

논문 2010-47SP-4-3

# 웨이블릿 패킷 기반의 컬러화 알고리즘에서 슈도랜덤코드 삽입을 이용한 채도 보상 방법

## ( Saturation Compensating Method by Embedding Pseudo-Random Code in Wavelet Packet Based Colorization )

고 경 우\*, 장 인 수\*, 경 왕 준\*, 하 영 호\*\*

( Kyung-Woo Ko, In-Su Jang, Wang-Jun Kyung, and Yeong-Ho Ha )

### 요 약

본 논문에서는 웨이블릿 패킷 변환(WPT) 기반의 컬러화 알고리즘에서 슈도랜덤코드(pseudo-random code) 정보의 삽입을 통해 복원된 컬러 영상에서 채도를 보상하는 방법을 제안한다. 우선 컬러 영상을 흑백 영상으로 변환하는 과정(컬러-그레이변환)에서 RGB 영상을 YCbCr 영상으로 변환한 후, Y 영상에 2레벨 웨이블릿 패킷 변환을 적용하여 정보량이 최소인 부영역(수평의 수직, 수직의 수평 부영역)에 CbCr 영상을 삽입한다. 이때 프린팅 및 스캐닝 과정에서 발생하는 채도 열화를 보상하기 위해 원본 영상 CbCr의 최대값 및 최소값을 슈도랜덤코드 형태로 변환하여 대각의 대각 부영역에 역시 삽입한다. 슈도랜덤코드는 CbCr의 최대값 및 최소값을 흰색 점의 개수로 표현한 영상으로, 컬러 복원 과정(그레이-컬러변환)에서 이를 추출하여 원본의 CbCr 최대값 및 최소값과 복원 영상의 CbCr 최대값 및 최소값과의 비를 가중치로 이용함으로써 채도 보상 알고리즘을 수행한다. 실험을 통해 제안된 방법이 복원된 컬러 영상에서 채도를 향상시킴을 색차와 PSNR 수치로 확인할 수 있었다.

### Abstract

This paper proposes a saturation compensating method by embedding pseudo-random code information in wavelet packet based colorization algorithm. In the color-to-gray process, an input RGB image is converted into YCbCr images, and a 2-level wavelet packet transform is applied to the Y image. And then, color components of CbCr are embedded into two sub-bands including minimum amount of energy on the Y image. At this time, in order to compensate the color saturations of the recovered color image during the printing and scanning process, the maximum and minimum values of CbCr components of an original image are also embedded into the diagonal-diagonal sub-band by a form of pseudo-random code. This pseudo-random code has the maximum and minimum values of an original CbCr components, and is expressed by the number of white pixels. In the gray-to-color process, saturations of the recovered color image are compensated using the ratio of the original CbCr values to the extracted CbCr values. Through the experiments, we can confirm that the proposed method improves color saturations in the recovered color images by the comparison of color difference and PSNR values.

**Keywords :** Colorization, WPT(wavelet packet transform), saturation, pseudo-random code

\* 학생회원, \*\* 정회원-교신저자, 경북대학교 전자전기 컴퓨터학부

(School of Electrical Engineering and Computer Science, Kyungpook National University)

※ 본 연구는 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구(No. 2010-0000401)며, 2010년도 BK21 사업의 지원으로 수행되었음.

접수일자: 2009년12월22일, 수정완료일: 2010년4월21일

### I. 서 론

최근 디지털 미디어의 발전으로 인하여 네트워크 통신을 통해 정보를 전송하는 일이 일반화되었다. 이러한 정보의 전송 과정에서는 전송할 데이터의 양을 줄일 수 있는 압축 기술이 필수적이다.<sup>[1~2]</sup> 영상 데이터 전송의

경우, 인코더에서 컬러 영상을 흑백 영상으로 변환하고 디코더에서 컬러 영상을 다시 복원할 수 있다면, 전송하는 정보량을 줄여 보다 효과적인 전송이 가능하다. 이 방법은 통신상에서의 데이터 전송에서 뿐만 아니라, 실제 오프셋 프린팅 분야에도 적용이 가능하다. 최근 컬러 프린터가 많이 보급되어 있지만 아직까지도 학교나 사무실, 가정에서는 흑백 프린터가 널리 사용되고 있다. 흑백 프린터를 이용하여 컬러 영상을 한번 인쇄하면, 인쇄 과정에서 색 정보를 모두 잃어버리기 때문에 인쇄된 흑백 영상에서 색 정보를 다시 복원하는 것은 일반적으로 불가능하다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위해 색 정보를 흑백 영상에 삽입하고 이를 다시 추출하여 흑백 영상을 컬러 영상으로 복원하는 컬러화 알고리즘이 최근 연구되고 있다.<sup>[3~7]</sup>

