

論文2003-40SP-4-1

S-CIELAB 색차를 이용한 개선된 혼합 블루 노이즈 마스크 (Modified Jointly Blue Noise Mask Approach Using S-CIELAB Color Difference)

金允泰*, 趙良鎬*, 李澈熙**, 河永浩*

(Yun-Tae Kim, Yang-Ho Cho, Cheol-Hee Lee, and Yeong-Ho Ha)

요약

본 논문은 디지털 칼라 하프토닝 방법으로써 S-CIELAB 색차를 이용한 개선된 혼합 블루노이즈 마스크 방법을 제안한다. 블루 노이즈 패턴의 눈에 거슬리는 패턴과 색차와의 관계를 조사하여 제안한 하프토닝 방법은 고화질의 블루노이즈 패턴을 유지하면서 색차를 줄이는 방법이다. 따라서, 색차를 줄이기 위해서 마스크 생성 과정에서 저주파 오차와 S-CIELAB 색차 모두가 고려되고, 단일 패턴과 결합 패턴에 대해서 계산하였다. 계산된 저주파 필터 오차를 사용하여 다중 이진 패턴으로부터 도트들을 더하거나 빼줌으로써 생성되며, 최종적으로 작은 S-CIELAB 색차를 나타내는 패턴을 선택한다. 실험에서는 제안한 방법이 기존의 JBNM 방법보다 작은 색차를 나타내면서 인간 시각에는 보기 좋은 하프토닝 영상을 생성한다는 것을 확인할 수 있었다.

Abstract

This paper proposes a modified jointly-blue noise mask (MJBNM) method using the S-CIELAB color measure as digital color halftoning method. Based on an investigation of the relation between the pattern visibility and the chromatic error of a blue noise pattern, a halftoning method is proposed that reduces the chromatic error, while preserving a high quality blue noise pattern. Accordingly, to reduce the chrominance error, the low-pass filtered error and S-CIELAB chrominance error are both considered during the mask generation procedure and calculated for single and combined patterns. Using the calculated low-pass filtered error, the patterns are then updated by either adding or removing dots from the multiple binary patterns. Finally, the pattern exhibiting the lower S-CIELAB chrominance error is selected. Experimental results demonstrated that the proposed algorithm can produce a visually pleasing halftoned image with a lower chrominance error than the JBNM method.

Keywords : 디지털 하프토닝, 혼합 블루 노이즈 마스크, S-CIELAB 색차, 저역 통과 필터

* 正會員, 慶北大學校 電子電氣컴퓨터學部

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

** 正會員, 慶雲大學校 컴퓨터工學科

(Department of Computer Engineering, Kyungwoon Univ.)

※ 본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(과제번호: R01-2000-000-00253-0)의 지원으로 수행되었음.)

接受日字:2003年4月10日, 수정완료일:2003年7月18日

1. 서론

디지털 중간조(digital halftoning) 처리란 스캔된 사진이나 컴퓨터 그래픽과 같은 여러 레벨의 밝기값을 갖는 디지털 영상을 흑백의 이진 영상으로 표현하는 방법이다. 이 경우 중간조 처리된 영상은 두 개의 그레이 단계, 즉 흑색과 백색으로만 표현되며 인간이 중간조 처리된 영상을 보게되는 경우 인간의 시각과 뇌 작

용에 의해서 공간적으로 적분이 일어나게 되어 마치 저역 통과 필터를 통과한 것과 같은 효과가 나타나서 흑색과 백색의 점으로 된 영상을 연속계조의 영상으로 인식하게 된다. 일반적으로는 중간조 처리 기법은 저해상도의 프린터에서 고화질의 출력영상을 얻기 위해 사용되며 현재에는 칼라 잉크젯 프린터의 보급으로 기존의 흑백 영상을 표현하기 위한 중간조 처리에서 칼라 영상을 표현하기 위한 중간조 처리로 발전하고 있다. 칼라 중간조 처리 기법인 경우 흑백 영상에 적용하던 중간조 처리 방법을 적용시킬 경우에는 어느 정도의 톤 재현은 가능하지만, 정확한 색재현이 이루어지지 않는 문제가 있다. 따라서 기존의 흑백 중간조 처리 기법들을 바탕으로 정확한 색을 재현하기 위한 연구가 다양하게 이루어지고 있다.

기존의 중간조 처리 방법에는 순서 디더링(ordered dither), 오차 확산(error diffusion), 블루 노이즈 마스크(blue noise mask; BNM)^[1,2]를 이용하는 방법이 있다. 순서 디더링은 미리 정해놓은 임계 행렬을 이용하여 화소의 이진값을 결정하기 때문에 속도가 빠른 장점이 있으나 저해상도 프린터에서는 고정된 임계값의 사용으로 인한 규칙적인 패턴 때문에 화질의 열화가 생기는 단점이 있다. 오차 확산법은 화소의 이진화로 인한 양자화 오차를 주위의 화소로 확산시키는 방법이다. 경계가 분명하고 우수한 화질의 영상을 얻을 수가 있으나 화소마다 양자화 오차를 주위화소로 확산시킬 때의 많은 연산량으로 인해 수행속도가 느리고 어두운 영역 또는 밝은 영역에서는 벌레 모양과 같은 패턴(worm-like pattern)이 발생하는 단점이 있다. 블루 노이즈 마스크를 이용하는 방법은 이진화된 영상이 주파수 영역에서 블루 노이즈인 고주파(high frequency) 특성을 갖도록 하는 임계치로 구성된 마스크를 생성하여 입력 영상과의 화소 대 화소의 비교만으로 이진화된 영상을 얻는 방법이다. 오차 확산에 비해서 속도가 빠르고 벌레 모양과 같은 패턴은 나타나지 않지만 결과 영상에 잡음이 섞여 보이는 단점이 있다.

