

논문 2008-45SP-1-1

웨이블릿 패킷 변환을 이용한 흑백 영상의 칼라화 알고리즘

(Colorization Algorithm Using Wavelet Packet Transform)

고 경 우*, 권 오 설*, 손 창 환*, 하 영 호**

(Kyung-Woo Ko, Oh-Seol Kwon, Chang-Hwan Son, and Yeong-Ho Ha)

요 약

색 정보를 흑백 영상에 숨기고 이를 다시 찾아서 흑백 영상을 칼라 영상으로 복원하는 칼라화 알고리즘이 최근 연구되고 있다. 이러한 방법에서는 색 정보를 숨기고 복원할 때 원본 영상의 정보 손실을 최소화하는 것이 중요하다. 따라서 본 논문에서는 흑백 영상에 색 정보를 숨기고 이를 다시 복원할 때, 원본 영상의 정보 손실을 최소화하기 위해 웨이블릿 패킷 변환을 이용한 칼라화 알고리즘을 제안하였다. 그리고 복원된 칼라 영상의 열화된 채도를 보상하기 위한 채도 향상 알고리즘도 함께 제안하였다. 제안한 칼라화 방법은 칼라 영상을 흑백 영상으로 변환하는 과정(color-to-gray)과 변환된 흑백 영상에서 칼라 성분을 추출하여 복원하는 과정(gray-to-color)으로 구성된다. Color-to-gray 과정에서는 입력 RGB 영상을 YCbCr 영상으로 변환한 뒤, Y 영상에 웨이블릿 패킷 변환을 수행하여 각 sub-band의 정보량을 조사한다. 그리고 원본 영상의 정보량이 가장 적은 두 개의 sub-band에 색 정보를 삽입하여, 색 정보 복원 시에 원본 영상의 정보 손실을 최소화 한다. Gray-to-color 과정에서는 프린팅 및 스캐닝에 의해 발생하는 색 채도의 열화를 보상하기 위해 프린터와 스캐너의 특성곡선을 획득하고, 이를 이용하여 변화된 화소값을 보상해줌으로써 복원된 칼라 영상의 색 채도를 향상시킨다. 또한 복원된 영상의 CbCr 범위를 확장하여 열화된 색 채도를 향상시킨다. 실험을 통해 제안된 칼라화 방법은 경계영역의 선명도 및 색 채도를 향상시킴을 확인하였다.

Abstract

Colorization algorithms, which hide color information into gray images and find them to recover color images, have been developed recently. In these methods, it is important to minimize the loss of original information while the color components are embedded and extracted. In this paper, we propose a colorization method using a wavelet packet transform in order to embed color components with minimum loss of original information. In addition, the compensation processing of color saturation in the recovered color images is achieved. In the color-to-gray process, an input RGB image is converted into Y, Cb, and Cr images, and a wavelet packet transform is applied to the Y image. After analyzing the amounts of total energy for each sub-band, color components are embedded into two sub-bands including minimum amount of energy on the Y image. This makes it possible not only to hide color components in the Y image, but to recover the Y image with minimum loss of original information. In the gray-to-color process, the color saturation of the recovered color images is decreased by printing and scanning process. To increase color saturation, the characteristic curve between printer and scanner, which can estimate the change of pixel values before and after printing and scanning process, is used to compensate the pixel values of printed and scanned gray images. In addition, the scaling method of the Cb and Cr components is applied to the gray-to-color process. Through the experiments, it is shown that the proposed method improves both boundary details and color saturation in the recovered color images.

Keywords : Wavelet packet transform, colorization, color saturation, characteristic curve

I. 서 론

최근 칼라 프린터가 많이 보급되어 있지만 학교나 사무실, 가정에서는 아직까지도 흑백 프린터가 널리 사용하고 있다. 이러한 흑백 프린터를 이용하여 칼라 영상을 인쇄하면, 인쇄된 흑백 영상에서 색 정보를 다시 복원하는 것은 일반적으로 불가능하다. 그 이유는 인쇄

* 학생회원, ** 평생회원, 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 (School of Electrical Engineering and Computer Science, Kyungpook National University)

※ 본 논문(결과물)은 교육인적자원부, 산업자원부, 노동부의 출연금 및 보조금으로 수행한 최우수실험실 지원사업의 연구결과입니다.

접수일자: 2007년6월14일, 수정완료일: 2007년12월27일

과정에서 색 정보를 모두 잃어버리기 때문이다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 흑백 영상에서 색 정보를 복원하여 다시 칼라 영상을 획득하는 칼라화 알고리즘이 오랫동안 연구되어 왔다.^[1~10] 칼라화 알고리즘은 그 목적에 따라 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 첫 번째는 물체의 구별만을 위한 것으로 원본의 색과는 아무 관계없이 임의의 색을 흑백 영상에 추가시키는 방법^[4~5]이며, 두 번째는 원본 영상의 색과 가능한 동일하게 색을 복원하는 방법이다. 본 논문에서는 두 번째 목적에 초점을 두었다. 흑백 영상에서 원본 색을 복원하는 일반적인 방법은 영상의 밝기 분포와 참조 영상을 이용하는 방법이다.^[6~8] 참조 영상의 RGB 화소값을 밝기(luminance) 채널과 색도(chrominance) 채널로 변환하고, 칼라화 하고자 하는 흑백 영상의 밝기 분포와 비교한 후, 그 분포가 유사한 영역에서 참조 영상의 색을 채워하여 흑백 영상에 추가시키게 된다. 이 방법을 이용하게 되면 흑백 영상을 원본 영상의 색과 근사적으로 비슷하게 칼라화 할 수 있다. 하지만 참조 영상은 원본 영상과 다르기 때문에 원본 영상과 동일한 색을 복원하는 것은 불가능하다.