Querioz와 Braun은 웨이블릿 변환을 이용한 컬러화 알고리즘을 처음으로 제안하였다.<sup>[3~4]</sup> 이 방법에서는 우선 입력 RGB 영상을 YCbCr로 변환한 후, Y 영상을 웨이블릿 변환하여 수직과 수평 sub-band에 CbCr 색 정보를 삽입한다. 그리고 역 웨이블릿 변환을 통해 컬러 정보가 삽입된 흑백 영상, 즉 Y' 영상을 획득하게 된다. 이렇게 획득된 Y' 영상을 프린팅 및 스캐닝하고 웨이블릿 변환을 이용하여 색 정보 CbCr을 추출하게 되면 컬러 영상을 다시 복원할 수 있다. 하지만 색 정보를 추출하는 과정에서 웨이블릿 변환된 Y 영상의 수직과 수평 성분의 정보를 잃어버렸기 때문에 복원된 컬러 영상에서 경계부분의 선명도가 떨어지며, 스캐닝 과정에서 발생하는 열화로 인하여 채도 또한 떨어지게 된다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 최근 웨이블릿 패킷 변환을 이용한 컬러화 알고리즘이 제안되었다.<sup>[5~6]</sup> 이 방법에서는 웨이블릿 패킷 변환을 이용하여 Y 영상을 16개의 sub-band로 나누고, 정보량이 가장 적은 sub-band에 색 정보를 삽입하여 영상 복원 시 경계 손실을 최소화 하였다. 또한 프린터와 스캐너의 특성 곡선 및 원본 영상 CbCr의 최대값과 최소값을 이용하여 복원된 컬러 영상의 채도를 보상하였다. 하지만 채도 보상 시 이용된 특성 곡선 및 원본 영상 CbCr의 최대값과 최소값을 미리 알고 있다고 가정하였으며, 특히 특성 곡선은 사용되는 프린터와 스캐너의 종류가 바뀌면 곡선의 함수 또한 바뀌기 때문에 적용이 쉽지 않다.

따라서 본 논문에서는 웨이블릿 패킷 변환 기반의 컬러화 알고리즘에서 슈도랜덤코드(pseudo-random code)

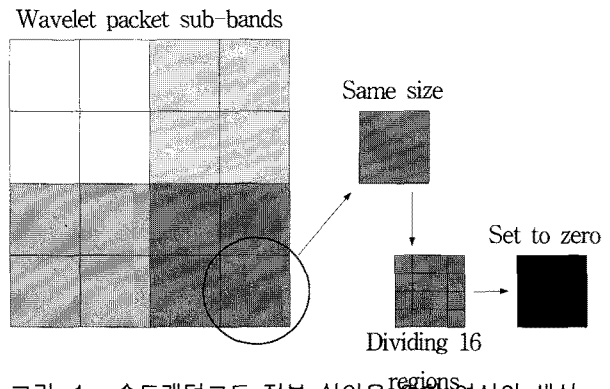


그림 1. 슈도랜덤코드 정보 삽입을 위한 영상의 생성  
Fig. 1. Image generation to embed the information of pseudo-random code.

정보의 삽입을 통해 복원된 컬러 영상에서 채도를 보상하는 방법을 제안하였다. 슈도랜덤코드는 원본 CbCr의 최대값 및 최소값 정보를 흰색 화소의 개수로 표현한 영상으로, color-to-gray 과정에서 웨이블릿 패킷 변환된 Y 영상의 sub-band 중 대각의 대각 sub-band에 삽입한다. 그리고 gray-to-color 과정에서 이를 추출하여 원본의 CbCr 최대값 및 최소값과 복원된 영상의 CbCr 최대값 및 최소값과의 비를 가중치로 이용함으로써 채도 보상 알고리즘을 수행한다. 그 결과 제안된 방법으로 복원된 컬러 영상에서 채도가 향상됨을 색차와 PSNR 수치로 확인할 수 있었다.

## II. 제안한 컬러화 방법

### 1. 슈도랜덤코드의 생성

슈도랜덤코드는 원본 영상 CbCr의 최대값 및 최소값 정보를 가지는 영상으로, 네 개의 정보(Cb\_max, Cb\_min, Cr\_max, Cr\_min)를 흰색 화소의 개수로 표현한다. 슈도랜덤코드의 생성을 위해서는 다음의 과정이 필요하다.

첫째, 2-level 웨이블릿 패킷 sub-band와 동일한 크기의 영상을 생성하고, 그림 1과 같이 생성된 영상을 다시 동일한 크기의 16개 영역으로 분할한다. 이때 영상 내 모든 화소의 초기값은 검은색(value: 0)으로 설정한다.

둘째, CbCr 최대값 및 최소값의 범위를 변환하고 각 유효숫자를 분리한다. 일반적으로 CbCr 값의 범위는 [-128, +127]이지만, 본 논문에서는 그 범위를 반으로 줄여 [-64, +63]으로 표현하였다. 그 이유는 세 자리 숫자보다 두 자리 숫자가 정보량 표현이 간단하기 때문이

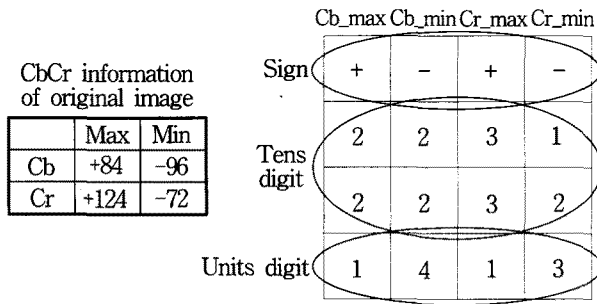


그림 2. CbCr 최대값 및 최소값 정보가 삽입될 위치와 그 예  
 Fig. 2. An example of embedding the maximum and minimum values of CbCr components.