블루 노이즈를 이용한 칼라 중간조 처리의 경우에는 각 칼라 채널에 적용할 마스크를 만드는 방법을 이용한다. 칼라 영상에 적용하기 위해서 하나의 칼라 채널에서 뿐만 아니라 두 개 또는 세 개의 채널이 겹쳐지는 상황을 고려하여 모든 경우에 블루 노이즈 특성을 만족할 수 있도록 마스크를 구성한다. 이 방법의 경우 중간조 처리 결과 영상이 부드럽게 나타나면서 비교적

정확한 톤 재생이 가능하다. 하지만, 정확한 색재현이 되지 않고 기존 방법들에 비해 색차(color difference)가 증가하는 단점을 가지고 있다^[3-5].

블루 노이즈를 이용한 기존 방법 중에 기존 혼합 블루 노이즈 마스크(jointly-blue noise mask; JBNM)^[4] 방법은 각 칼라 채널의 패턴 중첩성을 고려하여 최대한 인간 시각에 패턴이 드러나지 않도록 만들어 줌으로써 칼라 영상을 중간조 처리하고 있다. 하지만, JBNM 방법을 이용할 경우 휘도오차는 기존 방법보다 줄일 수 있으나 칼라 영상에 적용하는 방법임에도 불구하고 색오차가 증가하는 단점이 있다.

본 논문에서는 이런 문제를 해결하기 위하여 JBNM 방법을 개선하여 칼라 채널간의 중첩 연관성을 고려하면서도 색차를 줄일 수 있는 블루 노이즈 마스크를 만드는 방법을 제안한다. 칼라 채널간의 패턴 중첩성을 고려하는 동시에 색중첩성을 고려하였다. 색오차를 줄이기 위해서 세 개의 칼라 채널에 적용할 세 개의 마스크를 만드는 과정에서 패턴의 중첩성을 고려하기 위해서 저역 통과 필터링 방법을 사용하였으며, 색차가 작은 패턴을 만들고 있는 지를 검사하여 최종 생성되는 마스크는 좋은 블루 노이즈 특성을 보이면서도 작은 색차를 가질 수 있도록 하였다. 제안된 방법을 사용하여 만들어진 마스크를 이용하여 칼라 패치와 실영상에 대한 실험을 하였다. 제안된 방법을 사용한 결과가 JBNM 방법을 사용한 결과보다 색오차가 줄었을 뿐만 아니라 시각적으로도 향상된 결과를 보였다.

본 논문에서는 II장에서 기존 중간조 처리 방법에 대해 살펴보고, III장에서는 원영상과 중간조 처리된 영상과의 색차비교 방법, IV장에서는 제안한 중간조 처리 방법 즉 개선된 혼합 블루 노이즈 마스크 방법을 살펴보고 V장 실험 및 고찰 통해 VI장에서 결론을 살펴볼 것이다.

II. 디지털 영상 중간조 처리방법

1. 기존 흑백 블루 노이즈 마스크

블루 노이즈 마스크는 주파수 영역에서 블루 노이즈 특성을 가지는 이진 패턴을 생성하는 2차원의 마스크이다. 저주파 성분이 없고, 고주파 영역에서 평탄한 대역을 가지며, 각 마스크의 화소 값은 문턱치를 나타낸다. 그러므로 화소 값의 비교만으로 하프토닝 처리된 영상을 얻을 수 있다.

블루 노이즈 마스크를 생성하기 위해서는 밝기값이 $g(128)$ 이고 크기가 $N \times N$ 인 백색 잡음 스크린으로 이진 패턴을 만든다. 이 이진화된 패턴을 $B(i,j,g)$ 라 하면, 이 패턴을 2차원 푸리에 변환을 하여 $B(u,v,g)$ 를 만든다. 여기서 i 와 j 는 공간영역 2차원 평면 좌표를 나타내고 u 와 v 는 주파수영역 2차원 평면좌표이며, g 는 현재 이진 패턴의 그레이 레벨을 말한다. 이 변환된 값을 2-D 필터 $F_{u,v}$ 에 통과시켜 $B'(u,v,g)$ 를 만들고, 이것을 2차원 역푸리에 변환을 하여 $B'(i,j,g)$ 를 만든 후에 $B'(i,j,g)$ 와 밝기값 g 의 오차 $e(i,j,g)$ 를 구한다. 블루 노이즈 마스크에서 0은 흑점, 1은 백점을 나타내며, 각 레벨의 마스크에서 0과 1의 값을 누적하면 최종적인 마스크의 문턱치 값이 된다. 따라서 $e(i,j,g)$ 를 큰 값부터 작은 값으로 정렬한 후 제일 큰 값과 작은 값이 위치하는 0은 1로, 1은 0으로 교환하고, 같은 방법으로 2번째 큰 값과 2번째 작은 값이 위치한 0은 1로 1은 0으로 P쌍만큼 교환한다.