이러한 문제를 해결하기 위해 Queiroz와 Braun은 웨이블릿 변환을 이용한 칼라화 방법을 제안하였다.^[1~2] 이 방법의 주된 내용은 흑백 영상에 색 정보를 숨긴 다음 색 정보를 다시 찾아서 칼라 영상으로 복원하는 것으로, 색 정보를 흑백 영상에 숨기기 위해 웨이블릿 변환을 이용한다. 우선 입력 RGB 영상을 YCbCr 영상으로 변환한 후, Y 영상을 웨이블릿 변환하게 된다. 그러면 Y 영상은 4개의 sub-band(근사, 수직, 수평, 대각)로 나뉘지게 되고, 이때 색 정보(CbCr)를 수직과 수평, 대각 sub-band에 삽입한 후 역 웨이블릿 변환을 하게 되면 색 정보가 포함된 새로운 흑백 영상이 획득된다. 이렇게 새로 획득된 흑백 영상을 프린팅 및 스캐닝하고 웨이블릿 변환을 다시 이용하여 색 정보를 추출하게 되면 흑백 영상에서 칼라 영상을 복원할 수 있게 된다. 하지만 색 정보를 숨기는 과정에서 웨이블릿 변환된 Y 영상의 수직과 수평, 대각 sub-band를 이용하였기 때문에, 복원된 칼라 영상에서는 수직과 수평, 대각 정보의 손실로 인하여 경계 부분의 선명도가 떨어지는 단점이 있다. 또한 원본 영상에 비해 색의 채도(saturation)가 감소되는데, 이것은 프린팅 및 스캐닝 전후의 화소값이 변화하기 때문이다.

따라서 본 논문에서는 Queiroz와 Braun 방법의 단점

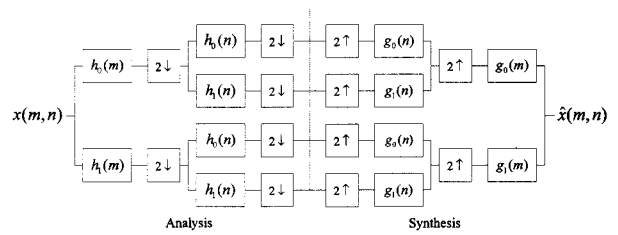


그림 1. 2차원 필터를 이용한 웨이블릿 변환

Fig. 1. The diagram of a wavelet transform using two-dimensional separable filters.

을 보완하기 위해 웨이블릿 패킷 변환을 이용한 칼라화 알고리즘을 제안하였다. 입력된 RGB 영상을 YCbCr 영상으로 변환한 후 Y 영상에 웨이블릿 패킷 변환을 적용하면 16개의 sub-band로 나뉘지게 된다. 그리고 각 sub-band의 정보량을 조사하여 정보의 양이 가장 적은 두 개의 sub-band에 색 정보를 삽입한다. 그 이유는 복원된 칼라 영상에서 경계 부분의 선명도 손실을 최소화할 수 있기 때문이다. 그리고 복원된 칼라 영상에서 감소된 색 채도를 향상시키기 위한 방법을 제안하였다. 채도 향상 방법은 두 가지로, 첫 번째는 회색조 패치를 이용하여 프린터와 스캐너의 특성 곡선을 획득한 후, 이 특성 곡선을 이용하여 변화된 화소값을 보정함으로써 복원된 칼라 영상에서 채도를 향상시키는 방법이다. 그리고 두 번째는 원본 영상 색 정보 CbCr의 최대값 및 최소값을 이용하여 복원된 칼라 영상의 CbCr 범위를 확장하는 방법이다. 그 결과 제안된 방법으로 복원된 영상은 단순히 웨이블릿 변환만을 이용한 기존 방법에 비해 경계 부분에서의 선명도 및 색의 채도가 보다 향상되었다.

II. 웨이블릿 패킷 변환을 이용한 칼라화 방법

1. 웨이블릿 패킷 sub-band 분석

웨이블릿 변환은 하나의 영상을 그 영상의 정보를 담고 있는 여러 개의 sub-band 영상으로 분리할 수 있으며, 역 웨이블릿 변환으로 각 sub-band를 합성하여 오차 없이 원본 영상을 복원할 수 있다. 그림 1은 2차원의 필터를 이용한 웨이블릿 변환의 다이어그램이다.^[11]

웨이블릿 패킷 변환은 각 sub-band에 웨이블릿 변환을 연속적으로 적용한 것으로, 1-level 웨이블릿 패킷 변환을 적용하면 영상은 4개의 sub-band(근사, 수직, 수평, 대각 성분)로 나뉘지고, 4-level의 웨이블릿 패킷 변환을 적용하면 각 sub-band는 다시 4개의 sub-band로 나누어져서 그림 2와 같이 총 16개의 sub-band가

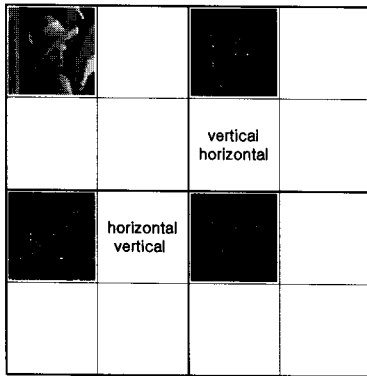


그림 2. 2-level 웨이블릿 패킷 변환에 의해 나누어진 16개의 sub-band

Fig. 2. 16 sub-bands using 2-level wavelet packet transform.

된다. 제안한 칼라화 방법에서는 QMF(Quadrature Mirror Filters)를 이용한 4-level 웨이블릿 패킷 변환을 이용한다.^[11]

$$\hat{X}(z) = \frac{1}{2} [H_0(z)G_0(z) + H_1(z)G_1(z)]X(z) + \frac{1}{2} [H_0(-z)G_0(z) + H_1(-z)G_1(z)]X(-z) \quad (1)$$

여기에서 H_0, H_1, G_0, G_1 은 h_0, h_1, g_0, g_1 을 각각 Z 변환을 한 것이다. 오차 없이 원본 영상을 복원하기 위해서는 $\hat{X}(z) = X(z)$ 이어야 하고, 따라서 그 해는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} H_0(z) &= H_0^2(z) - H_0^2(-z) = 2 \\ H_1(z) &= H_0(-z) \\ G_0(z) &= H_1(-z) \\ G_1(z) &= -H_0(-z) \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} h_0[0] &= -0.1294 & h_1[0] &= 0.4829 \\ h_0[1] &= 0.2241 & h_1[1] &= -0.8365 \\ h_0[2] &= 0.8365 & h_1[2] &= 0.2241 \\ h_0[3] &= 0.4829 & h_1[3] &= 0.1294 \end{aligned}$$

여기서 복원 필터 g_0 와 g_1 은 각각 h_0 와 h_1 의 역순으로 쉽게 구할 수 있다.