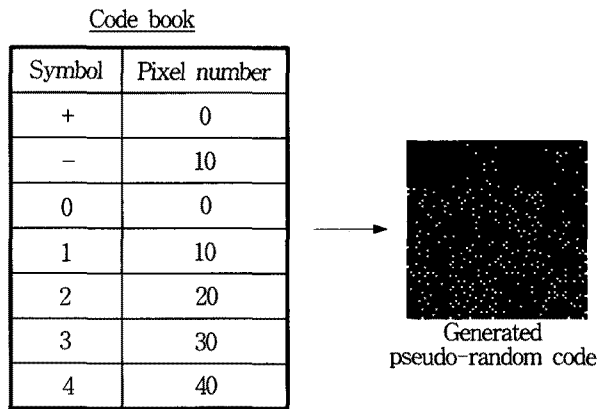


그림 3. 슈도랜덤코드 영상 생성을 위한 코드북과 생성된 슈도랜덤코드 영상의 예  
 Fig. 3. Code book for generating pseudo-random code and an example of generated pseudo-random code.

다. 그 후 십의 자리 숫자는 다시 두 부분으로 나누어 표현하고, 일의 자리 숫자 또한 반으로 줄여 표현한다. 예를 들어 112를 슈도랜덤코드로 표현하면, 우선 크기를 반으로 줄여 56이 되고, 십의 자리 숫자 5는 두 부분으로 나누어 2와 3의 합으로 표현한다. 그리고 일의 자리 숫자 6은 반으로 줄여 3으로 표현한다.

셋째, 각각의 정보를 삽입할 위치를 지정한다. 16개의 동일한 영역으로 나누어진 슈도랜덤코드 영상 내에서 1열, 2열, 3열, 4열에 각각 Cb\_max, Cb\_min, Cr\_max, Cr\_min 정보를 삽입한다. 그리고 1행은 부호 정보, 2행과 3행은 십의 자리 정보, 4행에는 일의 자리 정보를 삽입한다. 그림 2는 각 정보가 삽입될 위치와 그 예를 보여주고 있다.

마지막으로, 각 위치에 해당하는 유효 숫자를 흰색 (value: 255) 화소의 개수로 표현하여 영역 내에 랜덤하게 퍼트린다. 그림 3은 유효 숫자와 그에 해당하는 화

소의 개수를 정의한 코드북을 보여주고 있으며, 또한 그에 따라 생성된 슈도랜덤코드의 결과 영상이다.

### 2. Color-to-gray 알고리즘

원본의 RGB 영상이 입력되면 변환행렬을 이용하여 YCbCr 영상으로 변환한 후, Y 영상에 2-level 웨이블릿 패킷 변환을 적용하여 16개의 sub-band로 분리한다. 다음으로 각 sub-band의 정보량을 조사한 후, 그 중에서 정보량이 상대적으로 적은 두 개의 sub-band(수직의 수평, 수평의 수직 sub-band)를 선택하고, CbCr 영상의 크기를 1/4로 줄인 후 선택된 두 개의 sub-band에 삽입한다.<sup>[5~6]</sup> 그와 동시에 미리 생성된 슈도랜덤코드 영상을 대각의 대각 sub-band에 삽입하고, 역 웨이블릿 패킷 변환을 적용하면 색 정보 및 CbCr 최대값과 최소값 정보를 포함한 새로운 흑백 영상(Y' 영상)이 획득된다. 그림 4는 본 논문에서 제안한 방법의 color-to-gray 과정을 전체적으로 보여준다.

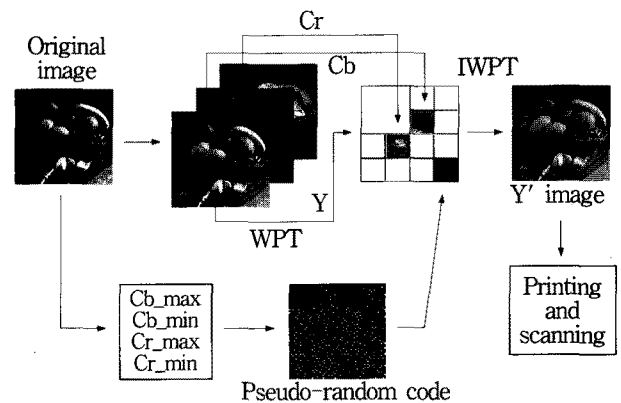


그림 4. 컬러 영상을 흑백 영상으로 변환하는 과정  
 Fig. 4. Process of color-to-gray algorithm.