이렇게 해서 현재의 $MSE(i,j,g)$

$$MSE(i,j,g) = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [e(i,j,g)^2], \quad (1)$$

를 구하고, 앞단계에서 구한 $MSE(i,j,g)$ 값과 비교해서 작거나 같으면 다시 위의 과정을 반복하고, 크면서 P 가 1이 아닌 경우는 $P=P/2$ 로 하여 반복하고 $P=1$ 이면 끝낸다.

구해진 초기 패턴을 이용하여 밝기값이 $\pm \Delta g$ 만큼 변화함에 따라 초기 패턴에서 아래위로 패턴들을 만들어 간다. 8비트 영상에서 일반적으로 Δg 는 1이며, g 가 128이므로 128에서 255까지의 상승단계와 128에서 0으로의 하강 단계로 나누어 처리해준다.

먼저 $B'(i,j,g)$ 가 0인 흑점들 중에 16개를 랜덤하게 1인 백점으로 교환하고, 초기 패턴을 만들 때와 같은 방법으로 2-D 푸리에 변환과 필터 처리를 통해서 $B'(i,j,g)$ 를 구하고, 밝기값 g 와의 $MSE(i,j,g)$ 를 구한다. 최적을 $MSE(i,j,g)$ 를 찾을 때까지 위 과정을 반복하면 $B(i,j,g + \Delta g)$ 의 얻을 수 있다. 이 과정을 $g + \Delta g$ 가 255가 될 때까지 반복하면 상승 단계에서의 128개의 최적의 블루 노이즈 특성을 가지는 패턴을 얻게 된다. 같은 방법을 사용하면, $g - \Delta g$ 부터 0가 될 때까지 하강 단계의 128개의 최적의 패턴도 얻게 된다. 즉, 모든 그레이 레벨을 표현하는 각각의 그레이 레벨에 대한 도트 패턴

을 만든다. 8비트 그레이 레벨에서는 256개의 도트 패턴이 만들어지고, 각 화소의 값은 0과 1로 정규화 되어, 화소대 화소로 가산된다. 따라서, 모든 그레이 레벨의 문턱치를 가지는 블루 노이즈 마스크가 만들어진다.

2. 혼합 블루 노이즈 마스크 방법

블루 노이즈 마스크를 이용하는 칼라 하프토닝 처리 방법으로 혼합 블루 노이즈 마스크 방법이 Wang 과 Parker에 의해서 제안되었다⁴⁾. 그들은 여러 가지 이진 패턴의 조합을 조사해보고 블루 노이즈 이진 패턴 조합의 기본적인 특성을 연구하고, 이를 근간으로 각 칼라 채널에 적용하는 세 개의 마스크가 개개뿐만 아니라 중첩되는 경우에도 블루 노이즈 특성을 충실히 만족할 수 있는 마스크를 만드는 방법을 제안하였다.

JBNM 방법은 디지털 필터링 기법을 이용하여 블루 노이즈 특성을 만족시키는 세 개의 마스크로 구성되는 마스크 집합을 동시에 만들게 된다. 세 개의 패턴이 중첩될 수 있는 경우의 수를 모두 고려하여 각 패턴에 대하여 MSE가 최소가 되는 패턴을 만들어 최종적으로 세 개의 마스크를 만들게 된다.

이렇게 만들어진 마스크를 사용하면 각각의 칼라 채널뿐만 아니라 채널이 중첩되는 패턴도 시각적으로 좋은 블루 노이즈 특성을 만족하게 되어 하프토닝 처리된 영상이 좋아질 뿐만 아니라 기존 방법에 비해 휘도 차가 줄어든다. 하지만, JBNM 방법은 칼라 영상에 적용하는 방법임에도 불구하고 기존방법에 비해 색차가 커지는 단점이 있다. 이것은 패턴이 구성하게 될 영상의 색에 대한 고려는 하지 않고 하프토닝 처리된 패턴이 시각적으로 오차가 두드러지지 않도록 하는 공간적인 처리에만 중점을 두었기 때문이다.

III. 색차(Color difference)의 계산

1. CIELAB 색차

입력 영상과 하프토닝 처리된 영상의 색차를 최소로 하기 위해 두 영상간의 색오차를 계산해야 하는데, 그 대표적인 방법이 인간 시각 특성을 바탕으로 만들어진 균등 색공간인 CIELAB를 사용하는 방법이다⁶⁾. 칼라 영상의 비균등 색공간인 RGB 값들은 균등 색공간인 CIELAB로 변환되어야 하는데 그 과정에서 장치 의존적인 색공간인 RGB는 장치 독립적인 XYZ로 변환하고 그 값을 다시 LAB로 변환하는 과정을 거치게 된다.

XYZ에서 LAB로의 변환은 아래와 같은 수식들에 의해 가능하다.

$$L^* = 116 f(Y/Y_n) - 16 \quad (2)$$

$$a^* = 500 [f(X/X_n) - f(Y/Y_n)] \quad (3)$$

$$b^* = 200 [f(Y/Y_n) - f(Z/Z_n)] \quad (4)$$

$$f(t) = \begin{cases} t^{1/3}, & t > 0.008856 \\ 7.787(t) + 16/116, & t \leq 0.008856 \end{cases} \quad (5)$$

이때, 위 식에서 $f(t)$ 는 스칼라 함수이며, X_n, Y_n, Z_n 은 기준 백색의 삼자극치이며 Y_n 은 100으로 고정된다.

