

논문 2013-50-9-14

# 영상의 국부적 특성을 고려한 색수차 보정 방법

## (Chromatic Aberration Correction Method by Considering Local Properties of the Image)

강 희\*, 강 문 기\*\*

(Hee Kang and Moon Gi Kang<sup>©</sup>)

### 요 약

본 논문은 영상 획득 장치에서 발생하는 색수차를 영상의 국부적 특성을 고려하여 보정하는 알고리즘을 제안한다. 색수차는 파장에 따른 렌즈의 회절률 차이로 인해 발생하며, 그 결과 영상의 강한 에지 영역에서 RGB 채널이 어긋나 색 결함이 생기게 된다. 제안하는 알고리즘은 이러한 색수차가 발생하는 특성을 이용하여 먼저 영상의 에지 영역과 그 주변부를 색수차가 발생하는 영역으로 검출한다. 이 후, 검출된 에지 영역에서 RGB 채널의 에지를 일치시키는 방법을 이용하여 색수차를 제거한다. 그 결과 기존의 색수차 제거 방법으로 널리 사용되는 전역적인 영상 왜핑 방법으로는 제거하지 못하는 축상 색수차와 이미징 센서로부터 발생하는 purple fringing 결함까지도 저감시킬 수 있다. 실험 결과를 통해 제안하는 방법이 기존 방법에 비해 수치적인 면과 시각적인 면에서 뛰어난 결과를 보임을 확인할 수 있다.

### Abstract

In this paper, we propose a chromatic aberration removal algorithm in image capture devices, which considers local properties of the image. Chromatic aberration is generated by the fact that the refractive index of the lens is different for different wavelengths, which produces color artifacts on strong edge due to misalignment of RGB channels. Under the characteristics of the artifacts, the proposed algorithm first estimates the regions with the apparent color artifacts as the neighborhoods of the strong edge. In the regions, the proposed algorithm removes the color artifacts by matching the edges of RGB channels. The widely used conventional methods based on global image warping could not remove the color artifacts of longitudinal chromatic aberration and purple fringing identified by the image sensor, whereas the matching process of the proposed method could reduce them. Experimental results show that the proposed algorithm outperforms the conventional methods on objective and subjective criteria.

**Keywords :** Chromatic aberration, purple fringing, Poisson's equation.

## I. 서 론

색수차는 일반적으로 빛이 렌즈를 통과할 때 파장에 따른 회절률의 차이에 의해서 나타나며, 이는 획득된 영상 내에서 강한 에지 주변에 잘못된 색 결함을 생성

시킨다. 색수차는 대부분의 광학 장치에서 나타나는 현상으로 영상 획득 장치 혹은 렌즈를 사용하는 디스플레이 장치에서 나타난다. 특히 디지털 카메라와 같은 영상 획득 장치에서 최근 이미징 센서의 소형화와 화소수의 증대로 인하여 더욱 부각되어 관찰된다. 색수차는 생기는 원인에 따라 배울 (lateral) 색수차와 축상 (longitudinal) 색수차로 나눌 수 있다. 배울 색수차는 그림 1(a)에서 보는 바와 같이 각 파장 별로 빛의 굴절률이 달라 활상면의 다른 위치에 초점이 맞아 채널 별 영상의 사이즈가 달라지는 기하학적 왜곡 현상을 발생시킨다. 즉, 영상의 주변부로 갈수록 각기 다른 굴절률의 영향을 더 많이 받아 색수차에 의한 결함 정도가 점

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

© Corresponding Author(E-mail: mkang@yonsei.ac.kr)

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

접수일자: 2013년3월25일, 수정완료일: 2013년8월26일

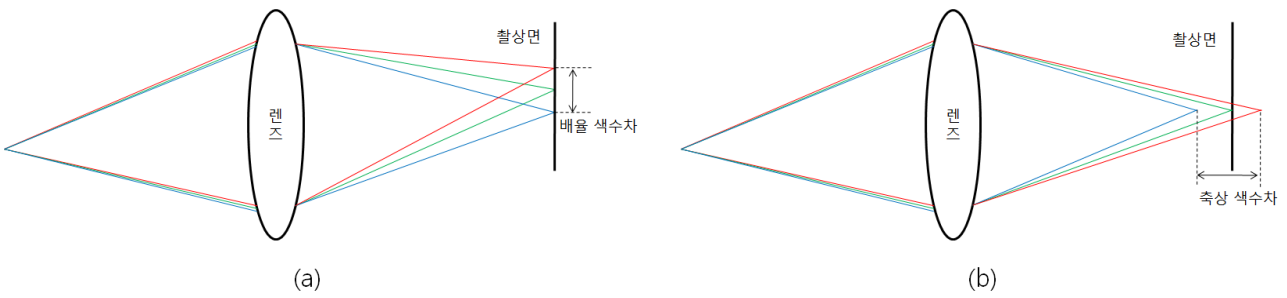


그림 1. (a) 배울 색수차, (b) 축상 색수차  
 Fig. 1. (a) Lateral chromatic aberration, (b) Longitudinal chromatic aberration.

