_h^{Intra}(x,y))}{(w_{Inter} + w_{Intra})} \quad (11)$$

여기서  $\widehat{G}_h$ 는 수평 방향 G 채널 최종 보간 값을 의미한다.

$w_{Inter}, w_{Intra}$ 는  $G_h^{Inter}, G_h^{Intra}$ 의 반영 비율을 조절 하는 가중치이다. 가중치는 채널 간 상관관계에 따라 결정되는데, 채널 간 상관관계가 높으면 최종 보간값에  $G_h^{Inter}$ 가 더 많이 반영 되도록 하였다. 반대로 채널 간 상관관계가 낮으면 최종 보간값에  $G_h^{Intra}$ 가 더 많이 반영 되도록 하였다. 채널 간 상관관계는 채널 간 컬러 차이 값들을 비교하여 추정할 수 있다. 이를 반영한 가중치는 수식 (12)를 이용하여 구한다. 여기서  $Kb$ 는 G, B 채널 사이의 컬러 차이 값을 의미하며, 다음과 같이 구할 수 있다.

$$Kb(x,y) = G(x,y) - B(x,y) \quad (13)$$

평탄 영역은 수평, 수직 방향 보간값의 신뢰도에 따라 두 값을 융합하여 손실된 G 채널 값을 구한다. 원본 G 와 각 방향으로 추정된  $\widehat{G}$ 의 차이 값으로 신뢰도를 정의하고, 차이 값이 작을수록 더 큰 가중치를 준다. 평탄 영역에서 최종 G 채널 보간식은 다음과 같다.

$$\widehat{G}(x,y) = (w_v \widehat{G}_v(x,y) + w_h \widehat{G}_h(x,y)) / (w_h + w_v) \quad (14)$$

여기서  $w_h, w_v$  값은 추정 된  $\widehat{G}$ 값과 본래 주어진 G값 사이의 차이값을 나타낸다(식 (15)).

### 3. R, B 채널 보간

R, B 채널 보간은 G 채널 보간 결과와 채널 간 상관관계를 이용하여 얻는다. R, B 채널의 보간 과정은 정확히 일치하기 때문에, 본 논문에서는 R 채널 보간 과정만 설명한다.

R 채널 보간 과정은 손실된 R위치에서 존재하는 R 채널 값을 이용하여 수행한다. 먼저 B위치에서 R 채널 값은 에지 방향에 따라 보간을 수행한다. 그림 1에서 B를 중심으로

$$\begin{aligned} w_{Inter} &= |G_h^{Intra}(x,y) - B(x,y) - (Kb(x-1,y) + Kb(x+1,y)) / 2| \\ w_{Intra} &= |G_h^{Inter}(x,y) - B(x,y) - (Kb(x-1,y) + Kb(x+1,y)) / 2| \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} w_h &= |G(x-1,y) - \widehat{G}_h(x-1,y)| + |G(x+1,y) - \widehat{G}_h(x+1,y)| \\ w_v &= |G(x,y-1) - \widehat{G}_v(x,y-1)| + |G(x,y+1) - \widehat{G}_v(x,y+1)| \end{aligned} \quad (15)$$

대각선 방향에 대한 기울기값을 비교하여 에지 방향을 결정하는 다음, 에지 방향에 따라 보간을 수행한다. 이에 따른 B위치에서 최종 R값은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\hat{R}(x,y) = \hat{G}(x,y) - \frac{\sum_{(k,l) \in \mathfrak{N}_{R1}} (\hat{G}(x+k,y+l) - R(x+k,y+l))}{Num(\mathfrak{N}_{R1})} \quad (16)$$

여기서  $\mathfrak{N}_{R1}$ 는 결정된 에지 방향의 B화소 위치로 이동을 위한 위치 변화량 집합을 의미하고,  $Num(\mathfrak{N}_{R1})$ 은  $\mathfrak{N}_{R1}$ 의 화소수를 의미한다. 다음으로 G위치에서 R 채널 값을 구하기 위한 보간 식은 다음과 같다.

$$\hat{R}(x,y) = \hat{G}(x,y) - \frac{\sum_{(k,l) \in \mathfrak{N}_{R2}} (\hat{G}(x+k,y+l) - R(x+k,y+l))}{2} \quad (17)$$

여기서  $\mathfrak{N}_{R2}$ 는 주변 G화소 위치로 이동을 위한 위치 변화량 집합을 의미한다.