CIELAB 색공간에서의 기하학적 거리(Euclidean distance)를 나타내는 색차식 ΔE^*_{ab} 는

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (6)$$

$$= \sqrt{(L_m^* - L_p^*)^2 + (a_m^* - a_p^*)^2 + (b_m^* - b_p^*)^2}$$

로 표현된다. L_m^*, a_m^*, b_m^* 과 L_p^*, a_p^*, b_p^* 는 각각 모니터와 프린터에 대한 L^*, a^*, b^* 이다.

2. S-CIELAB 색차

CIELAB 색차는 표준 광원 하에서 동일한 색으로 하나의 색만을 가지는 패치를 사용하여 측정하는 것을 기본으로 하고 있다. 따라서 다양한 색 정보를 가지는 실영상에 대해서는 정확도가 떨어져 인간이 인지하는 색의 차이를 제대로 나타내지 못한다^[7,8]. Zhang과 Wandell은 CIELAB에 공간적 처리를 확장시킨 S-CIELAB라는 색차를 제안하였다^[9]. 그들은 인간의 공간 칼라 민감도를 고려하여 색의 표현과 색의 구분이 공간적인 패턴에 영향을 받는지를 고찰하였다. 상기 방식에서는 S-CIELAB 색차가 인간의 공간 칼라 민감도를 고려할 수 있도록 기존의 CIELAB에 추가적으로 공간적인 처리를 하도록 하였다. <그림 1>에서처럼 추가적인 처리는 표준 CIELAB 계산의 전처리 단계의 역할을 한다. 원 영상은 우선 휘도와 빨강-녹색, 그리고 파랑-노란색 채널로 구성되는 보색 시스템으로 변환된 후, 각각 인간 시각의 공간 민감도를 고려한 공간 필터를 거치게 된다. 이 과정에서 인간 시각 체계의 공간색에 대한 공간 민감도가 고려되게 된다. 필터를 거친 영상은 다시 XYZ에서 LAB 좌표로 변환되게 된다. 비교 영상도 이와 같은 과정을 거치고 나면 CIELAB 색차를 구할 때처럼 원 영상과의 기하학적 거리(Euclidean distance)를 구하는 것으로 S-CIELAB 색차를 얻을 수

있다. XYZ에서 보색 칼라 시스템으로 변환하는 것은 다음과 같은 선형 변환으로 이루어진다.

$$O_1 = 0.279X + 0.72Y - 0.107Z$$

$$O_2 = -0.449X + 0.29Y - 0.077Z$$

$$O_3 = 0.086X - 0.59Y + 0.501Z \quad (7)$$

그리고, Zhang과 Wandell이 사용한 필터들은

$$f = k \sum_i \omega_i E_i \quad (8)$$

$$E_i = k_i \exp[-(x^2 + y^2)/\sigma_i^2] \quad (9)$$

이다. 여기서, k_i 는 E_i 가 합이 1이 되도록 정해지고,

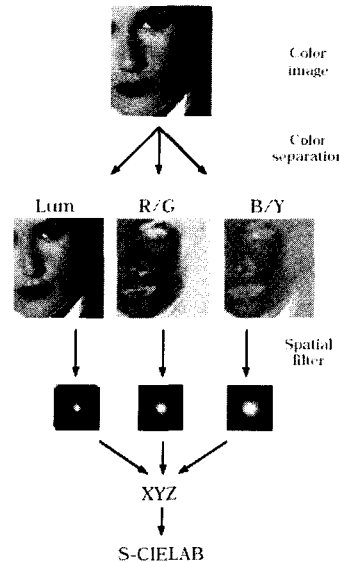


그림 1. S-CIELAB 색차 계산

Fig. 1. Procedure of S-CIELAB color difference calculation^[9].

표 1. 공간 필터의 weights ω_i 와 spreads σ_i

Table 1. Values of weights ω_i and spreads σ_i of spatial filter.

Plane	Weights ω_i	Spreads σ_i
Lum	0.921	0.0283
	0.105	0.133
	-0.108	4.336
Red-green	0.531	0.0392
	0.330	0.494
Blue-yellow	0.488	0.0536
	0.371	0.386

k 는 f 의 합이 1이 되도록 정해진다. 또 ω_i, σ_i 는 <표 1>과 같이 주어진다.

본 논문 연구에서는 텍스처(texture)가 많은 하프토닝 처리와 같은 영상에서 더 정확한 색차를 알 수 있는 S-CIELAB 색차를 척도로 사용한다^[10].