점 심하게 나타나는 특성을 가지게 된다. 축상 색수차는 그림 1(b)에서 보는 바와 같이 빛의 굴절률의 차이로 인해 파장에 따라 렌즈와 초점면의 거리가 차이 날 때 발생한다. 그 결과 축상 색수차는 촬상면에 초점이 맞지 않는 파장에 대해서 흐림 현상이 초래된다. 이 결과, 색수차는 공통적으로 RGB (Red, Green, Blue) 채널의 에지 주변에서 색 결합들을 발생시키게 된다.

그림 2는 색수차에 의해 결합이 일어난 영상들로 위의 그래프는 영상 중앙의 점선 부분의 RGB 채널의 밝기 값을 나타낸 것이다. 그래프는 강한 에지 부분에서 채널 간 에지가 어긋나 있는 것을 확인할 수 있고, 그 부분에서 잘못된 색 결합이 나타난 것을 영상을 통해 확인할 수 있다. 또한 추가적으로 purple fringing 현상이 색수차로 인한 결합과 더불어 나타나게 되는데, 이 현상은 영상의 아주 밝은 영역 주변부에서 보라색의 번짐이 넓게 발생하는 현상이다. 이 현상은 색수차 현상이 이미징 센서의 블루밍 현상(sensor blooming)<sup>[1]</sup>으로 증폭되어 발생한다. 이처럼 색수차로 인한 결합은 영상의 특성으로 인해 에지 부분에서 RGB 채널이 어긋나 색 결합이 일어나게 된다. 그러므로 영상의 국부적 특성을 고려한 색수차 제거 방법이 필요하다.

영상 획득 장치에서 나타나는 색수차 현상을 극복하기 위하여 achromatic 렌즈 혹은 apochromatic와 같은 렌즈를 렌즈군에 삽입하는 방법으로 색수차를 억제하는 방법<sup>[2]</sup>이 연구되었다. 그러나 이러한 방법들은 색수차를 완벽하게 제거하기 힘들 뿐 아니라 고비용과 렌즈군의 부피 증가 등의 문제들을 가지고 있다. 이러한 문제들을 해결하기 위해 신호처리적인 방법으로 색수차를 제거하기 위한 방법<sup>[3~6]</sup>들이 제안되었다.

신호처리를 이용한 대부분의 방법들은 대부분 렌즈의 특성을 대표하는 계수들을 추출해 영상 왜핑(image warping) 방법을 이용해 보정하는 방법으로 연구되었다. 이 방법들은 큰 범주 안에서 사전 패턴 영상을 사용

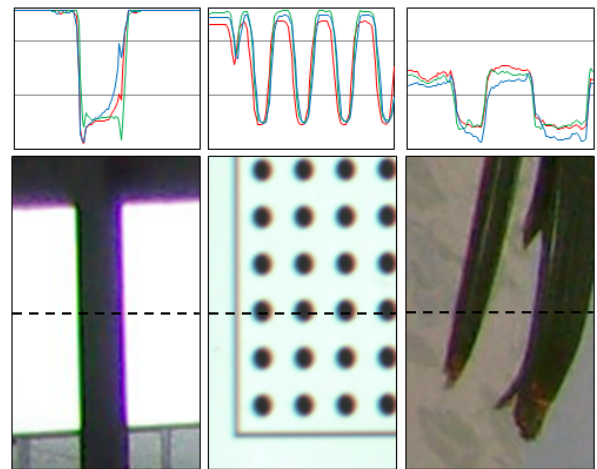


그림 2. 색수차가 일어난 영상  
 Fig. 2. Images corrupted by chromatic aberration.

해 계수들을 추출하는 방법<sup>[3~5]</sup>과 추가적인 영상 없이 보정하는 방법<sup>[6]</sup>으로 분류된다. 하지만 영상 왜핑을 이용한 방법들은 배울 색수차로 인한 기하학적 왜곡 현상을 완화시킬 수 있지만, 축상 색수차에 인한 흐림 현상을 복원할 수 없다. 또한, 색수차 이외의 purple fringing과 같은 영상의 특성으로 인한 색 결합에 대한 고려가 없기 때문에 영상의 국부적인 특성에 의해 일어난 색 결합들을 보정할 수 없다.

이를 해결하기 위해 purple fringing을 제거하는 방법<sup>[7~9]</sup>으로 영상 내에서 밝은 영역 주변의 에지 부분에서 보라색을 띄는 부분을 검출해 보정하는 방법들이 제안되었다. 이 방법은 purple fringing을 비롯한 보라색 계통의 색수차 제거에는 효과가 있지만 다른 색의 색수차는 제거되지 않고, 특정 환경에서 실제로 존재하는 보라색의 색 정보를 제거하는 결합이 발생될 수 있다.