웨이블릿 패킷 변환에 의해 분리된 sub-band 영상은 모두 원본 영상의 정보를 가지고 있지만 그 정보의 양은 sub-band 마다 각각 다르다. 따라서 각 sub-band의

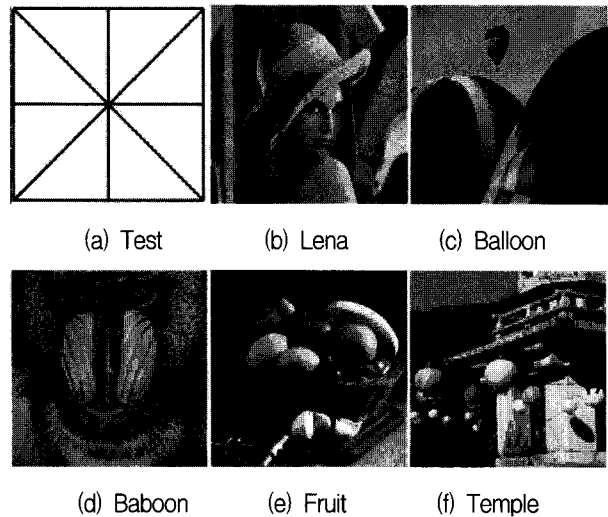


그림 3. Sub-band 정보량 조사를 위한 테스트 영상
Fig. 3. Test sample images to investigate the amount of information for each sub-band.

정보의 양을 조사하기 위하여 그림 3과 같이 6개의 테스트 영상을 이용하여 웨이블릿 패킷 변환을 한 후, 식 (3)을 이용하여 그 정보량을 총 에너지에 대한 각 sub-band의 에너지 비로 나타내었다.

$$E_i = \frac{\text{subband energy}}{\text{total energy}} \times 100 \quad (3)$$

여기서 E_i 는 각 sub-band의 에너지양을 나타낸다. 따라서 총 16개의 sub-bands 중에서 색 정보를 삽입할 8개의 후보 sub-band에 대한 정보량을 조사하여 표 1에 나타내었다. 표 1의 결과에서 우리는 정보의 양이 가장 적은 2개의 sub-band는 일반적으로 수평 성분의 수직 영상과 수직 성분의 수평 영상(vertical-horizontal, horizontal-vertical)이란 것을 확인 할 수 있다. 따라서 제안한 방법에서는 웨이블릿 패킷 변환 후 원본 영상의 정보가 가장 적은 두 개의 sub-band(수직-수평 영상, 수평-수직 영상)에 색 정보를 삽입하게 된다.

표 1. 각 sub-band에 대한 정보량
Table 1. The amount of information for each sub-band.

sub-bands		test	lena	balloon	baboon	fruit	temple
수직	근사	0.72	1.23	1.51	1.76	1.06	1.54
	수직	1.16	1.70	1.76	2.23	1.35	2.11
	수평	0.21	0.82	1.10	1.69	0.82	1.19
	대각	0.50	1.05	1.20	2.04	1.07	1.56
수평	근사	0.88	0.69	1.21	2.44	1.95	2.44
	수직	0.20	0.61	1.00	2.13	1.12	1.61
	수평	0.96	0.89	1.46	2.63	3.55	3.28
	대각	0.51	0.88	1.10	2.27	1.57	1.92

2. Color-to-gray 과정

칼라 영상을 흑백 영상으로 변환하는 일반적인 방법은 영상의 밝기(luminance) 성분을 이용하는 것으로, 식 (4)의 변환 행렬을 이용하여 입력된 RGB 영상을 YCbCr 영상으로 분리한다.

$$\begin{bmatrix} Y \\ Cb \\ Cr \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.30 & 0.59 & 0.11 \\ -0.17 & -0.33 & 0.50 \\ 0.50 & -0.42 & -0.08 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (4)$$

입력 영상의 밝기 성분인 Y 영상만을 이용하여 4-level 웨이블릿 패킷 변환을 하게 되면 Y 영상은 4개의 sub-band(근사 영상, 수직 성분 영상, 수평 성분 영상, 대각 성분 영상)로 나누어지고, 각각의 sub-band가 다시 4개의 sub-band로 나누어져서 모두 16개의 sub-band가 형성된다. 모든 sub-band는 원본 영상의 정보를 가지고 있기 때문에 이를 다시 역 변환하게 되면 원본 Y 영상으로 복원된다. 하지만 위에서 언급했듯이, sub-band마다 가지고 있는 정보의 양은 각기 다르고, 원본 영상의 정보가 가장 적은 두 개의 sub-band는 수직 성분의 수평 영상과 수평 성분의 수직 영상이다. 따라서 색 정보인 Cb와 Cr 영상의 크기를 1/4로 줄인 후, 위의 두 sub-band에 각각 삽입하고 역 웨이블릿 패킷 변환을 적용하면 색 정보가 포함된 새로운 흑백 영상(Y' 영상)이 획득된다. 새로 획득된 흑백 영상은 Y 영상에 격자무늬(texture) 패턴이 합쳐진 모양으로 나타나게 되는데, 그 이유는 CbCr 색 정보가 역 웨이블릿 변환을 거치면서 격자무늬 패턴으로 변화되어 Y 영상에 골고루 삽입되었기 때문이다. 그림 4는 정보량이 가장 적은 두 개의 sub-band를 이용하여 색 정보를 삽입한 후, 새로운 흑백 영상을 획득하는 color-to-gray의 전체적인 과정을 보여준다.

3. Gray-to-color 과정

격자무늬를 포함하고 있는 새로운 흑백 영상에서 색 정보를 추출하여 칼라 영상으로 복원하는 방법은 위의

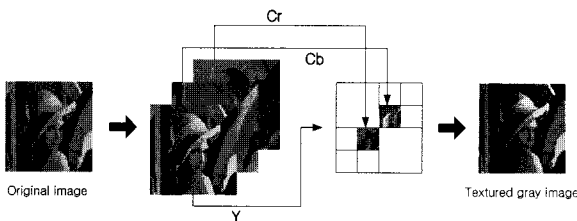


그림 4. Color-to-gray의 전체적인 과정
Fig. 4. The process of the color-to-gray algorithm.