IV. 제안한 하프토닝 처리 방법

제안한 하프토닝 처리방법은 S-CIELAB 색차를 이용하여 JBNM 방법을 개선한 방법이다. 이 개선된 혼합 블루 노이즈 마스크(modified jointly-blue noise mask; MJBNM) 방법은 궁극적으로 세 개의 칼라 채널에 적용할 세 개의 블루 노이즈 마스크를 만드는 방법으로서 제안한 방식으로 만들어진 마스크를 사용할 경우 JBNM 방법보다 적은 색차를 보이면서 JBNM 방법보다 나은 결과 영상을 얻을 수 있었다. 제안한 방법에서는 마스크 생성과정에서 저대역 필터 오차와 S-CIELAB 색차를 동시에 고려하였다. 저대역 필터 오차와 S-CIELAB 색차 측정은 각 칼라 채널 패턴뿐만 아니라 칼라 채널간의 상호관계를 고려하기 위하여 두 개 이상의 칼라 채널의 중첩 패턴에도 적용되었다. 마스크 생성과정에서 먼저 저대역 필터 오차에 따라서 이진 패턴의 검은 점을 더하거나 제거해서 패턴을 변화시키고, 변환된 패턴의 S-CIELAB 색차를 구해서 색차가 줄었는지를 조사하여 최종적으로는 반복과정을 거쳐 S-CIELAB 색차가 적은 패턴이 선택된다.

1. 제안한 마스크 생성법

<그림 2>는 제안한 MJBNM 마스크를 만드는 과정을 보여주고 있다. 여기서 입력으로 필요한 것은 Mitsa와 Paker의 BIPPSMA(binary pattern power spectrum manipulating algorithm)^[11] 방법을 사용해서 만들어진 64×64의 크기를 갖는 마스크이다. 출력은 세 개의 칼라 채널에 쓰일 세 개의 마스크이다. 전체 과정은 다음과 같다.

1.1. 초기 패턴의 생성

마스크를 만드는 과정에서 보면 255개의 패턴을 생성하게 되는데 첫 번째 시작점이 되는 패턴으로부터 하강단계와 상승단계로 진행되게 된다. 255개의 패턴들 사이에는 이웃하는 패턴에 대해서 스택 조건(stack constraint)이 성립하여야 한다. 스택 조건이란 <그림 2>에서처럼 현재 레벨의 검은 점을 바탕으로 다음 레

벨의 검은 점이 결정된다는 것을 의미한다. <그림 3(b)>는 <그림 3(a)>의 검은 점들 중에서 세 개의 검은 점을 제거하여 한레벨 밝은 패턴이 생성된 것으로 보여주고 있다. 255개의 패턴들 사이에 이러한 스택 조건이 존재하므로 초기 패턴의 특성에 따라서 최종 마스크의 특성이 크게 좌우된다. 따라서 초기패턴을 결정할 때에는 최적의 블루 노이즈 특성을 만족하도록 하는 것이 중요하다. 제안된 알고리즘에서는 한 개의 BIPPSMA 마스크를 이용하여 세 개의 초기 패턴을 만들었다.

초기 패턴의 그레이 레벨은 전체 레벨의 상위 25%를

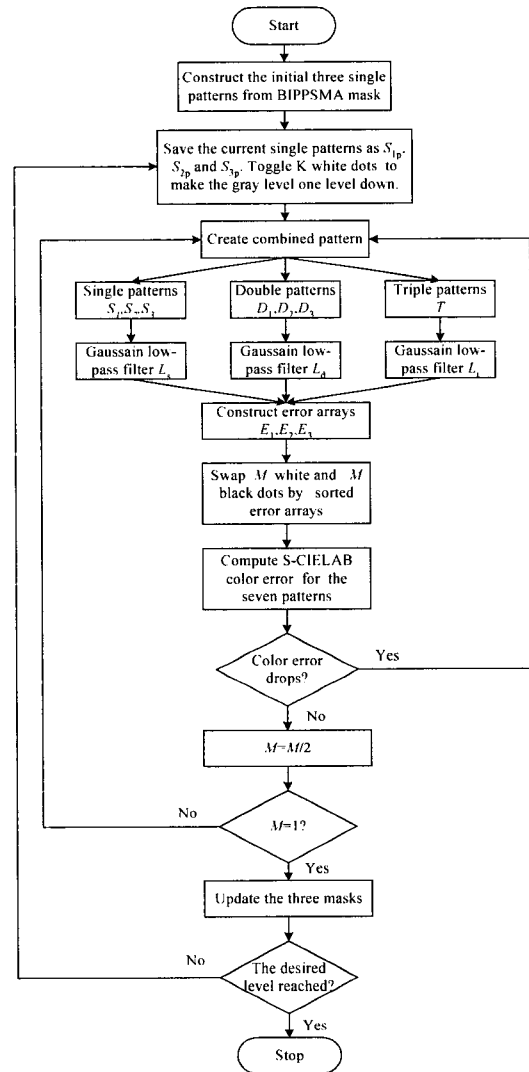


그림 2. 제안한 블루 노이즈 마스크 생성 블록도
Fig. 2. Block diagram of the proposed mask construction.

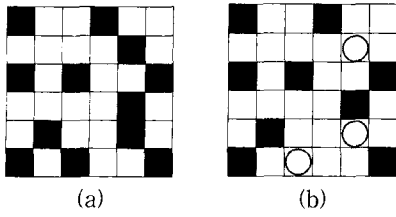


그림 3. 스택 조건을 만족하는 이웃 레벨 패턴 (a) G 레벨 패턴 (b) G+1레벨 패턴

Fig. 3. Neighboring patterns showing stacking constraint (a) G level pattern, (b) G+1 level pattern.