본 논문에서는 영상 획득 장치에서 발생하는 색수차 현상으로 인한 결합을 사전 패턴 영상의 필요 없이 주어진 영상에서 국부적인 특성을 이용해 배울 색수차와 축상 색수차에 의한 색 결합을 동시에 제거하는 방법을

제안한다. 이를 위해 먼저 영상의 에지 영역을 검출한 뒤, 에지 영역의 주변 영역을 각 채널의 최댓값과 최솟값을 이용해 색수차에 의한 결함이 일어난 영역을 추정한다. 이 후, 추정된 영역에서 채널간 상관관계를 이용하여 G 채널의 에지에 R 채널과 B 채널의 에지를 각 채널의 기울기를 고려하여 일치시키는 방법을 수행한다. 그 결과 색수차로 인해 어긋난 RGB 채널을 맞추어 색수차로 인한 결함을 제거할 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 제안하는 방법을 색수차 영역을 검출하는 방법과 제거하는 방법으로 나누어 차례로 설명한다. III장에서는 다양한 영상에 대한 실험 결과 및 기존 알고리즘과의 비교를 제공한다. 마지막으로 IV장에서 본 논문의 결론을 제시한다.

## II. 본 론

### 1. 색수차 영역 검출

제안되는 방법은 먼저 색수차에 의한 결함이 판단되는 영역을 추정한다. 색수차로 인한 결함은 영상의 에지 영역 주변에서 나타나며 이 때 사용하는 에지 영역은 G 채널의 에지 영역과 그 주변에서 검출한다. G 채널의 에지 영역을 이용하는 이유는 대부분의 auto-focusing 시스템이 휘도 성분에 가까운 G 채널에 초점을 맞추기 때문에 다른 채널에 비해 에지 부분이 뚜렷하기 때문이다. 또한 검출된 G채널의 에지는 영상을 보정하는 데에 있어서 다른 채널의 에지를 맞추는 용도로 사용된다.

G 채널의 에지 영역은 G 채널의 그래디언트의 절대값이 임계값  $th$  이상이 되는 값으로써 구할 수 있다. 색수차로 인한 색 결함이 나타나는 영역은 위에서 구한 에지 영역을 중심으로 R 채널과 B 채널의 에지가 G 채널의 에지와 어긋난 정도를 계산해 구할 수 있다. 제안되는 방법은 에지의 방향과 수직인 방향으로 주어진 국소 영역에서 각각의 R 채널과 B 채널의 최댓값 ( $R_{max}$ ,  $B_{max}$ )과 최솟값 ( $R_{min}$ ,  $B_{min}$ )까지의 거리를 에지의 주변의 색수차가 발생한 영역 ( $C_R$ ,  $C_B$ )으로 설정한다. 이 때 최댓값은 앞서 검출된 에지를 중심으로 G 채널 그래디언트의 양의 방향에서 검출하게 되며, 최솟값은 음의 방향에서 검출하게 된다. 검출 영역이 다른 이유는 최댓값과 최솟값이 에지를 중심으로 한쪽 방향에 있을 경우 색수차 영역이 잘못 검출될 뿐 아니라, 차 후 최댓값과 최솟값을 이용하여 색수차 영역을 보정하는데

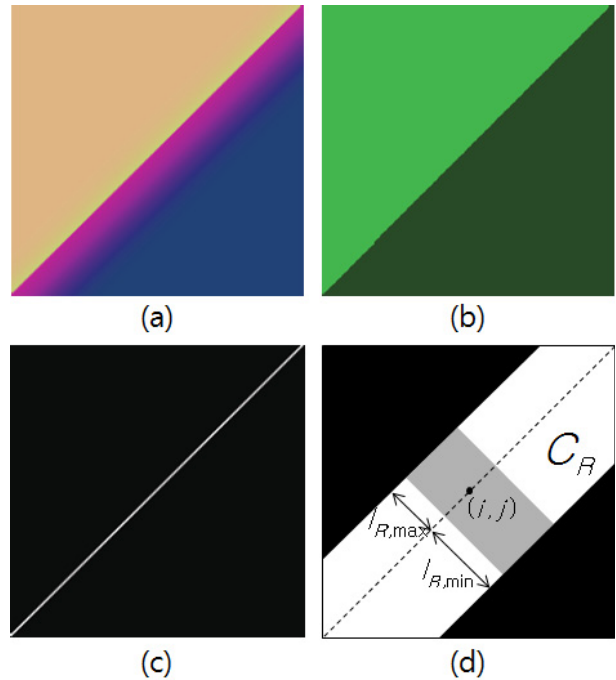


그림 3. 색수차 영역 검출 과정: (a) 색수차가 일어난 영상, (b) G 채널 영상, (c) 에지 영상, (d) R채널을 위한 영역 검출 결과

Fig. 3. Process for detection of chromatic aberration region: (a) a image corrupted by chromatic aberration, (b) G channel image, (c) edge map, (d) detection result for R channel.

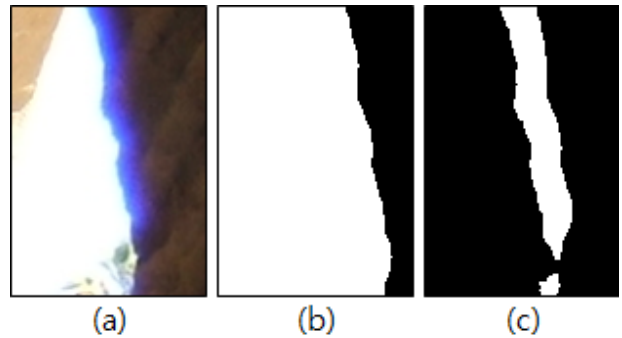


그림 4. Purple fringing 영역 검출 과정: (a) purple fringing이 일어난 영상, (b) 포화 영역과 그 주변 영역, (c) purple fringing 검출 결과

Fig. 4. Process for detection of purple fringing: (a) a image corrupted by purple fringing, (b) saturation region and neighborhood, (c) detection result of purple fringing.