### III. 실험 결과

제안하는 방법의 성능은 컬러 보간 성능 비교에 주로 사용되는 Kodak 영상을 사용하였다. 이 실험을 위하여 원본 Kodak 영상은 베이어 패턴으로 다운 샘플링하고, 다시 컬러 보간 방법을 사용하여 전체 컬러 영상을 획득하였다. 제안하는 방법의 성능 비교를 위하여 컬러 차 상관관계를 기반으로 하는 기존 컬러 보간 방법을 사용하였다. 비교 알고리즘으로써 컬러 차 영역(domain) 보간을 제안한 Pei 방법<sup>[5]</sup>과 에지 방향성 컬러 보간 방법 중 Wu 방법<sup>[8]</sup>, Hirakawa 방법<sup>[9]</sup>, Huang 방법<sup>[14]</sup>을 사용하였다. 객관적 평가를 위하여, 컬러 보간 결과와 원본 영상 간의 PSNR(Peak Signal to Noise Ratio)을 측정함으로써 수치적으로 비교했다.

표 1은 제안하는 방법과 기존 컬러 보간 방법의 각 컬러 채널 별 PSNR값을 나타낸다. 표1의 결과를 통해 대부분의 영상에서 제안하는 방법을 포함한 에지 방향성 컬러 보간 방법이 에지 방향을 고려하지 않은 Pei 방법 보다 더 높은 PSNR값을 가짐을 확인 할 수 있다. 이는 Pei 방법의 경우

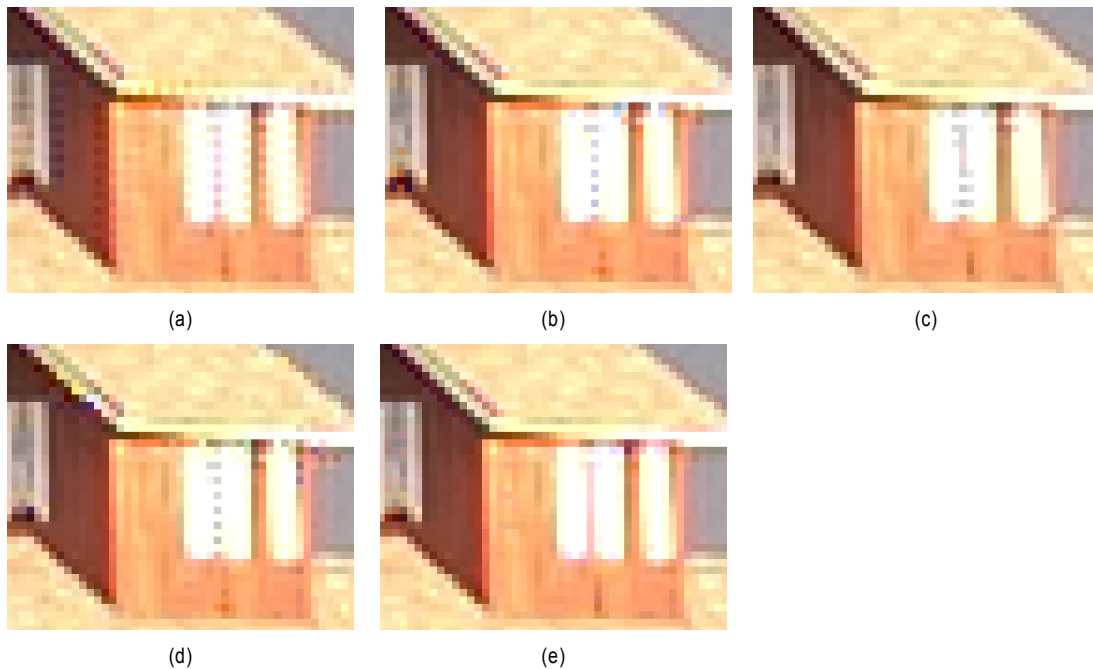


그림 6. 실험 결과 (a) Pei (b) Wu (c) Hirakawa (d) Huang (e) 제안하는 방법  
 Fig. 6. Resultant images (a) Pei, (b) Wu, (c) Hirakawa, (d) Huang, and (e) Proposed.