포함하는 191 레벨로 하며 세 개의 패턴의 모두 191 레벨이 되도록 하였다. <그림 4>에서처럼 cyan에 대한 패턴을 BIPPSMA 마스크 값이 191인 점만을 선택하여 검은 점으로 만든 패턴을 선택하고, magenta에 대한 패턴은 cyan 패턴의 검은 점 개수의 두 배의 점을 갖는 127 레벨 패턴에서 cyan 패턴과 중복되는 점을 뺀 패턴을 선택한다. 그리고 yellow 패턴에 대해서는 검은 점 개수가 cyan 패턴의 세 배의 점을 갖는 63 레벨 패턴에서 cyan과 magenta 패턴과 중복되는 점을 뺀 패턴을 선택한다. 이렇게 만들어진 세 개의 패턴을 각각 S_1, S_2, S_3 라고 한다. 이렇게 cyan, magenta, yellow 초기 패턴을 선택하는 이유는 191 레벨보다 높은 밝은 영역에서는 cyan, magenta, yellow의 패턴이 완전히 겹치지 않게 할 수 있기 때문이다. 이 방법은 실제 4 마스크 설계 방법^[3]에서 쓰이는 것으로 상대적으로 밝은 영역에서는 칼라 점이 겹쳐서 어두운 점이 될 경우 어두운 영역에서 보다 눈에 더 거슬리게 되는 단점을 보완할 수 있는 방법이다.

1.2. 그레이 레벨 한 단계 낮추기

앞에서 만들어진 세 개의 패턴을 S_{1b}, S_{2b}, S_{3b} 로 기록해두고 S_1, S_2, S_3 의 그레이 레벨을 한 단계 낮추는 작업을 한다. 그레이 레벨을 낮추기 위해서 임의로 K 개의 흰 점을 검은 점으로 바꾼다. 마스크의 사이즈가 $N \times N$ 이고 총 그레이 레벨이 L 이라면 K 는

$$K = N \times N / L \quad (10)$$

이 된다.

1.3. 중첩 패턴 만들기

칼라 영상은 세 개의 칼라 채널이 합쳐져서 하나의 영상을 이루므로 각 채널의 패턴뿐만 아니라 채널이

중첩될 경우의 패턴도 고려되어야 한다. 앞에서 그레이 레벨이 조정된 S_1, S_2, S_3 로부터 중첩 패턴을 만든다. S_1 과 S_2 를 중첩시킨 패턴을 D_1 이라 하고, S_2 와 S_3 를 중첩시킨 패턴을 D_2 , S_1 과 S_3 를 중첩시킨 패턴을 D_3 라고 하자. S_1, S_2, S_3 모두를 중첩시킨 패턴을 T 라고 한다. 패턴을 중첩시킬 때에는 피 중첩 패턴의 픽셀 값이 모두 흰 점일 때에만 중첩패턴의 픽셀을 흰 점으로 하고 어느 하나의 피 중첩 패턴의 픽셀 값이 검은 점이라면 중첩패턴의 픽셀을 검은 점으로 한다.

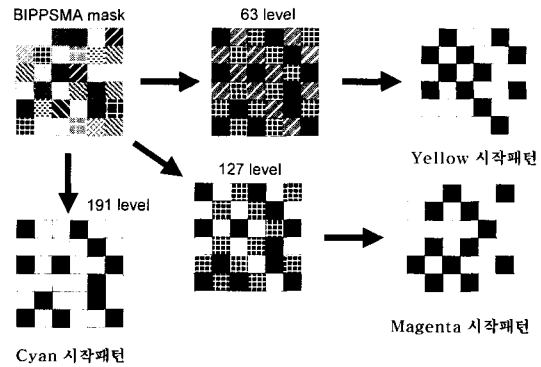


그림 4. 세 개의 시각 패턴 만들기

Fig. 4. Generation of three initial pattern.

1.4. 저대역 필터 설계

저대역 필터로는 2차원 가우시안 저대역 필터를 사용하였다. 저대역 필터는 현재 패턴의 그레이 레벨에 따라서 필터의 차단 주파수가 다르도록 설계되어야 한다. 이렇게 설계하는 이유는 그레이 레벨에 따라서 블루 노이즈 패턴의 전력 스펙트럼이 달라지기 때문이다. Ulichney는 그의 논문에서 주요 주파수(principal frequency)^[3]를 다음과 같이 정의하고 있다.

$$f_g = \begin{cases} \sqrt{g}, & g \leq 1/2 \\ \sqrt{1-g}, & g > 1/2 \end{cases} \quad (11)$$

저대역 필터의 차단 주파수는 $S \times f_g$ 형태로 정해지게 된다. 제안된 방법에서는 2차원 가우시안 저대역 필터의 시그마 값을 그레이 레벨에 따라 조절하였다.

$$F(x, y) = e^{-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}} \quad \sigma = S \times f_g \quad (12)$$

여기에서 S 는 $1/\sqrt{2}$ 을 일반적으로 사용한다.

1.5. 오차열(error array) 구성과 패턴 수정

각각 S_1, S_2, S_3 에 대한 오차열은 다음과 같이 구성된다.

$$\begin{aligned} E_{L1} &= LF(S_1) + LF(D_1) + LF(D_3) + LF(T) \\ E_{L2} &= LF(S_2) + LF(D_1) + LF(D_2) + LF(T) \\ E_{L3} &= LF(S_3) + LF(D_2) + LF(D_3) + LF(T) \end{aligned} \quad (13)$$

식 (13)에서 $LF(\cdot)$ 는 앞 단계에서 설계한 가우시안 저대역 필터이다. 각 칼라 패턴에 대한 평가뿐만 아니라 중첩되는 패턴에 대한 블루 노이즈 평가를 위해서 각 오차열은 S 와 D, T 를 저대역 필터링한 값들의 합으로 구성한다.