### 3. Gray-to-color 알고리즘

색 정보 및 CbCr 최대값과 최소값 정보를 포함하고 있는 Y' 영상에서 color-to-gray 과정을 역으로 적용하면, 그 정보를 추출하여 컬러 영상으로 복원이 가능하다. 인쇄된 Y' 영상을 스캔하여 웨이블릿 패킷 변환을 적용하면 16개의 sub-band로 다시 나눌 수 있고, 색 정보인 CbCr을 추출하여 원본 영상과 동일한 크기로 보간(interpolation)한 후, 그 위치는 0의 값으로 채운다.<sup>[5~6]</sup> 마찬가지로 슈도랜덤코드 영상을 추출하여 원본 영상의 CbCr 최대값 및 최소값 정보를 획득한 후, 그 위치를 0의 값으로 채운다. 이때, 슈도랜덤코드에서 추출된 원본 영상의 CbCr 최대값 및 최소값을 이용하여 채도

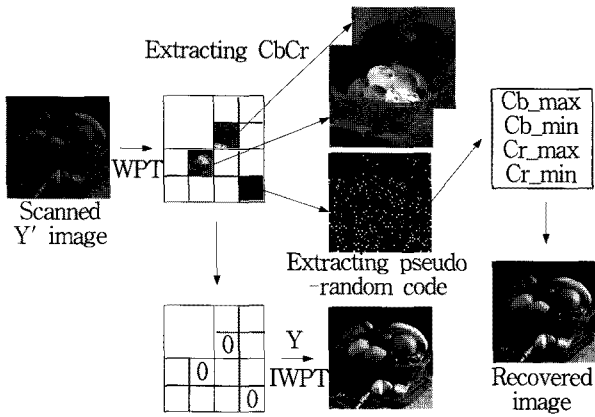


그림 5. 흑백 영상에서 컬러 영상으로 복원하는 과정  
Fig. 5. Process of gray-to-color algorithm.

보상 알고리즘을 수행한다. 다음으로 역 웨이블릿 변환을 이용하여 Y 영상을 획득하고, 추출된 CbCr 영상과 결합하여 RGB 영상을 복원한다. 그림 5는 제안한 방법의 gray-to-color 과정을 전체적으로 보여준다.

4. 슈도랜덤코드 영상의 삽입과 추출

위의 color-to-gray 과정에서 언급하였던 슈도랜덤코드 영상 삽입 시, 그 영상을 그대로 대각의 대각 sub-band에 삽입하게 되면 역 웨이블릿 변환으로 인하여 흰색 화소가 전 영상에 고르게 퍼져서 보이게 되므로, Y' 영상에서 눈에 거슬리는 패턴이 생성된다. 따라서 본 논문에서는 눈에 거슬리는 효과를 최소화하기 위해, 슈도랜덤코드 영상을 그대로 삽입하지 않고 다음과 같이 그 값을 변환하여 삽입하는 방법을 제안하였다.

Case 1. 슈도랜덤코드 영상에서 (i, j) 위치 화소값이 0일 때,

- 만약 대각의 대각 sub-band에서 (i, j) 위치 화소값과 주변 화소값 평균과의 차이가 T보다 작을 경우: 화소값 변화 없음
- 만약 대각의 대각 sub-band에서 (i, j) 위치 화소값과 주변 화소값 평균과의 차이가 T보다 크거나 같을 경우: 화소값을 평균값으로 변환

Case 2. 슈도랜덤코드 영상에서 (i, j) 위치 화소값이 255일 때,

- 만약 대각의 대각 sub-band에서 (i, j) 위치 화소값과 주변 화소값 평균과의 차이가 T보다 작을 경우: 화소값을 (평균값+T) 또는 (평균값-T)로 변환
- 만약 대각의 대각 sub-band에서 (i, j) 위치 화소값

과 주변 화소값 평균과의 차이가 T보다 크거나 같을 경우: 화소값 변화 없음

여기서 T는 실험적으로 구한 문턱치 값이며, T<45이면 Y' 영상에서 눈에 거슬리는 패턴이 거의 나타나지 않는다. 다음으로 gray-to-color 과정에서 슈도랜덤코드 영상을 추출하는 방법은 다음과 같다.

Case 1. 대각의 대각 sub-band에서 (i, j) 위치 화소값과 주변 화소값 평균과의 차이가 T보다 작을 경우

- 슈도랜덤코드 영상에서 (i, j) 위치 화소값은 0

Case 2. 대각의 대각 sub-band에서 (i, j) 위치 화소값과 주변 화소값 평균과의 차이가 T보다 크거나 같을 경우

- 슈도랜덤코드 영상에서 (i, j) 위치 화소값은 255

위의 방법으로 복원된 슈도랜덤코드 영상에서 흰색 화소의 개수를 분석하여 그림 3의 코드북을 역으로 이용하면 원본 영상의 CbCr 최대값 및 최소값 정보를 획득할 수 있다.