표 1. PSNR 결과 비교

Table 1. The comparison of PSNRs of the conventional and the proposed methods

	Pei			Wu			Hirakawa			Huang			Proposed		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B	R	G	B	R	G	B
Kodak 1	33.21	35.65	33.36	33.23	35.44	33.40	33.88	35.49	34.07	33.86	35.24	34.07	34.67	36.67	34.91
Kodak 2	36.88	41.32	39.35	37.17	41.34	39.39	36.38	41.26	39.94	37.45	41.54	40.19	37.93	42.43	40.79
Kodak 3	40.32	42.91	39.71	40.76	43.56	40.11	40.32	43.65	39.73	39.99	42.10	39.44	41.24	43.80	40.79
Kodak 4	38.22	41.89	40.94	37.65	41.12	39.90	36.73	41.04	40.30	37.46	40.24	39.51	38.37	42.08	40.95
Kodak 5	34.83	36.37	34.59	34.99	36.71	34.56	34.76	36.64	34.20	32.93	33.90	32.55	35.97	37.40	35.45
Kodak 6	34.55	36.92	34.29	36.25	38.15	35.73	36.91	38.35	36.21	36.28	37.50	35.76	36.94	38.67	36.17
Kodak 7	40.32	42.20	39.66	40.40	42.56	39.81	39.53	41.78	38.87	39.26	40.84	38.91	41.48	43.38	40.96
Kodak 8	29.74	32.76	29.75	31.44	34.16	31.61	31.44	33.42	31.59	31.62	33.13	31.76	32.88	35.09	32.82
Kodak 9	39.08	41.51	38.67	40.19	42.43	39.67	40.41	42.60	39.36	39.51	40.85	39.02	41.05	43.19	40.68
Kodak 10	39.83	41.97	39.36	39.92	42.05	39.43	39.40	41.76	38.96	38.57	40.02	38.28	40.68	42.58	39.79
Kodak 11	35.57	38.03	36.01	35.89	38.21	36.36	36.16	38.32	36.84	36.04	37.71	36.51	37.11	39.25	37.70
Kodak 12	39.24	42.30	39.71	40.58	43.40	41.05	40.21	43.06	40.82	40.13	42.13	40.58	40.84	43.80	41.15
Kodak 13	31.21	32.43	30.62	29.89	31.47	29.54	31.09	31.81	30.38	30.40	31.27	29.96	31.13	32.16	30.41
Kodak 14	34.71	37.78	34.56	34.50	37.50	34.40	33.95	37.42	33.90	34.38	36.69	34.20	35.66	38.59	36.02
Kodak 15	36.57	40.63	39.13	36.19	40.43	38.64	35.59	40.37	38.76	35.79	39.17	38.06	36.36	40.81	38.99
Kodak 16	37.54	40.16	37.32	40.45	42.23	39.95	40.16	41.33	39.44	39.90	41.06	39.48	40.49	42.49	40.09
Kodak 17	39.19	40.49	38.55	38.36	40.17	38.10	38.62	40.10	38.02	37.87	38.97	37.55	40.02	40.85	38.66
Kodak 18	34.88	36.31	34.25	33.47	35.20	33.04	34.13	35.76	33.55	33.71	34.98	33.35	34.59	35.41	33.36
Kodak 19	34.57	37.24	34.53	36.97	39.21	36.91	37.63	39.53	37.36	37.18	38.71	37.11	38.18	40.13	37.95
Kodak 20	38.55	40.31	37.38	37.99	40.01	37.08	38.66	40.29	37.32	37.70	38.92	36.77	39.97	41.30	38.10
Kodak 21	35.45	37.45	34.92	35.03	37.05	34.56	36.10	37.34	35.20	35.25	36.48	34.76	36.67	38.14	35.78
Kodak 22	35.84	38.59	35.71	35.01	38.10	35.52	35.08	38.54	35.69	35.16	37.66	35.71	36.96	39.43	36.77
Kodak 23	40.48	43.83	41.67	40.75	44.02	41.70	39.93	43.92	41.33	39.87	42.32	40.59	41.77	44.50	42.41
Kodak 24	33.06	34.96	32.02	32.06	34.31	31.36	32.26	34.50	31.78	31.84	33.52	31.26	33.56	34.07	30.83
Avg.	36.41	38.92	36.50	36.63	39.12	36.74	36.64	39.10	36.82	36.34	38.12	36.47	37.69	39.84	37.56