이렇게 구성된 오차열은 크기 순서로 정렬한다. 그런 다음 정렬된 오차열 E_{L1} 에 따라서 가장 큰 오차 값을 가지면서 S_{1b} 에서의 위치가 흰 점인 S_1 의 M 개의 검은 점과 가장 작은 오차 값을 갖는 S_1 의 M 개의 흰 점의 위치를 바꾼다. S_2 와 S_3 에 대해서도 같은 처리를 한다. 이렇게 하는 이유는 검은 점과 흰 점의 수를 바꾸지 않아서 현재의 그레이 레벨을 유지고 저대역 필터 오차가 적은 패턴을 만들기 위해서이다. 여기에서 가장 오차가 큰 검은 점을 선택할 때에 저장된 S_{1b}, S_{2b}, S_{3b} 패턴에서 흰 점인지를 조사하는 것은 스택 조건(stack constraint)를 만족시키기 위해서이다.

1.6. S-CIELAB 색차 계산

앞 단계에서 수정된 S_1, S_2, S_3 에 대해서 S-CIELAB 색차를 평가하는 단계이다. 색차를 평가할 때에는 S_1 은 cyan, S_2 는 magenta, S_3 는 yellow를 나타내는 것으로 한다. 1.3. 절에서와 마찬가지로 중첩패턴을 구성하고 7개의 패턴에 대해 다음과 같이 색차를 구한다.

$$E_c = \sum S\Delta E(S_i) + \sum S\Delta E(D_i) + S\Delta E(T) \quad (14)$$

식 (14)에서 $S\Delta E(\cdot)$ 는 S-CIELAB 색차를 의미한다. 각 패턴에 대해 S-CIELAB 색차를 구하는 방법은 <그림 5>과 같다. 우선 보색 색좌표로 변환하여 공간 필터를 적용한 후 LAB 좌표에서 기하학적 거리(Euclidean distance)를 계산하면 색차를 구할 수 있다.

이렇게 계산한 색차를 기준으로 하여 저대역 필터 오차를 바탕으로 패턴을 수정하기 전과의 색차를 비교하

여 색차가 줄어들면 다시 패턴 수정 단계를 반복 수행하고 그렇지 않으면 $M \neq 1$ 일 때까지 $M \neq M/2$ 로 M 값을 바꾸어서 패턴 수정 단계를 반복한다. 만일 $M=1$ 이 되는 경우에는 현재 레벨에서의 패턴이 완성되었다고 보고 다음 레벨에서의 패턴을 만드는 과정을 반복 수행한다. 이 과정을 그레이 레벨이 0이 될 때까지 수행한다.

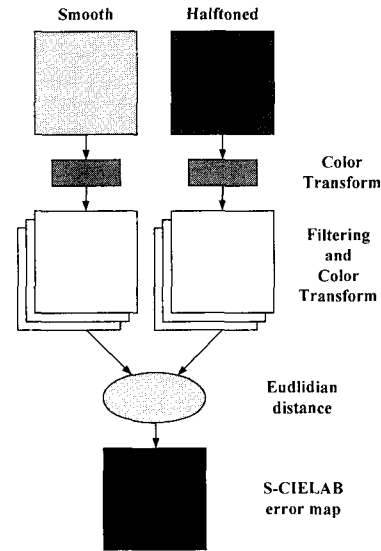


그림 5. S-CIELAB 색차를 구하는 블록도
Fig. 5. Block diagram of S-CIELAB color difference calculation.

1.7. 상승단계 패턴 생성

지금까지 단계는 초기 패턴으로부터 하강단계로 패턴을 만들었다. 이 단계에서는 하강단계에서 검은 점과 흰 점의 역할만 바꾸어 동일한 방법으로 상승단계로 패턴을 만든다. 최종적으로 L 그레이 레벨의 패턴까지 만들게 되면 모든 과정이 끝나고 세 개의 마스크가 만들어진다.

V. 실험 및 고찰

1. 칼라 패치 실험

제안된 방법으로 MacBeth ColorChecker의 값들로 패치를 만들어 마스크를 이용하여 하프토닝 처리된 패치의 S-CIELAB 색차를 구하여 보았다. 마스크의 사이지는 64×64 이고 패치의 크기는 256×256 이었다. M

은 K 값과 같은 16으로 하였다. <그림 6>는 패치(R:128, G:128, B:197)를 JBNM 방법과 제안한 방법으로 하프토닝 처리한 것이다. 제안한 방법에 의한 처리 결과가 눈에 덜 거슬리는 형태로 나타났다. <표 2>는 여섯 개의 패치에 대한 실험 결과를 보여주고 있다. 평균적으로 S-CIELAB 색차가 1정도 나고 있음을 알 수 있다. 1이라는 색차량은 인간이 색의 차이를 느낄 수 있는 최소의 수치이다^[12]. 패치에 대한 실험을 통해서 제안한 방법이 기존의 JBNM 방법보다 적은 색차를 발생함을 알 수 있다.