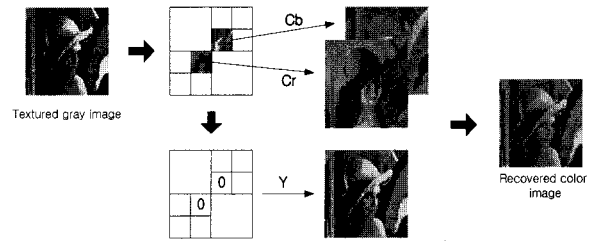


그림 5. Gray-to-color의 전체적인 과정
Fig. 5. The process of the gray-to-color algorithm.

color-to-gray 과정을 역으로 수행하면 된다. 새로운 흑백 영상을 웨이블릿 패킷 변환을 하게 되면 16개의 sub-band로 나누어지게 되고, 그 중에서 수직 성분의 수평 영상과 수평 성분의 수직 영상 위치에 포함된 값이 바로 색 정보인 CbCr 값이 된다. 이 값을 추출하여 원본 영상과 동일한 크기로 보간(interpolation)한 뒤, 추출한 그 위치는 0의 값으로 채운다. 이미 CbCr 값으로 대체되어 변환되어서 원래의 값을 잃어버렸지만, 정보가 거의 없는 sub-band를 이용하였기 때문에 0의 값으로 대체하여도 정보의 손실은 거의 없다. 따라서 역 웨이블릿 변환을 이용하여 복원된 Y 영상은 원본 Y 영상과 거의 동일하다. 마지막으로, 복원된 Y 영상과 추출된 Cb와 Cr 영상을 결합한 뒤 식 (4)의 역행렬을 이용하여 최종적으로 RGB 칼라 영상을 복원하게 된다. 그림 5는 격자무늬를 포함한 새로운 흑백 영상에서 색 정보를 추출하여 칼라 영상으로 복원하는 전체적인 과정을 보여준다.

4. 복원된 영상의 색 채도 향상

격자무늬의 흑백 영상을 프린팅하고 스캐닝하게 되면 일반적으로 화소값이 변하게 된다. 즉 프린터와 스캐너 고유의 입출력 특성으로 인하여 프린팅 및 스캐닝 전후의 화소값이 변하는 것이다. 이러한 현상으로 인하여 격자무늬 흑백 영상에서 칼라 영상으로 복원하게 되면, 복원된 칼라 영상에서 색 채도가 떨어지게 된다. 흑백 영상 내에 삽입되어있는 색 정보 CbCr 값도 함께 변하기 때문이다. 따라서 색 채도가 감소되는 것을 보상하기 위해 두 가지 방법을 제안하였다.

첫 번째는 프린터와 스캐너의 입출력 특성곡선을 획득하여 변화된 화소값을 보상하는 방법이다. 프린터와 스캐너의 입출력 특성곡선을 획득하기 위해 회색조 패치를 이용한다. 회색조 패치는 256개의 패치로 구성된 영상으로, 각 패치의 화소값은 각각 0에서 255까지 이다. 이 패치가 동일한 프린팅 및 스캐닝 과정을 거치게

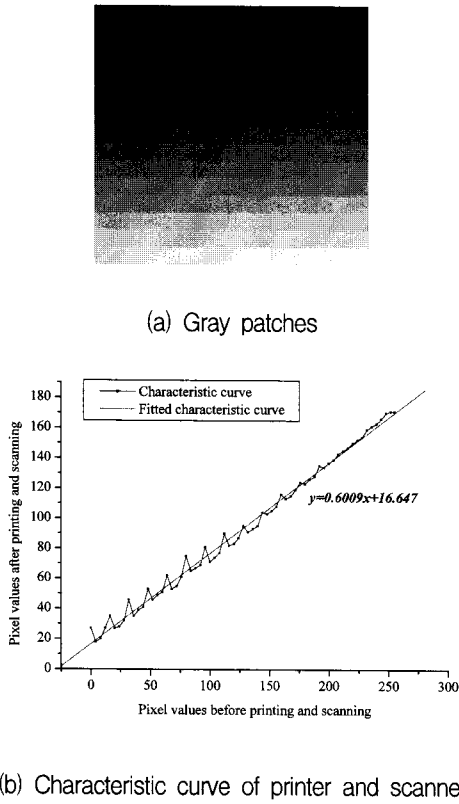


그림 6. 회색조 패치와 프린터 및 스캐너의 특성곡선
Fig. 6. Gray patches and characteristic curve of printer and scanner.

되면 프린팅 및 스캐닝 전후의 화소값 변화를 그래프로 나타낼 수 있다. 이 그래프가 프린터와 스캐너의 특성곡선이며, 곡선의 대략적인 방정식(fitted-line equation)은 $y = 0.6009x + 16.647$ 이다. 따라서 특성곡선의 역함수를 구하여 격자무늬 흑백 영상에 적용하게 되면 프린터와 스캐너의 입출력 특성을 보상할 수 있다. 그림 6(a)은 프린터와 스캐너의 특성곡선을 획득하기 위한 256개의 회색조 패치를 나타내며, 그림 6(b)은 회색조 패치를 이용하여 획득된 프린터와 스캐너의 특성곡선이다. 실험에 사용된 프린터와 스캐너 모델은 각각 HP LaserJet 2200DN과 HP ScanJet 7400C이다. 그림 7은 특성곡선을 이용하여 격자무늬 흑백 영상의 화소값을 보상해주는 전체적인 과정이다.

복원된 칼라 영상의 색 채도를 향상시키는 두 번째 방법은 gray-to-color 과정에서 색 정보 CbCr의 범위를 확장하는 것이다. 이 방법을 수행하기 위해서는 우선 원본 영상의 색 정보 CbCr의 최대값 및 최소값을 알고 있다고 가정한다. Gray-to-color 과정에서 추출된 색 정보 CbCr의 절대값은 원본 영상의 CbCr 절대값에 비해 일반적으로 작게 나타난다. 즉 색 정보 CbCr의 범

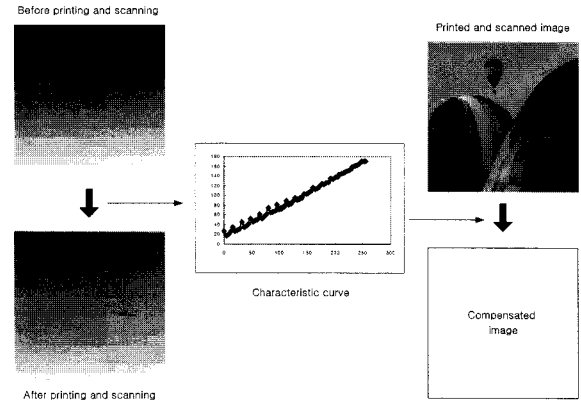


그림 7. 프린터 및 스캐너의 특성곡선을 이용한 격자무늬 흑백 영상의 화소값 보상 과정
Fig. 7. The process of compensating color saturations using the characteristic curve.