정확하지 않은 추정 결과를 가져오기 때문이다.

그림 3은 R 채널에서 색수차 영역 검출을 위한 과정을 나타낸 것이다. 그림 3(a)는 색수차가 일어난 영상을 모델링하여 나타낸 것이다. 그림 3(b)는 G 채널 영상을 나타낸 것이고, 그림 3(c)는 이로부터 구한 에지 영상을 나타낸 것이다. 그림 3(d)는  $(i, j)$  위치에서 R 채널의

최댓값과 최솟값을 이용하여 색수차 영역을 검출한 결과이다.  $l_{R, \min}$  과  $l_{R, \max}$  는 각각 R 채널에서 에지와  $R_{\min}$  와의 거리, 에지와  $R_{\max}$  와의 거리를 나타낸다.

추가적으로 색수차 이외의 purple fringing 현상이 나타나는 영역을 검출한다. purple fringing 현상은 색수차 영역과 유사하게 에지 영역에서 발생하기 때문에 앞서 구한 색수차 영역을 이용해서 대부분이 검출되지만, 색수차 현상에 비해 넓은 영역에 걸쳐서 발생하기 때문에 이를 추가적으로 검출하는 것이 필요하다. 본 논문에서는 Kang<sup>[7]</sup>이 제안한 purple fringing 검출 영역을 이용하였다. 이 방법은 영상의 포화 영역과 purple fringing의 색 특성을 가지는 영역을 검출한 뒤, 이를 이용해 최종적인 purple fringing 영역을 검출한다. 그림 4는 purple fringing 검출 과정을 나타낸 것이다.

앞서 구한 R과 B 채널의 색수차 영역과 purple fringing 영역의 합집합으로 최종 R과 B 채널의 색수차 영역을 결정한다. 이 영역은 실제의 색 결함을 나타낸 영역보다는 넓게 검출이 되지만, 영역에 강인한 복원 방법에 의해 본래의 색이 훼손되는 현상 없이 색수차를 제거할 수 있다.

## 2. 색수차 영역 보정

색수차 영역을 복원하기 위해서 앞에서 구한 색수차 영역을 바탕으로 R 채널과 B 채널 에지의 그래디언트를 G채널 에지의 그래디언트와 맞추는 방법을 이용한다. G 채널 에지의 그래디언트와 맞추는 것은 배울 색수차를 제거할 수 있을 뿐 아니라 축상 색수차로 인해 R 채널과 B 채널의 무너진 에지를 G 채널의 에지와 맞추어 흐림 현상을 제거할 수 있기 때문에 축상 색수차를 제거하는 효과를 가진다. 또한, purple fringing과 같이 밝은 영역에서 나타는 색 결함까지 제거할 수 있다. 제안되는 방법에서는 다음과 같은 에너지 함수  $L_R, L_B$  를 검출된 색수차 영역 안에서 최소화 시키는 방법으로 색 결함을 복원 시킨다.

$$\begin{aligned} L_R(i, j) &= \|\rho_R(i, j)\nabla I_G(i, j) - \nabla \hat{I}_R(i, j)\|^2 \\ L_B(i, j) &= \|\rho_B(i, j)\nabla I_G(i, j) - \nabla \hat{I}_B(i, j)\|^2 \end{aligned} \quad (1)$$

위 식에서  $\nabla$ 는 그래디언트 연산자를 나타내며,  $I_G$ 은 주어진 영상의 G 채널의 밝기,  $\hat{I}_R, \hat{I}_B$ 는 각각 복원하고자 하는 R 채널과 B 채널의 밝기를 나타낸다. 또한,  $\rho_R(i, j), \rho_B(i, j)$ 은 그래디언트의 복원하고자 하는 채널의 밝기의 그래디언트 비율을 조정하는 가중치 함수이다.

이 때,  $\rho_R(i, j), \rho_B(i, j)$ 는 식 (2)와 식 (3)과 같이 표현할 수 있다. 색수차가 검출된 영역 대부분에서는  $\nabla G$  값을 복원하고자 하는 채널에 그대로 적용시키면 되지만, G채널의 강한 에지 부분에서는 그대로 적용시킬 경우에는 채널간 에지 크기의 차이로 인해 에지의 잘못된 변동현상이 일어나게 된다. 이를 방지하기 위해 에지 검출 과정에서 구한 에지 주변 영역의 채널별 최댓값과 최솟값을 이용한다. 이를 이용하여 강한 에지 부분에서 채널간 비율  $\rho_R(i, j), \rho_B(i, j)$ 를 구해 식 (1)에 적용시킨다.