에지 방향을 고려하지 않기 때문에 에지 영역에서 보간 에러가 발생하기 때문이다. 한편 에지 방향성 컬러 보간 방법 중에서 제안하는 방법이 기존 Wu방법, Hirakawa방법, Huang 방법보다 더 높은 PSNR값을 가짐을 확인 할 수 있다. 이는 기존 에지 방향성 컬러 보간 방법의 경우 디테일 영역에서 잘못된 방향으로 보간을 수행하여 보간 에러가 두드러지게 나타나지만 제안하는 방법은 기존 방법보다 에

지 방향을 더 정확하게 추정하여 더 적은 에러를 발생하기 때문이다.

그림 6에 각각 Kodak 22 영상의 확대된 결과를 통해 제안하는 방법과 기존 방법의 결과를 비교하였다. 그림 6(a)-(e)는 각각 Pei 방법, Wu 방법, Hirakawa 방법, Huang 방법, 제안하는 방법의 결과이다. 그림 6(a)에서 에지 방향을 고려하지 않기 때문에, 에지 영역에서 지퍼 현상이 발생

하는 것을 확인 할 수 있다. 그림 6(b), (c), (d)는 한 라인 에지에서 잘못된 방향으로 보간을 수행하여 에러가 두드러지게 나타나는 것을 확인 할 수 있다. 하지만 그림 6(e)의 제안하는 방법은 보간 에러없이 손실된 컬러 성분을 에지

방향에 따라 잘 복원하는 것을 확인 할 수 있다.

그림 7에 각각 Kodak 14 영상의 확대된 결과를 통해 제안하는 방법과 기존 방법의 결과를 비교하였다. 또한 보간 에러를 명확히 확인하기 위하여 확대된 국부 영역에서 원