5. 복원된 컬러 영상의 채도 보상

색 정보를 포함하고 있는 Y' 영상이 프린팅 및 스캐닝 과정을 거치게 되면, 장치의 열화 특성으로 인하여 화소값이 변하게 된다. 이러한 현상이 결국 복원된 컬러 영상에서 전체적인 채도를 감소시킨다.<sup>[5-6]</sup> 따라서 gray-to-color 과정 중 슈도랜덤코드 영상에서 추출된 원본 영상의 CbCr 최대값 및 최소값과 복원된 영상의 CbCr 최대값 및 최소값과의 비를 가중치로 이용함으로써 채도를 보상하며, 그 방법은 다음과 같다.

$$\begin{cases} Cb_{comp} = \alpha_1 \times Cb \\ Cr_{comp} = \beta_1 \times Cr \end{cases} \quad (1)$$

For positive values of Cb and Cr

$$\begin{cases} Cb_{comp} = \alpha_2 \times Cb \\ Cr_{comp} = \beta_2 \times Cr \end{cases} \quad (2)$$

For negative values of Cb and Cr

$$\alpha_1 = \left| \frac{Cb_{max,o}}{Cb_{max,e}} \right|, \beta_1 = \left| \frac{Cr_{max,o}}{Cr_{max,e}} \right| \quad (3)$$

$$\alpha_2 = \left| \frac{Cb_{min,o}}{Cb_{min,e}} \right|, \beta_2 = \left| \frac{Cr_{min,o}}{Cr_{min,e}} \right|$$

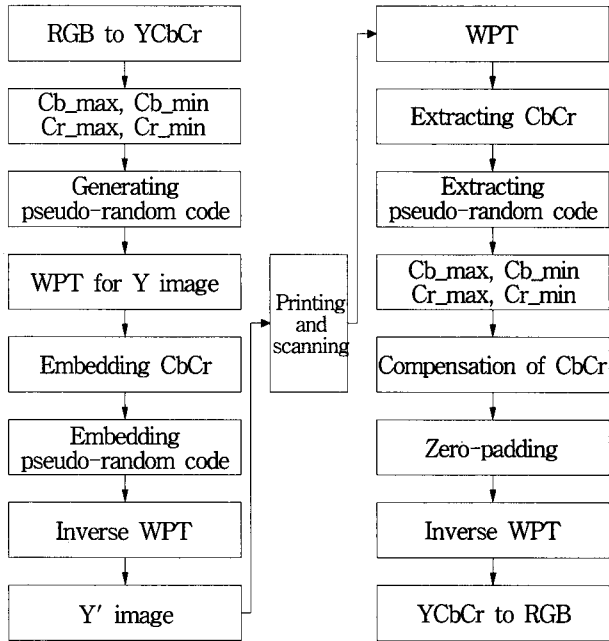


그림 6. 제안한 컬러화 알고리즘의 전체 흐름도  
Fig. 6. Flowchart of the proposed colorization method.

여기서  $\alpha$ 와  $\beta$ 는 각각 CbCr의 양수와 음수에 대한 가중치이며,  $Cb_{max,o}$ 와  $Cr_{max,o}$ 는 원본 영상의 CbCr 최대값,  $Cb_{min,o}$ 와  $Cr_{min,o}$ 는 원본 영상의 CbCr 최소값이다. 마찬가지로  $Cb_{max,e}$ 와  $Cr_{max,e}$ 는 복원 영상의 CbCr 최대값,  $Cb_{min,e}$ 와  $Cr_{min,e}$ 는 복원 영상의 CbCr 최소값이다. 그리고  $Cb_{comp}$ 와  $Cr_{comp}$ 는 각각 채도가 보상된 CbCr 값이다. 마지막으로, 제안한 컬러화 알고리즘의 전체적인 흐름도를 그림 6에 나타내었다.

### III. 실험 결과 및 고찰

제안한 컬러화 방법의 성능을 분석하기 위해 본 논문에서는 그림 7과 같이 18개의 ISO 표준 테스트 영상을 이용하여 색차(color difference)와 PSNR(peak signal



그림 7. 실험을 위한 ISO 테스트 영상들  
Fig. 7. ISO test images for experiments.