그림 5는  $\rho_R(i, j)$ 의 설계 과정을 그래프로써 나타낸 것으로 검은색 실선과 회색 실선은 원본 영상의 R 채널과 G 채널을 나타내며 검은색 점선은 복원된 R 채널을 나타낸다. G 채널의 에지 부분이 아닌 영역에서는  $\rho_R = 1$ 으로  $\nabla I_G$ 의 값이  $\nabla \hat{I}_R$ 에 그대로 적용되지만

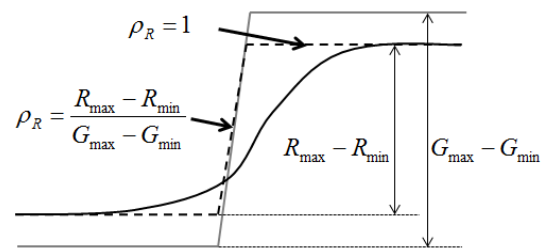


그림 5. 가중치 함수  $\rho_R$  설계 과정

Fig. 5. Process for construction of weighted function  $\rho_R$ .

$$\rho_R(i, j) = \begin{cases} \frac{R_{\max}(i, j) - R_{\min}(i, j)}{G_{\max}(i, j) - G_{\min}(i, j)}, & \text{if } \|\nabla I_G(i, j)\| > th \\ 1, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

$$\rho_B(i, j) = \begin{cases} \frac{B_{\max}(i, j) - B_{\min}(i, j)}{G_{\max}(i, j) - G_{\min}(i, j)}, & \text{if } \|\nabla I_G(i, j)\| > th \\ 1, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

G 채널의 에지 부분에서는 각 채널간 에지의 크기를 고려한 비율을 적용됨으로써 R 채널과 G 채널의 에지가 맞춰지는 것을 확인할 수 있다.

식 (1)는 색수차 영역 안에서 Euler-Lagrange 식을 통해서 색수차 영역 내에서 다음과 같은 Poisson 식으로 나타내어진다<sup>[10]</sup>.

$$\begin{aligned} \nabla^2 \hat{I}_R(i, j) &= \nabla \cdot \{ \rho_R(i, j) \nabla I_G(i, j) \} \\ \nabla^2 \hat{I}_B(i, j) &= \nabla \cdot \{ \rho_B(i, j) \nabla I_G(i, j) \} \end{aligned} \quad (4)$$

위 식에서  $\nabla^2$ 는 Laplacian 연산자를 나타낸다. 식 (4)는 기존에 알려져 있는 Poisson's solver 들을 통해 구할 수 있으며, 본 논문에서는 색수차 영역이 전체 영상에 비해 작은 영역에서 일어나기 때문에 간단하게 구현 가능한 Gauss-Seidel 방법을 이용하였다.

### III. 실험 결과

제안하는 알고리즘의 성능 비교를 위해서 색수차가 일어난 각 채널별로 8bit의 신호로 구성되어 있는 약 천만화소의 다양한 영상에 대해 기존의 색수차 제거 알고리즘들과 비교했다. 본 논문에서 사용된 에지 검출을 위한 계수  $th$ 는 20으로 설정하였다. 또한, 최댓값과 최솟값을 찾기 위한 영역은 에지를 중심으로 12 pixel의 거리를 사용하였다. 이는 색수차와 purple fringing으로 인한 결합이 나타나는 범위를 고려하여 실험적으로 결정된 것이다. 제안하는 알고리즘과 성능 비교를 위해 사전 정보 없이 색수차를 제거하는 warping 기반의 방법<sup>[6]</sup>과 색 특성을 고려한 purple fringing 제거 방법<sup>[7]</sup>과 비교를 하였다.

그림 6부터 그림 8까지는 일반적인 영상에 대해서 영상의 주변부의 한 부분을 확대한 결과이다. 그림 6은 실외에서 촬영한 영상으로 그림 6(a)의 원영상에 확인할 수 있듯이 나뭇잎 뒤의 강한 광원으로 인해 purple fringing이 강하게 나타나고, 나뭇잎 테두리에 약한 초록색 색수차가 발생하였다. 그림 6(b)의 warping기반 방법 결과에서는 보라색의 색 결합이 약간 줄어들었지만 여전히 상당히 남아있는 것이 확인되며, 그림 6(c)의 purple fringing 제거 방법 결과에서는 보라색의 색 결합이 충분히 제거가 되었지만 초록색의 색수차는 여전히 남아있는 것이 확인된다. 이에 비해 그림 6(d)의 제안한 방법에서는 두 종류의 색 결합에 대해서 충분히 제거된 것을 확인할 수 있다. 그림 6(e)와 (f)에서는 R