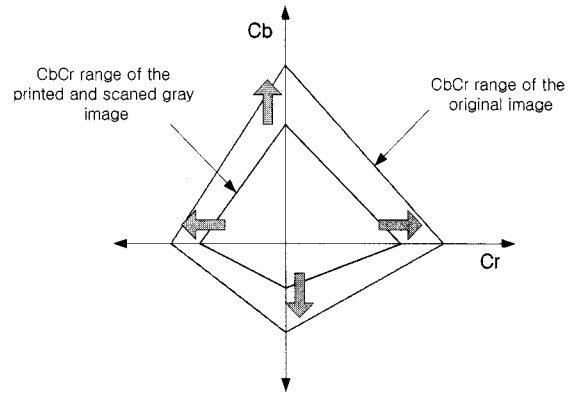


그림 8. 색 정보 CbCr의 범위 확장 개념도
Fig. 8. The diagram of the scaling CbCr components.

위가 줄어들게 된다. 따라서 줄어든 CbCr의 범위를 식 (5), (6), (7)을 이용하여 원본 영상의 CbCr 범위로 확장시킨다.

$$\begin{cases} compensated\ Cb = \alpha \cdot Cb \\ compensated\ Cr = \alpha \cdot Cr \end{cases} \quad (5)$$

for positive values of Cb and Cr

$$\begin{cases} compensated\ Cb = \beta \cdot Cb \\ compensated\ Cr = \beta \cdot Cr \end{cases} \quad (6)$$

for negative values of Cb and Cr

$$\alpha = \min \left\{ \left| \frac{Cb_{max,o}}{Cb_{max,e}} \right|, \left| \frac{Cr_{max,o}}{Cr_{max,e}} \right| \right\} \quad (7)$$

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

여기서 α 와 β 는 각각 CbCr의 양수와 음수에 대한

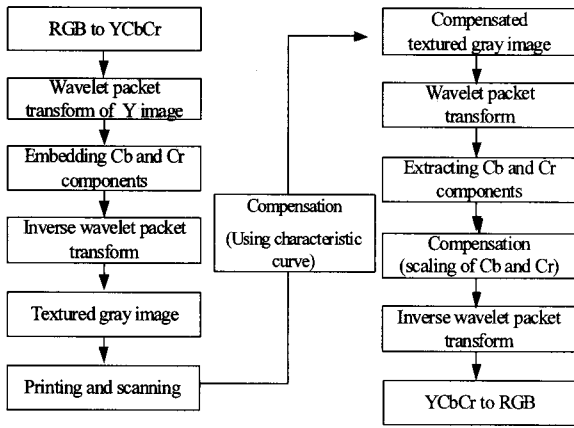
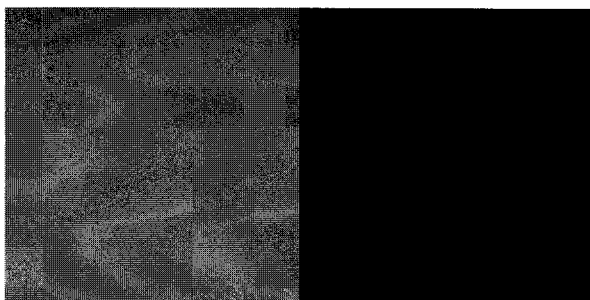


그림 9. 제안한 칼라화 알고리즘의 전체 흐름도
 Fig. 9. The flowchart of the proposed colorization method.

확장 계수이며, $Cb_{max,o}$ 와 $Cr_{max,o}$ 는 원본 영상의 CbCr 최대값, $Cb_{max,e}$ 와 $Cr_{max,e}$ 는 격자무늬 흑백 영상으로부터 추출된 CbCr의 최대값이다. $Cb_{min,o}$ 와 $Cr_{min,o}$ 는 원본 영상의 CbCr 최소값, $Cb_{min,e}$ 와 $Cr_{min,e}$ 는 격자무늬 흑백 영상으로부터 추출된 CbCr의 최소값이다. 그림 8은 프린팅 및 스캐닝 과정에 의해 줄어든 CbCr의 범위를 원본 영상의 CbCr 범위로 확장하는 개념도이며, 그림 9에서는 제안한 칼라화 알고리즘의 전체적인 흐름도를 나타내었다.

III. 실험 결과 및 고찰

그림 10은 기존의 방법과 제안한 방법의 비교를 위한 테스트 영상이다. 색 정보를 포함하고 있는 격자무늬 흑백 영상을 획득하기 위해 기존 방법인 웨이블릿 변환과^[1~2] 제안한 방법인 웨이블릿 패킷 변환을 적용하였으며, 결과는 그림 11과 12에 나타내었다. 자세한 관찰



(a) Balloon (b) Fruit

그림 10. 알고리즘 고찰을 위한 테스트 영상
 Fig. 10. Test images for experiment of proposed method.