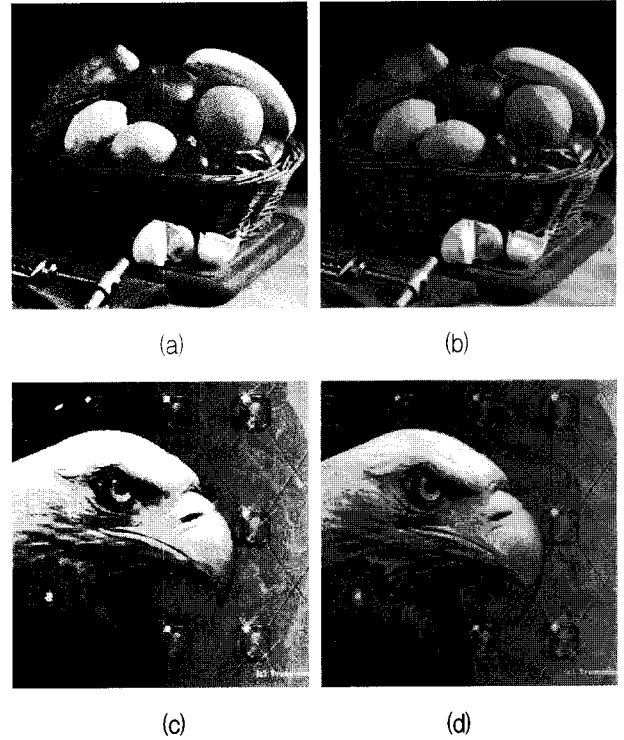


그림 8. 제안한 방법의 Y' 영상과 프린팅 및 스캐닝 과정을 거친 Y' 영상의 비교 (a) Fruit 영상의 Y' 영상 (b) 프린팅 및 스캐닝 된 Fruit의 Y' 영상 (c) Eagle 영상의 Y' 영상 (d) 프린팅 및 스캐닝 된 Eagle의 Y' 영상

Fig. 8. Comparison of Y' image and printed-scanned Y' image; (a) Y' image of Fruit, (b) printed-scanned Y' image of Fruit, (c) Y' image of Eagle, and (d) printed-scanned Y' image of Eagle.

t noise ratio) 수치를 계산하였다.<sup>[8]</sup>

$$\Delta E_{ab}^* = (\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2})^{1/2} \quad (4)$$

$$\Delta L^* = L_2 - L_1, \Delta a^* = a_2 - a_1, \Delta b^* = b_2 - b_1$$

$$MSE_k = \frac{1}{mn} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} \| O_k(i,j) - R_k(i,j) \|^2 \quad (5)$$

$$PSNR_k = 20 \times \log_{10} \left( \frac{255}{\sqrt{MSE_k}} \right), k = R, G, B$$

식 (4)에서  $L_1, a_1, b_1$ 은 원본 영상의 CIELAB 값이며,  $L_2, a_2, b_2$ 은 복원된 영상의 CIELAB 값이다. 식 (5)에서  $(i,j)$ 는  $m \times n$  크기 영상의 좌표값이고,  $k$ 는 RGB 컬러 채널을 나타낸다. 또한  $O(i,j)$ 와  $R(i,j)$ 는 각각 원본 영상과 복원 영상의  $(i,j)$  위치에서의 화소값을 나타낸다.

그림 8은 제안한 방법으로 생성된 Y' 영상과, 그 영

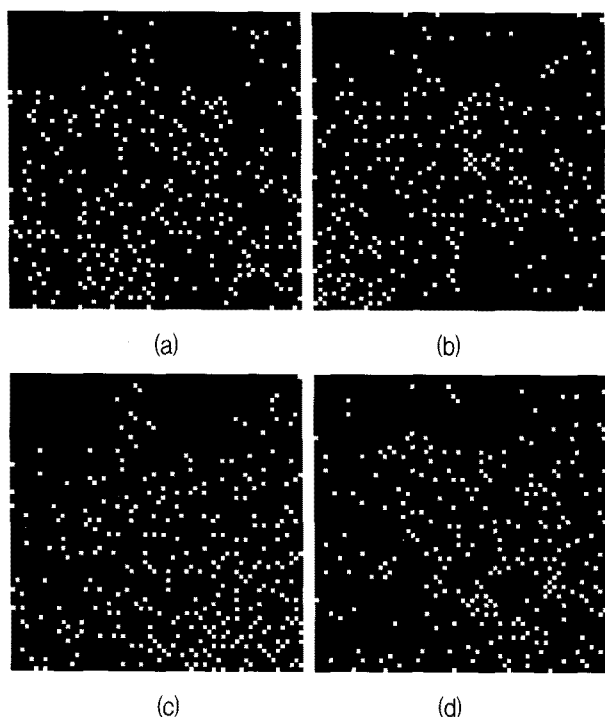


그림 9. 원본의 슈도랜덤코드 영상과 복원된 슈도랜덤 코드 영상의 비교 (a) Fruit의 원본 슈도랜덤코드 (b) Fruit의 복원된 슈도랜덤코드 (c) Eagle의 원본 슈도랜덤코드 (d) Eagle의 복원된 슈도랜덤코드

Fig. 9. Comparison of original pseudo-random code and recovered pseudo-random code; (a) original pseudo-random code of Fruit, (b) recovered pseudo-random code of Fruit, (c) original pseudo-random code of Eagle, and (d) recovered pseudo-random code of Eagle.

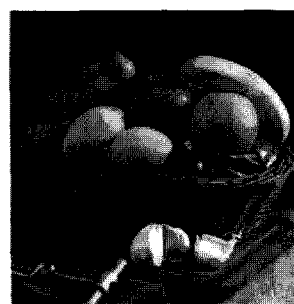
상을 프린팅하고 스캐닝한 영상을 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이, 스캐닝 후의 전체적인 밝기가 스캐닝 전보다 어두워 졌다. 즉, 이러한 화소값의 변화로 인하여 복원된 컬러 영상에서 채도가 감소한다.