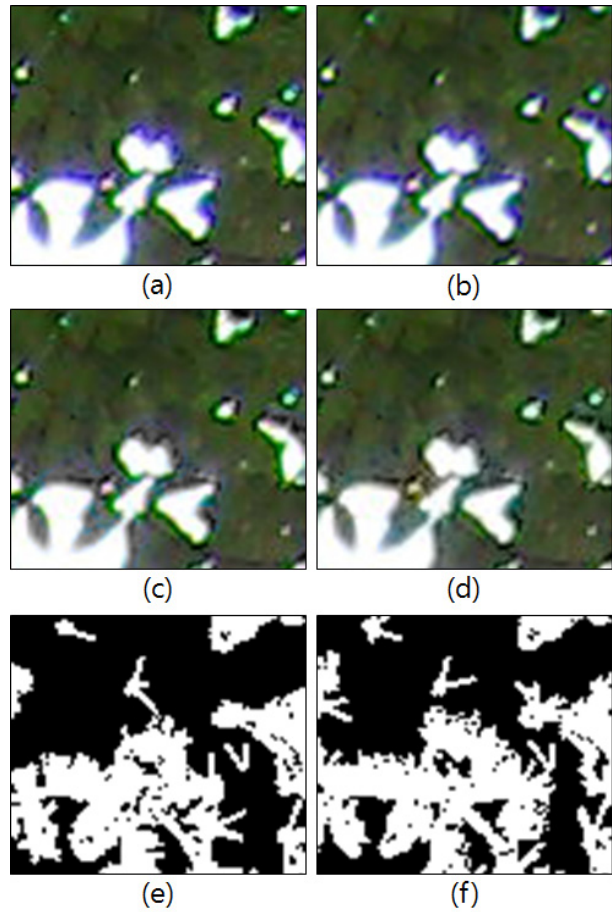


그림 6. (a) 원영상, (b) warping 기반의 방법, (c) purple fringing 제거 방법, (d) 제안한 결과 (e)  $C_R$  (f)  $C_B$   
Fig. 6. (a) Original image, (b) warping-based method, (c) purple fringing removal method, (d) proposed result (e)  $C_R$  (f)  $C_B$ .

채널과 B채널의 색수차 검출 영역을 나타낸 것이다. 검출된 영역은 실제의 색수차 영역보다는 넓게 검출되었지만 제안된 방법은 검출 영역에 강인하기 때문에 색이 바래는 현상 없이 색수차가 제거된 것을 확인할 수 있다. 그림 7은 실내에서 색수차가 발생한 영상으로 보라색의 실과 은색 장식이 위치해 있는 곳을 확대한 것이다. 그림 6에서 나타나는 색 결합과 마찬가지로 그림 7(a)에서 보라색과 초록색의 색 결합이 확인되어진다. Warping기반 방법 결과에서는 잘못된 warping 계수 추정으로 색수차가 거의 줄어들지 않은 것이 확인되며, purple fringing 제거 방법 결과에서는 보라색의 색 결합이 줄어들지만 기존의 보라색의 실이 무채색으로 되어 기존의 색 정보를 잃어버리게 된다. 이에 비해 제안한 방법에서는 보라색의 색 정보를 유지하면서 잘못된 보라색과 초록색의 결합이 사라지는 것이 확인된다. 그

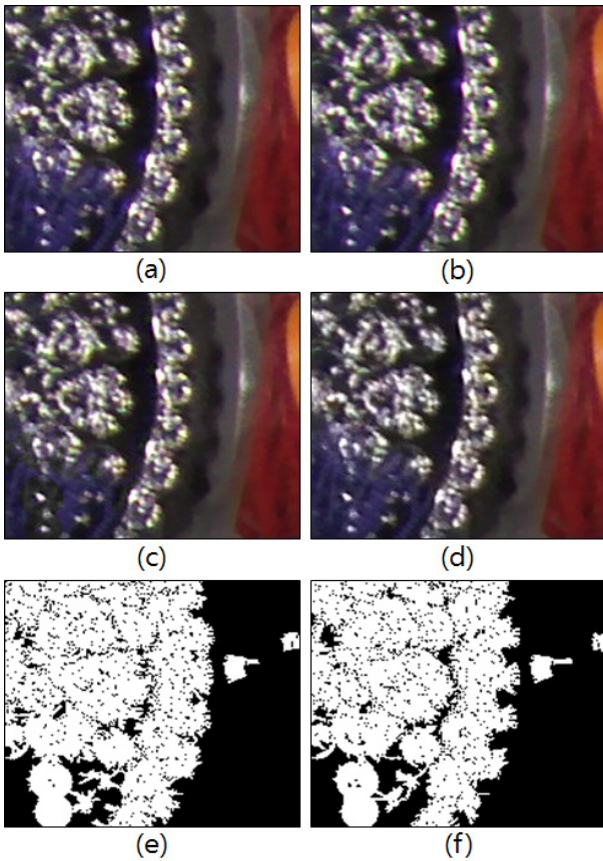


그림 7. (a) 원영상, (b) warping 기반의 방법, (c) purple fringing 제거 방법, (d) 제안한 결과 (e)  $C_R$  (f)  $C_B$

Fig. 7. (a) Original image, (b) warping-based method, (c) purple fringing removal method, (d) proposed result (e)  $C_R$  (f)  $C_B$ .