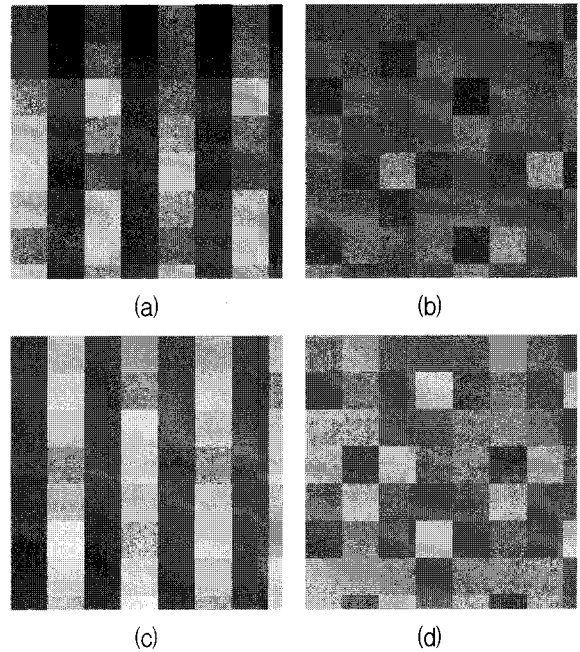


그림 11. 격자무늬 흑백 영상의 비교 (a) 기존 방법을 이용한 격자무늬 흑백 영상 (b) 제안한 방법을 이용한 격자무늬 흑백 영상 (c) (a)를 부분 확대한 영상 (d) (b)를 부분 확대한 영상

Fig. 11. Comparison of textured gray images; (a) textured gray image using the conventional method, (b) texture gray image using the proposed method, (c) and (d) enlarged partial images of (a) and (b).

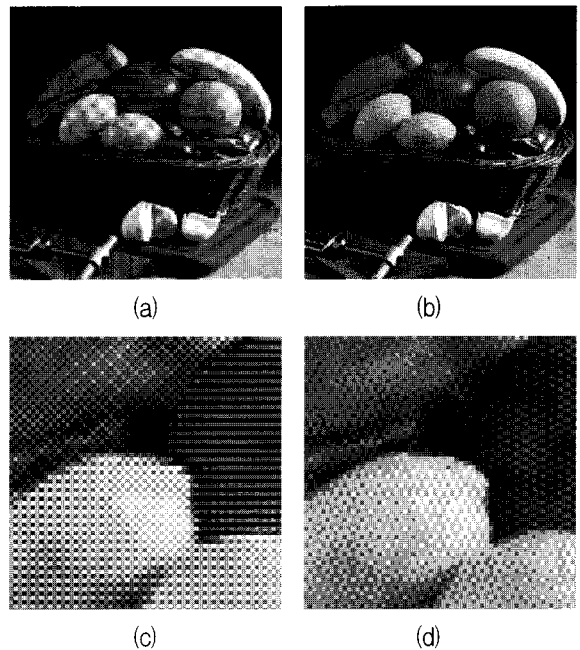
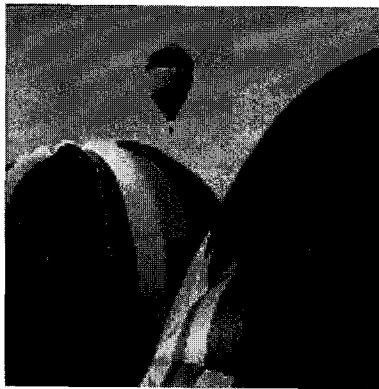
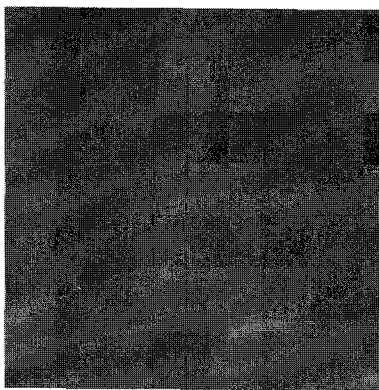


그림 12. 격자무늬 흑백 영상의 비교 (a) 기존 방법을 이용한 격자무늬 흑백 영상 (b) 제안한 방법을 이용한 격자무늬 흑백 영상 (c) (a)를 부분 확대한 영상 (d) (b)를 부분 확대한 영상

Fig. 12. Comparison of textured gray images; (a) textured gray image using the conventional method, (b) texture gray image using the proposed method, (c) and (d) enlarged partial images of (a) and (b).



(a)



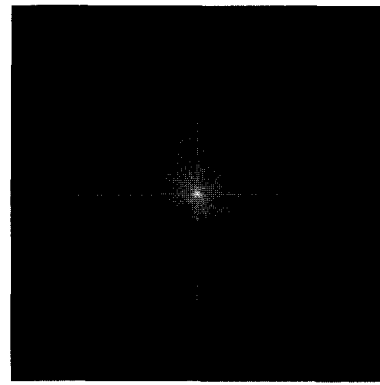
(b)

그림 13. 격자무늬 흑백 영상에서 복원된 칼라 영상의 비교 (a) 기존 방법을 이용하여 복원된 칼라 영상 (b) 제안한 방법을 이용하여 복원된 칼라 영상

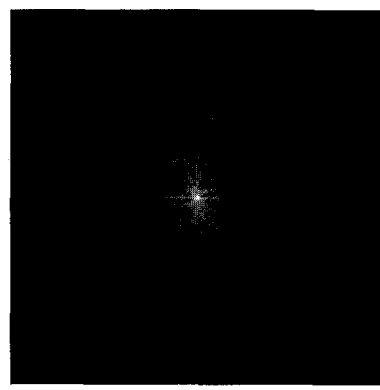
Fig. 13. Comparison of recovered color images from the textured gray images; (a) recovered color image using the conventional method and (b) recovered color image using the proposed method.

을 위해 확대된 영상도 추가하였다. 우선 기존 방법의 결과에서는, 색 정보를 삽입하기 위해 수직, 수평, 대각 sub-band를 이용하였다.^[1~2] 그 결과 색 정보 CbCr이 전체적으로 눈에 거슬리는 격자무늬로 변화되었다. 반면에 제안한 방법에서는 색 정보를 삽입하기 위해 수직의 수평, 수평의 수직 두 개의 sub-band만 이용하였기 때문에 기존의 방법에 비해 격자무늬 패턴이 눈에 덜 거슬리게 나타난다. 즉, 색 정보를 삽입한 공간의 면적이 기존 방법보다 훨씬 적기 때문이다.