그림 9는 color-to-gray 과정에서 삽입된 원본의 슈도랜덤코드 영상과, 스캐닝 후 gray-to-color 과정에서 채도 보상을 위해 추출한 복원된 슈도랜덤코드 영상을 나타낸다. 마찬가지로, 프린팅 및 스캐닝 과정의 열화 특성으로 인하여 원본의 슈도랜덤코드 영상과 복원된 슈도랜덤코드 영상 간의 흰색 화소의 개수가 다소 차이가 남을 알 수 있다. 따라서 이러한 흰색 화소 개수의 차이는 CbCr 최대값 및 최소값 오차를 수반하며, 그 결과를 표 1에 나타내었다. 여기서  $T=34$ 를 사용하였으며, 이 값은 최소 오차를 나타내는  $T$ 값으로, 반복적인 실험을 통해 획득하였다. 표를 보면, Fruit과 Eagle 영상 각각에 대하여 CbCr 최대값 및 최소값 오차는 모두 8이

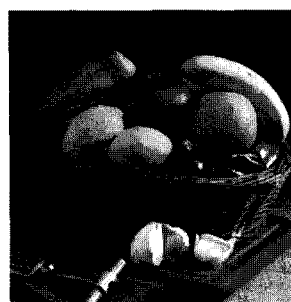
표 1. 복원된 슈도랜덤코드의 CbCr 오차

Table 1. CbCr errors of recovered pseudo-random code.

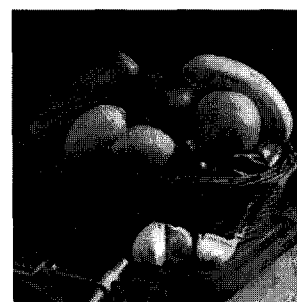
	Fruit		Eagle	
	Original	Recovered	Original	Recovered
Cb_max	+84	+92	+48	+46
Cb_min	-96	-88	-88	-84
Cr_max	+124	+120	+96	+92
Cr_min	-72	-64	-116	-108



(a)



(b)



(c)

그림 10. 제안한 방법으로 복원된 영상 (a) Fruit의 원본 영상 (b) 채도 보상 없이 복원된 영상 (c) 채도 보상 알고리즘을 적용하여 복원된 영상

Fig. 10. Recovered color image using the proposed colorization method; (a) original Fruit image, (b) recovered image without saturation compensating method, and (c) recovered image with saturation compensating method.

하임을 알 수 있다. 하지만 이 수치는 프린터와 스캐너의 열화 특성을 감안한다면 충분히 허용될 수 있는 오차이며, 또한 채도 보상 시에도 좋은 결과를 나타낸다.

그림 10과 그림 11은 제안한 방법의 최종 결과 영상으로, 슈도랜덤코드 정보를 이용하여 채도가 보상된 복원 영상이다. 성능 비교를 위해 채도 보상 알고리즘을 적용하지 않은 영상도 함께 나타내었다. 그림 10(a)와 11(a)는 Fruit과 Eagle의 원본 영상이며, 10(b)와 11(b)는 채도를 보상하지 않고 복원한 영상, 10(c)와 11(c)는 제안한 방법인 채도를 보상한 결과 영상이다. 그리고

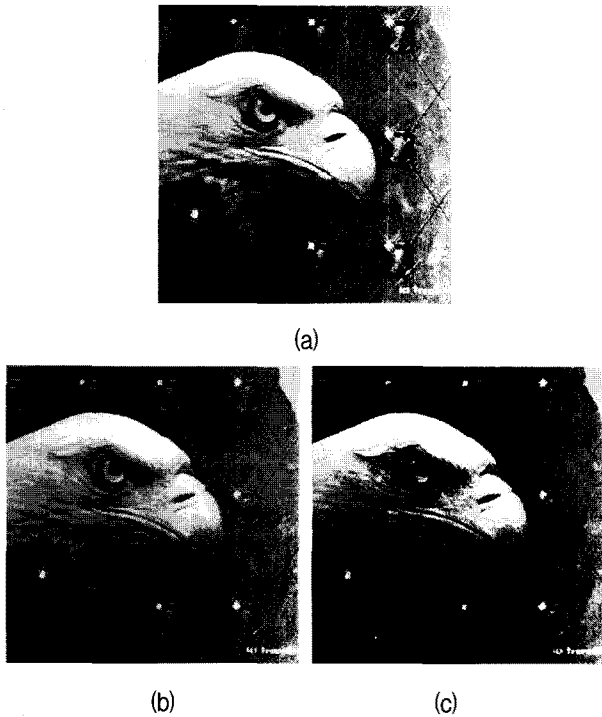


그림 11. 제안한 방법으로 복원된 영상 (a) Eagle의 원본 영상 (b) 채도 보상 없이 복원된 영상 (c) 채도 보상 알고리즘을 적용하여 복원된 영상

Fig. 11. Recovered color image using the proposed colorization method; (a) original Eagle image, (b) recovered image without saturation compensating method, and (c) recovered image with saturation compensating method.

표 2. 복원된 영상의 색차와 PSNR 비교

Table 2. Comparison of color difference and PSNR for recovered color images.