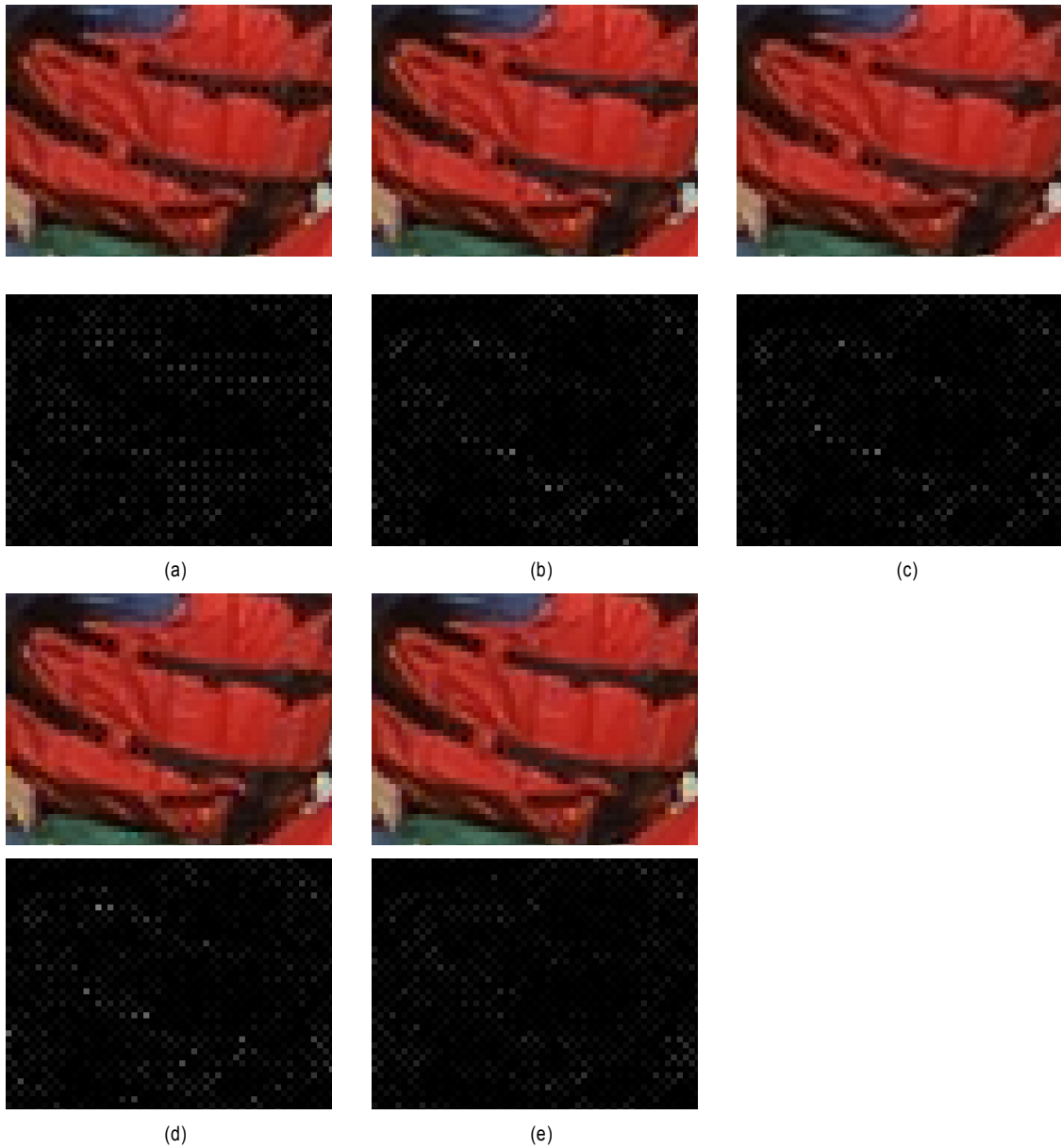


그림 7. 실험 결과 (a) Pei (b) Wu (c) Hirakawa (d) Huang (e) 제안하는 방법  
 Fig. 7. Resultant images (a) Pei, (b) Wu, (c) Hirakawa, (d) Huang, and (e) Proposed

영상의 G 채널과 보간된 영상의 G 채널의 차이 영상을 비교하였다. 그림 7(a)에서 구멍조끼의 에지 영역에서 지퍼 현상이 발생하는 것을 확인 할 수 있다. 차이 영상에서 이러한 지퍼 현상이 발생하는 위치에서 큰 값을 갖는 것을 확인 할 수 있다. 그림 7(b), (c), (d)에서 지퍼 현상은 줄었지만, 차이 영상에서 나타난 것처럼 구멍조끼의 검은색 에지 영역의 일부에서 보간 에러가 발생하는 것을 확인 할 수 있다. 구멍조끼의 검은색 에지 영역은 R, B 채널이 서로 상이하게 변하는 영역이다. 이러한 영역에서는 (G-B) 컬러 차이값과 (G-R) 컬러 차이값 사이의 차이가 발생하게 된다. 따라서 R, B 채널과의 채널 간 상관관계에 따라 G 채널 보간을 수행하는 기존 방법은 컬러 차이값 사이의 차이로 인하여 보간 값의 결과에 차이로 인한 컬러 보간 에러가 발생하게 된다. 하지만 7(e)에서 확인할 수 있듯이 제안하는 방법은 이러한 에러 없이 손실된 컬러 성분 값을 잘 복원하는 것을 확인 할 수 있다.

#### IV. 결론

본 논문에서는 컬러 채널 상관관계를 고려한 에지 방향성 컬러 보간 방법을 제안하였다. 이를 위하여 채널 내 및 채널 간 상관관계를 고려하여 먼저 베이어 영상에서 영역을 분류하고 분류된 영역에 따라 에지 방향성 보간을 수행하였다. 특히 기울기 값을 기반으로 일반 에지, 패턴 에지, 평탄 영역으로 분류하였다. 이때 베이어 샘플링과 잡음에 의한 잘못된 에지 방향 추정을 줄이기 위하여, 일반 에지 방향 판단 과정에서 두 개의 에지 방향 판단 기준을 이용하였고, 패턴 에지 방향 판단 과정에서 판단된 에지 방향에 대한 검증 과정을 도입하였다. 또한 에지 방향성 보간 과정에서 국부 영역의 특성에 따라 채널 내 상관관계를 기반을 둔 컬러 보간식과 채널 간 상관관계를 기반을 둔 컬러 보간식을 적응적으로 융합하여, 채널 간 상관관계가 성립하지 않는 영역에서도 에러 없이 손실된 컬러 성분을 복원하였다. 실험 결과 제안하는 방법이 기존 방법보다 우수함을 객

관적, 주관적 측면에서 확인 하였다.