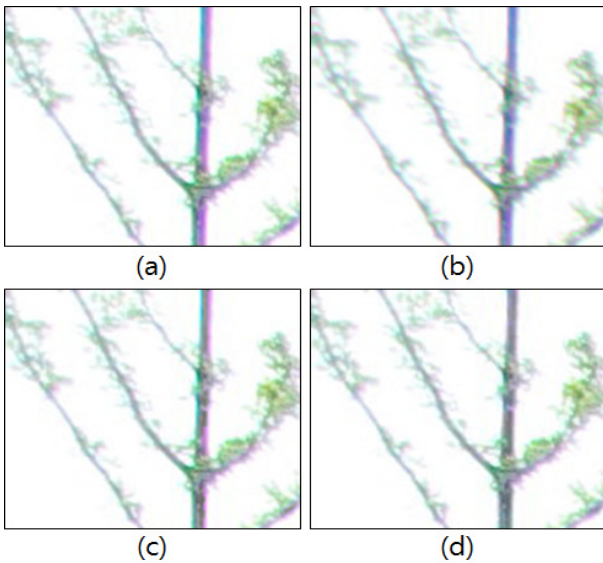


그림 8. (a) 원영상, (b) warping 기반의 방법, (c) purple fringing 제거 방법, (d) 제안한 결과

Fig. 8. (a) Original image, (b) warping-based method, (c) purple fringing removal method, (d) proposed result.

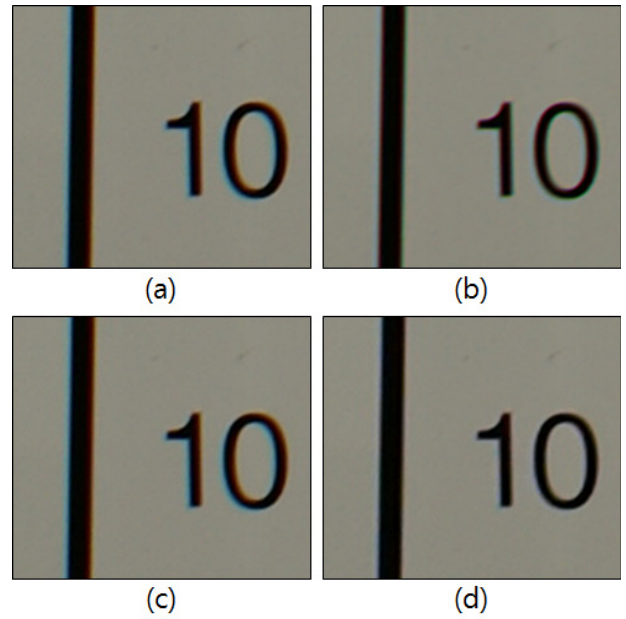


그림 9. (a) 원영상, (b) warping 기반의 방법, (c) purple fringing 제거 방법, (d) 제안한 결과  
Fig. 9. (a) Original image, (b) warping-based method, (c) purple fringing removal method, (d) proposed result.

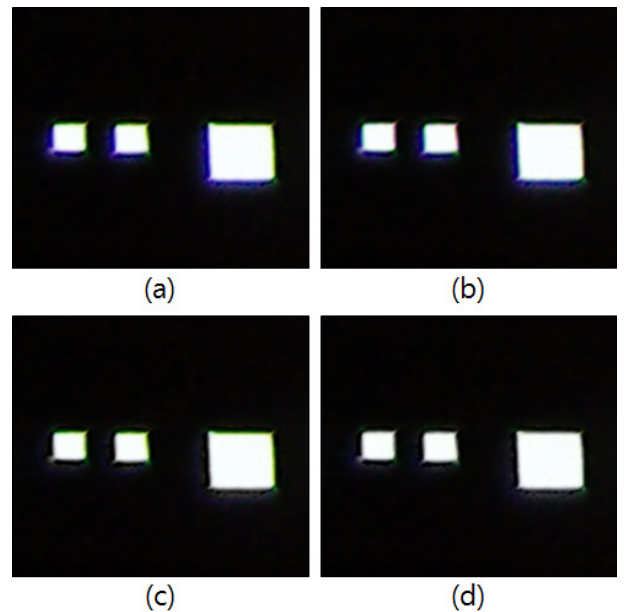


그림 10. (a) 원영상, (b) warping 기반의 방법, (c) purple fringing 제거 방법, (d) 제안한 결과  
Fig. 10. (a) Original image, (b) warping-based method, (c) purple fringing removal method, (d) proposed result.

림 8에서도 청록색과 보라색의 결합이 나타나는 것이 확인된다. 기존 방법들에 비해 제안하는 방법이 좋은 결과를 보이는 것을 그림 8(d)에서 주관적으로 확인할 수 있다.

그림 9와 그림 10은 색수차 제거의 주관적인 평가 뿐 아니라 정량적인 수치를 측정하기 위하여 무채색의 영역을 촬영한 영상이다. 그림 9는 해상도 차트의 주변부 영역을 나타낸 것이고, 그림 10은 검은 종이에 정사각형 구멍을 뚫은 뒤, 종이 뒤로 강한 광원을 세워 촬영한 것이다. 그림 9와 그림 10에서도 제안한 방법이 기존의 방법보다 눈으로 확인했을 때 잘못된 색 결합이 가장 많이 제거된 것을 확인할 수 있다.