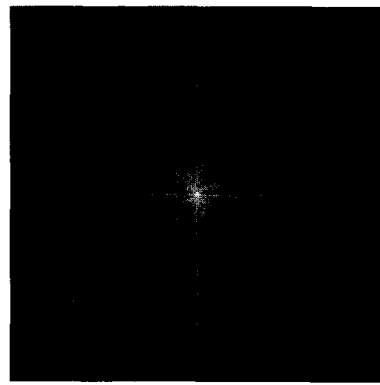
그림 13은 격자무늬 흑백 영상에서 칼라 영상으로 복원된 결과이다. 이 결과는 실제 프린팅 및 스캐닝 과정 없이 컴퓨터 시뮬레이션에 의해서 복원된 영상이다. 즉, 프린팅 및 스캐닝 과정에서 발생하는 여러 오차 변수 (image warping, rotation, pixel registration)들이 없기 때문에 거의 완벽하게 색을 복원할 수 있다. 그림 13(a)은 기존의 방법을, 13(b)은 제안한 방법을 이용하여 복



(a)



(b)



(c)

그림 14. 주파수 영역의 비교 (balloon 영상) (a) 원본 영상의 주파수 영역 (b) 기존 방법을 이용하여 복원된 영상의 주파수 영역 (c) 제안한 방법을 이용하여 복원된 영상의 주파수 영역

Fig. 14. Comparison of the frequency domains (balloon image); (a) frequency domain of the original image, (b) frequency domain of the recovered image using the conventional method, and (c) frequency domain of the recovered image using the proposed method.

원된 칼라 영상이다. 기존의 방법에서는 색 정보를 수직, 수평, 대각 성분에 삽입하였다가 추출하였기 때문에 복원 시에 영상의 경계부분 선명도가 떨어진다.^[1~2] 즉, 영상의 고주파 성분이 그 값을 잃어버려서 몽롱화

(blurring) 현상이 발생되었다. 하지만 제안한 방법에서는 색 정보를 삽입할 때 영상의 정보가 거의 없는 sub-band를 이용하였기 때문에, 복원 시에도 경계부분의 선명도가 거의 손실되지 않는다. 경계부분 손실 여부를 좀더 명확히 조사하기 위해 복원된 영상을 수식 (8)의 2차원 DFT(Discrete Fourier Transform)를 이용하여 주파수 영역으로 변환하였다.

$$F(u, v) = \frac{1}{mn} \sum_{x=0}^{m-1} \sum_{y=0}^{n-1} f(x, y) e^{-j2\pi(ux/m + vy/n)} \quad (8)$$

여기서 $m \times n$ 은 영상의 크기, $f(x, y)$ 는 주파수 변환 전의 영상, $F(u, v)$ 는 주파수 변환 후의 영상이다. 그림 14(a)는 원본 영상(balloon 영상)의 주파수 영상이고, 14(b)는 기존 방법의 주파수 영상, 14(c)는 제안한 방법의 주파수 영상이다. 그림을 보면 기존의 방법에서는 고주파 영역이 손실되어서 보이지 않지만, 제안한

방법에서는 원본의 주파수 영상과 비교하여 고주파 영역에서 거의 동일한 것을 확인할 수 있다.

그림 15는 격자무늬 흑백 영상에서 칼라 영상으로 복원한 결과로써, 실제 프린팅 및 스캐닝 과정을 거쳐서 복원한 영상이다. 이 결과는 실제 프린팅 및 스캐닝 과정을 거치기 때문에 프린터와 스캐너의 입출력 특성 및 여러 가지 오차 변수에 의해 화소값이 변화된다. 따라서 복원된 칼라 영상에서 색 채도가 떨어지며, 전체적으로 화질이 열화된다. 그러나 색 채도를 향상시키기 위해 두 가지 제안한 방법인 프린터와 스캐너의 특성곡선, 그리고 색 정보 CbCr의 범위 확장 방법을 각각 적용하였다. 그림 15(a)는 채도 향상 방법을 적용하지 않고 복원한 칼라 영상이고, 15(b)는 프린터와 스캐너의 특성곡선을 이용한 향상 방법을 적용한 결과이다. 15(c)는 색 정보 CbCr의 범위 확장 방법을 적용한 결과이며, 15(d)는 두 가지 방법 모두를 한꺼번에 적용한 결과이다. 화질의 향상 정도를 수치적으로 고찰하기 위해 식

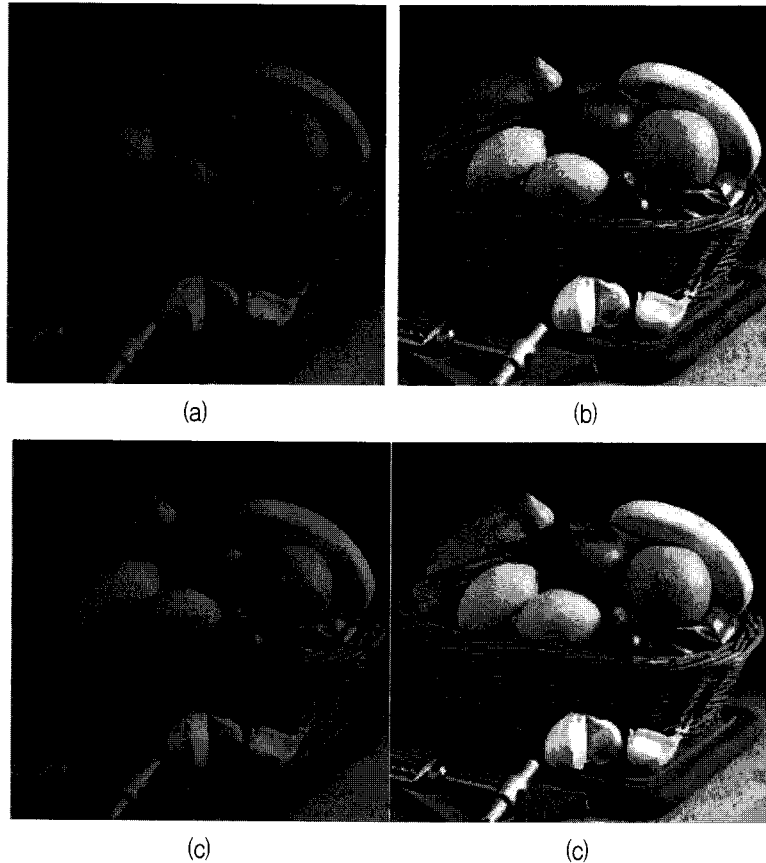


그림 15. 프린팅 및 스캐닝 과정을 거친 격자무늬 흑백 영상으로부터 복원된 칼라 영상의 비교 (a) 채도 향상 알고리즘을 적용하지 않은 결과 영상 (b) 프린터와 스캐너의 특성곡선을 이용한 결과 영상 (c) 색 정보 CbCr의 범위 확대 방법을 이용한 결과 영상 (d) 두 가지 방법을 모두 적용한 결과 영상

Fig. 15. Recovered color images from the printed and scanned gray image; (a) without the compensation methods, (b) using the characteristic curve, (c) using the CbCr scaling method, and (d) using the both compensation method.