	Fruit		Eagle		ISO images	
	$\Delta E_{ab}^*$	PSNR	$\Delta E_{ab}^*$	PSNR	$\Delta E_{ab}^*$	PSNR
Without compensation	20.28	18.73	16.79	18.79	19.85	17.64
Proposed method with compensation	14.93	20.89	13.57	20.18	15.17	20.23

각 결과 영상에 대한 색차와 PSNR 수치를 표 2에 나타내었으며, 그림 7의 18개 ISO 표준 테스트 영상에 대한 평균 색차와 평균 PSNR 수치도 함께 나타내었다. 채도 보상을 하지 않은 영상과 채도 보상을 수행한 제안한 방법의 영상을 비교해 보면, Fruit 영상에 대해 색차는 5.35 감소하였으며, PSNR은 2.16[dB] 증가하였음을 알 수 있다. 또한 Eagle 영상에 대해 색차는 3.22 감소하였고, PSNR은 1.39[dB] 증가하였다. 그리고 18개 ISO 표

준 영상에 대해서도 평균 색차는 4.68 감소하였으며, 평균 PSNR은 2.59[dB] 증가하였다. 따라서 제안한 방법이 복원된 컬러 영상에서 채도를 향상시켜 색차와 PSNR 수치가 개선됨을 확인할 수 있었다.

#### IV. 결론

본 논문에서는 웨이블릿 패킷 변환 기반의 컬러화 알고리즘에서 슈도랜덤코드 정보의 삽입을 통해 복원된 컬러 영상에서 채도를 보상하는 방법을 제안하였다. Color-to-gray 과정에서 수평의 수직, 수직의 수평 sub-band에 CbCr 정보를 삽입하고, 그와 동시에 원본 영상 CbCr의 최대값 및 최소값을 슈도랜덤코드 형태로 변환하여 대각의 대각 sub-band에 역시 삽입하였다. 슈도랜덤코드는 CbCr의 최대값 및 최소값 정보를 코드북을 기반으로 하여 흰색 점의 개수로 표현한 영상으로, gray-to-color 과정에서 그 정보를 복원하여 이용함으로써 채도 보상 알고리즘을 수행하였다. 그 결과, 실험을 통해 제안된 방법이 복원된 컬러 영상에서 채도를 향상시킴을 색차와 PSNR 수치로 확인할 수 있었다.

향후 슈도랜덤코드에서 추출된 CbCr 오차를 최소화할 수 있는 알고리즘 개발이 필요하며, 채도를 보상할 수 있는 또 다른 방법에 대해서도 연구가 필요하다.

#### 참고 문헌

- [1] R. Neelamani, R. de Queiroz, Z. Fan, S. Dash, and R. Baraniuk, "JPEG compression history estimation for color images," *IEEE Transactions of Image Processing*, vol. 15, no. 6, pp. 1365-1378, June 2006.
- [2] W. B. Pennebaker and J. L. Mitchell, *JPEG still image data compression standard*, Van Nostrand Reinhold, 1993.
- [3] K. M. Braun and R. L. Queiroz, "Color to gray and back: Color embedding into textured gray images," *Proceedings of IS&T/SID 13th Color Imaging Conference*, pp. 120-124, Nov. 2005.
- [4] R. L. de Queiroz and K. M. Braun, "Color to gray and back: Color embedding into textured gray images," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 15, no. 6, pp. 1464-1470, June 2006.
- [5] 고경우, 권오설, 손창환, 하영호, "웨이블릿 패킷 변환을 이용한 흑백 영상의 컬러화 알고리즘," 전

자공학회논문지, 제45권 SP편, 제1호, 1-10쪽, 2008년 3월

- [6] K. W. Ko, O. S. Kwon, C. H. Son, and Y. H. Ha, "Color embedding and recovery based on wavelet packet transform," *Journal of Imaging Science and Technology*, vol. 52, no. 1, pp. 010501-1-010501-10, Jan./Feb. 2008.
- [7] M. Chaumont and W. Puech, "A color image hidden in a gray-level image," *CGIV 2006 Final Program and Proceedings*, pp. 226-231, June 2006.
- [8] N. Ohta and A. R. Robertson, *Colorimetry fundamentals and applications*, John Wiley and Sons Ltd. 2005.

저 자 소 개



고 경 우(학생회원)  
 2003년 경북대학교 전자전기  
 공학부 (공학사)  
 2005년 경북대학교 대학원  
 전자공학과 (공학석사)  
 2010년 경북대학교 대학원  
 전자공학과 (공학박사)  
 <주관심분야 : 컬러영상처리, 카메라 화질개선>



경 왕 준(학생회원)  
 2007년 안동대학교 컴퓨터공학과  
 (공학사)  
 2009년 경북대학교 대학원  
 전자공학과 (공학석사)  
 2009년~현재 경북대학교 대학원  
 전자공학과 박사과정  
 재학중  
 <주관심분야 : 화질평가, 색 재현 알고리즘>

장 인 수(학생회원)  
 대한전자공학회 논문지  
 제 41권 SP편 제 1호 참조

하 영 호(정회원)-교신저자  
 대한전자공학회 논문지  
 제 38권 SP편 제 3호 참조