색수차 제거 정도의 정량적인 수치를 측정하기 위하여 사용한 지표는 채널간 색차이의 분산 값 (variance of the color differences: VCD)을 이용했으며 아래의 식으로 표현된다.

$$VCD_X = \frac{\sum_{i=0}^M \sum_{j=0}^N \{X(i,j) - G(i,j)\}^2}{M \cdot N} \quad (5)$$

위 식에서  $X$ 는 R, B 채널을 나타내며,  $M$ 과  $N$ 은 각각 영상의 세로와 가로 크기를 나타낸다. 즉, 무채색 영역을 촬영한 영상에서 색수차가 적을수록  $VCD_R$ 과  $VCD_B$ 의 값은 작아지게 된다. 표 1에서 확인할 수 있듯이 제안한 방법이 원 영상과 다른 기존의 방법에 비해  $VCD_R$ 과  $VCD_B$ 의 수치가 낮아 색 결합이 제거되어 영상이 전체적으로 무채색이 된 것을 확인할 수 있다.

표 1. 기존 방법과 제안한 방법의 VCD 비교  
Table 1. VCD comparisons between conventional methods and proposed method.

방법	그림 9		그림 10	
	$VCD_R$	$VCD_B$	$VCD_R$	$VCD_B$
입력영상	72.53	151.14	92.38	288.84
[6]	48.62	162.02	100.97	169.36
[7]	72.53	151.14	81.94	107.52
제안한 결과	17.07	111.53	62.45	35.69

#### IV. 결 론

본 논문에서는 채널간 상관관계를 이용하여 에지 영역에서 발생하는 색수차 결합을 제거하는 알고리즘을 제안하였다. 제안하는 방법은 영상의 에지 영역을 이용하여 색수차가 나타나는 영역을 검출하고, 각 화소 위치에서 채널간 에지의 기울기를 이용하여 색수차 결합을 제거하였다. 색수차 영역 검출에 대해서는 먼저 영

상의 강한 에지를 검출한 뒤, 에지의 방향과 수직인 방향에서 밝기의 최댓값과 최솟값을 이용해서 검출하도록 하였다. 그리고 색수차 영역을 제거하는 것에 있어서는 검출한 영역에 대해서 각 채널의 에지를 주변 화소를 고려하여 각 채널의 에지 영역에서의 기울기를 추정한 후 일치시키는 방법을 이용하여 제거하였다. 실험 결과에서 수치적 결과와 실제 영상들을 통해 제안하는 알고리즘이 객관적, 주관적 측면에서 기존 알고리즘보다 좋은 성능을 나타내었다.

#### REFERENCES

- [1] J. Nakamura, Image sensors and signal processing for digital still cameras, *Taylor & Francis*, 2006.
- [2] P. Mouroulis and J. Macdonald, Geometrical optics and optical design, *Oxford University Press*, 1997.
- [3] J. Mallon and P. F. Whelan, "Calibration and removal of lateral chromatic aberration in images", *Pattern Recogn. Lett.*, Vol. 28, No. 1, pp. 125-135, 2007.
- [4] V. Kaufmann and R. Ladst'adter, "Elimination of color fringes in digital photographs caused by lateral chromatic aberration", in *Proc. of 20th Int. Comit'e International de Photogramm'etrie Architecturale (CIPA) Symp.*, October. 2005.
- [5] T. Gloe, A. Winkler, and K. Borowka, "Efficient estimation and large-scale evaluation of lateral chromatic aberration for digital image forensics", in *Proc. of SPIE Conf. on Media Forensics and Security*, January. 2010.
- [6] S. B. Kang, "Automatic removal of chromatic aberration from a single image", in *Proc. of IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 1-8, June. 2007.
- [7] S. Kang, "Automatic removal of purple fringing from images," U.S. Patent No 2007/0153341, 2007.
- [8] B. Kim and R. Park, "Automatic detection and correction of purple fringing using the gradient information and desaturation", in *Proc. of 16th European Signal Processing Conf.*, October. 2008.
- [9] D. Lee, B. Kim, and R. Park, "Purple fringing correction using colorization in Yxy color space", in *Proc. of IEEE Intl. Conf. on Consumer Electronics*, January. 2011.
- [10] C. Fox, An Introduction to the Calculus of Variations, *Dover Publications*, 2010.

## — 저 자 소 개 —



강 희(학생회원)  
 2007년 연세대학교 전기전자  
 공학과 학사 졸업.  
 2007년~연세대학교 전기전자  
 공학과 석박사 통합과정.  
 <주관심분야 : 편미분 방정식을  
 이용한 영상처리, 콘트라스트 향  
 상, HDR 영상 복원>



강 문 기(정회원)-교신저자  
 1986년 서울대학교 전자공학과  
 학사 졸업.  
 1988년 서울대학교 전자공학과  
 석사 졸업.  
 1994년 Northwestern University  
 박사 졸업.  
 1994년~1997년 Assistant Professor. (University  
 of Minnesota, Duluth)  
 1997년~1999년 연세대학교 전기전자공학과  
 조교수.  
 1999년~2004년 연세대학교 전기전자공학과  
 부교수.  
 2004년~연세대학교 전기전자공학과 정교수.  
 <주관심분야 : 영상복원, 초해상도 영상복원, 비  
 선형 필터링, 비디오 분석 및 처리 부화소단위의  
 움직임 추정>