표 2. 복원된 영상의 PSNR 비교
Table 2. Comparison of PSNR values.

	no compensation method	특성 곡선	CbCr 확장	both compensation method
PSNR [dB] (RGB)	R: 12.44	R: 18.78	R: 14.31	R: 21.51
	G: 17.57	G: 24.08	G: 17.94	G: 25.14
	B: 16.87	B: 17.53	B: 18.20	B: 20.40
PSNR [dB] (Average)	14.99	19.35	16.43	21.93

(9)을 이용하여 PSNR(Peak Signal to Noise Ratio)을 계산하였다.

$$MSE_k = \frac{1}{mn} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} \|O_k(i, j) - R_k(i, j)\|^2 \quad (9)$$

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

여기서 (i, j) 는 $m \times n$ 영상의 좌표값이고, k 는 RGB 칼라 채널을 나타낸다. $O(i, j)$ 와 $R(i, j)$ 는 각각 원본 영상과 복원된 영상을 나타낸다. 표 2에서는 그림 15에 대한 PSNR 결과를 나타내었다. 우선 채도 향상 알고리즘을 적용하지 않은 영상의 평균 PSNR은 14.99[dB]이다. 하지만 프린터와 스캐너의 특성곡선을 적용한 방법과, 색 정보 CbCr 확장 방법을 적용한 영상의 평균 PSNR은 각각 19.35[dB]와 16.43[dB]로써 화질이 향상되었음을 알 수 있다. 그리고 두 가지 방법 모두를 적용한 결과는 21.93[dB]로써 화질이 가장 향상되었다. 따라서 제안한 방법이 채도를 향상시켜 전체적인 화질을 개선하는데 효과적임을 확인할 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 웨이블릿 패킷 변환을 이용한 칼라화 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 칼라 영상을 색 보가 포함된 격자무늬의 흑백 영상으로 변환하는 과정과, 격자무늬 흑백 영상에서 색 정보를 추출하여 칼라 영상을 다시 복원하는 과정으로 구성된다. 입력된 RGB 영상의 Y 영상에 웨이블릿 패킷 변환을 이용하여 여러 개의 sub-band로 나눈 후, 정보의 양이 가장 적은 sub-band에 CbCr 정보를 삽입하여 격자무늬를 가지는 새로운 흑백 영상을 획득하였다. 획득된 영상에서 웨이블릿 패킷 변환을 다시 한 번 이용하여 여러

sub-band로 나눈 후, 색 정보 CbCr을 추출하고 Y 영상과 결합하여 본래의 RGB 영상을 복원하였다. 그리고 복원된 칼라 영상의 색 채도를 향상시키기 위해 프린터와 스캐너의 특성곡선 및 CbCr 범위 확장 방법을 이용하였다. 그 결과 제안한 방법을 이용하여 복원한 영상은 단순히 웨이블릿 변환만을 이용한 기존의 방법에 비해 경계 부분에서의 선명도 및 색 채도가 보다 향상되었다.

Acknowledgement

본 논문(결과물)은 교육인적자원부, 산업자원부, 노동부의 출연금 및 보조금으로 수행한 최우수실험실지원사업의 연구결과입니다.

참 고 문 헌

- [1] R. L. de Queiroz and K. M. Braun, "Color to gray and back: Color embedding into textured gray images," *IEEE Transactions of Image Processing*, vol. 15, no. 6, pp. 1464-1470, June 2006.
- [2] 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.
- [3] M. Chaumont and W. Puech, "A color image hidden in a grey-level image," *CGIV 2006 Final Program and Proceedings*, pp. 226-231, June 2006.
- [4] V. Tsagaris and V. Anastassopoulos, "Fusion of visible and infrared imagery for night color vision," *Display*, vol. 26, no. 4-5, pp. 191-196, Oct. 2005.
- [5] M. Vilaseca, J. Pujol, and M. Arjona, "Color visualization system for near-infrared multispectral images," *Journal of Imaging Science and Technology*, vol. 49, no. 3, pp. 246-255, May/June 2005.
- [6] T. Chen, Y. Wang, V. Schillings, and C. Meinel, "Grayscale image matting and colorization," *Proceedings of ACCV2004*, pp. 1164-1169, Jan. 2004.
- [7] T. Welsh, M. Ashikhmin, and K. Mueller, "Transferring color to grayscale images," *Proceedings of ACM SIGGRAPH*, pp. 277-280, 2002.
- [8] A. Toet, "Colorizing single band intensified

- nightvision images”, *Display*, vol. 26, no. 1, pp. 15-21, Jan. 2005.
- [9] T. Horiuchi and H. Kotera, “Colorization algorithm for monochrome image sequences using optical flow,” *Proceedings of IS&T/SID 12th Color Imaging Conference*, pp. 140-143, Nov. 2005.
- [10] T. Horiuchi and H. Kotera, “Colorization for monochrome image with texture,” *Proceedings of IS&T/SID 13th Color Imaging Conference*, pp. 245-250, Nov. 2005.
- [11] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, *Digital Image Processing*, Prentice Hall, 2002.

 저 자 소 개



고 경 우(학생회원)
 2003년 경북대학교 전자전기
 공학부 (공학사)
 2005년 경북대학교 대학원
 전자공학과 (공학석사)
 2008년~현재 경북대학교 대학원
 전자공학과 박사과정
 재학중

<주관심분야 : 칼라화 알고리즘 및 선호색 사상>

손 창 환(학생회원)
 대한전자공학회 논문지
 제 44권 SP편 제 4호 참조

권 오 설(학생회원)
 대한전자공학회 논문지
 제 41권 SP편 제 5호 참조

하 영 호(평생회원)
 대한전자공학회 논문지
 제 38권 SP편 제 3호 참조