#### 참 고 문 헌

- [1] B. E. Bayer, "Color imaging array," U.S. Patent 3 971 065, Jul. 1976.
- [2] J. E. Adams Jr, "Interactions between color plane interpolation and other image processing functions in electronic photography," Proc. SPIE2416, Cameras and Systems for Electronic Photography and Scientific Imaging, 144, Mar. 1995.
- [3] R. Kimmel, "Demosaicing: Image reconstruction from color CCD samples," IEEE Trans. Image Process., Vol. 8, no. 9, pp.2331-1228, Sep. 1999.
- [4] S. W. Park and M. G. Kang, "Color Interpolation with Variable Color Ratio Considering Cross - channel Correlation," SPIE Opt. Eng., Vol. 43, no. 1, pp 34-43, Jan. 2004.
- [5] S. C. Pei and I. K. Tam, "Effective color interpolation in ccd color filter arrays using signal correlation" IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Technology, Vol. 13, No. 6, pp. 503-513, Jun. 2003.
- [6] W. Lu and Y. P. Tan, "Color filter array demosaicking: new method and performance measures" IEEE Trans. Image Processing, Vol. 12, No. 10, pp. 1194-1210, Oct. 2003.
- [7] C. W. Kim and M. G. Kang, "Noise insensitive high resolution color interpolation scheme considering cross channel correlation" Optical Engineering, Vol. 44, No. 12, pp. 127006-1-127006-15, Dec. 2005.
- [8] X. Wu and N. Zhang, "Primary-consistent soft decision color demosaicking for digital cameras (patent pending)" IEEE Trans. Image Processing, Vol. 13, No. 9, pp. 1263-1274, Sep. 2004.
- [9] K. Hirakawa and T. Parks, "Adaptive homogeneity-directed demosaicking algorithm" IEEE Trans. Image Processing, Vol. 14, No. 12, pp. 2167-2178, Dec. 2005.
- [10] 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.
- [11] K. H. Chung and Y. H. Chan, "Color demosaicking using variance of color differences" IEEE Trans. Image Processing, Vol. 15, No. 10, pp. 2944-2955, Oct. 2006.
- [12] C. Y. Tsai, and K. T. Song, "Heterogeneity-projection hard-decision color interpolation using spectral-spatial correlation" IEEE Trans. Image Processing, Vol. 16, No. 1, pp. 78-91, Jan. 2007.
- [13] D. Menon, S. Andriani, and G. Calvagno, "Demosaicing with directional filtering and a posteriori decision" IEEE Trans. Image Processing, Vol. 16, No. 1, pp. 132-141, Jan. 2007.
- [14] W. T. Huang, W. J. Chen and S. C. Tai, "Effective soft-decision demosaicking using directional filtering and embedded artifact refinement" Optical Engineering, Vol. 48, No. 4, 047003-1-047003-13, Apr. 2009.

---

저 자 소 개

---



유 두 식

- 2006년 : 연세대학교 전기전자공학과 학사 졸업
- 2008년 : 연세대학교 전기전자공학과 석사 졸업
- 2008년 ~ 현재 : 연세대학교 전기전자공학과 박사과정
- 주관심분야 : 컬러 보간, 디블러링, 영상 보간



이 민 석

- 2009년 : 연세대학교 전기전자공학과 학사 졸업
- 2009년 ~ 현재 : 연세대학교 전기전자공학과 석박사 통합과정
- 주관심분야 : 컬러 보간, 영상 보간, 영상 잡음 제거, 영상 컬러 복원



강 문 기

- 1986년 : 서울대학교 전자공학과 학사 졸업
- 1988년 : 서울대학교 전자공학과 석사 졸업
- 1994년 : Northwestern University 박사 졸업
- 1994년 ~ 1997년 : Assistant Professor (University of Minnesota, Duluth)
- 1999년 ~ 2004년 : 연세대학교 전기전자공학과 부교수
- 2004년 ~ 현재 : 연세대학교 전기전자공학과 정교수
- 주관심분야 : 영상복원, 초해상도 영상복원, 비선형 필터링, 비디오 분석 및 처리, 부화소 단위의 움직임 추정