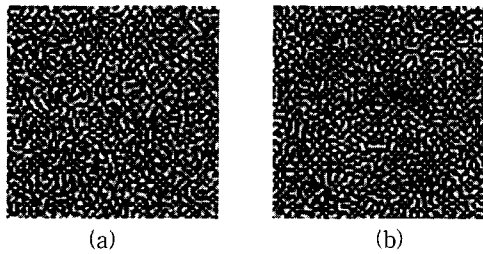


그림 6. 하프토닝 처리된 패치(R:128, G:128, B:197)들 (a) JBNM method에 의한 결과 (b) 제안된 MJBNM에 의한 결과

Fig. 6. Halftoned patches(R:128, G:128, B:197) created by (a) JBNM method, (b) Proposed MJBNM method.

2. CIELAB 색차 실험

LG Flatron 775FT 모니터(3dfx interface Voodoo3 그래픽 카드)에 디스플레이 되는 패치와 그것을 실제 HP 895Cxi 프린터를 통해 출력한 하드카피 사이의 칼라 오차를 계산하기 위해서는 CIELAB 색차를 이용할 수 있다. CIELAB 색차를 얻기 위해서 MacBeth ColorChecker의 칼라 영상을 하프토닝 처리하여 프린터로 출력한 다음 CM3600d 분광 광도계로 LAB 값을 측정하였다. 모니터의 LAB 값을 얻기 위해서는 먼저 Minolta CS-100 측색기로 XYZ 값을 측정한 후에 식

표 2. 여섯 개의 패치에 대한 JBNM 처리와 제안된 처리 방법의 S-CIELAB 색차 비교

Table 2. S-CIELAB value for six patches.

	패치1	패치2	패치3	패치4	패치5	패치6	평균값
JBNM	12.01	19.40	11.01	22.93	20.23	13.45	16.50
MJBNM	11.09	18.05	10.81	21.15	19.01	12.51	15.44

표 3. JBNM 방법과 제안한 방법에 의한 휘도차와 색도차 그리고 CIELAB 색차

Table 3. Luminance error, chrominance error, and CIELAB color difference for the patch using JBNM, MJBNM method.

하프토닝 방법	휘도차 (ΔL)	색도차 (ΔC)	ΔE^*_{ab}
JBNM	9.199	28.856	35.177
MJBNM	9.060	28.289	34.657

(2)~식 (4)를 이용하여 LAB로 변환하였다. <표 3>은 JBNM 방법과 제안한 MJBNM 방법에 의해 하프토닝 처리된 패치들에 대한 휘도차와 색도차 그리고 CIE- ΔE^*_{ab} 색차를 구한 것이다. 제안한 방법을 이용한 것이 휘도차가 적은 뿐만 아니라 색차도 적은 결과를 보여준다.

3. 실영상을 이용한 화질비교

실험에서 사용된 영상은 칼라 Airplane과 Apple, Bicycle 그리고 MacBeth ColorChecker를 사용하였다.

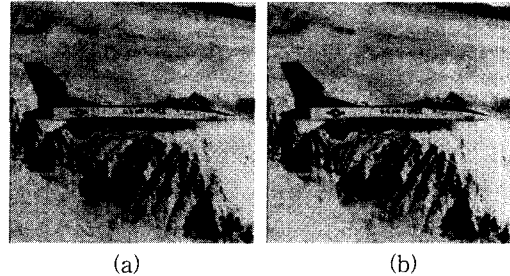


그림 7. Airplane 영상 (a) JBNM 하프토닝 처리 결과 (b) 제안된 하프토닝 처리 결과

Fig. 7. Airplane test image (a) JBNM halftoning method, (b) Proposed halftoning method.

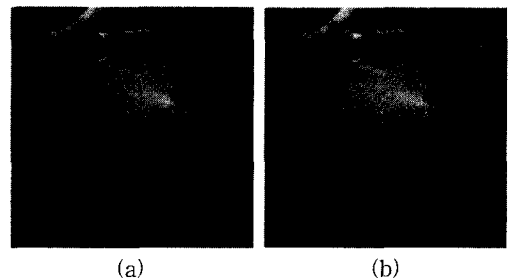


그림 8. Apple 영상 (a) JBNM 하프토닝 처리 결과 (b) 제안된 하프토닝 처리 결과

Fig. 8. Apple test image (a) JBNM halftoning method, (b) Proposed halftoning method.

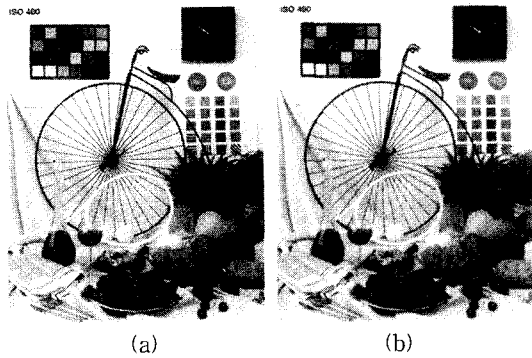


그림 9. Bike 영상 (a) JBNM 하프토닝 처리 결과 (b) 제안된 하프토닝 처리 결과
 Fig. 9. Bike test image (a) JBNM halftoning method, (b) Proposed halftoning method.

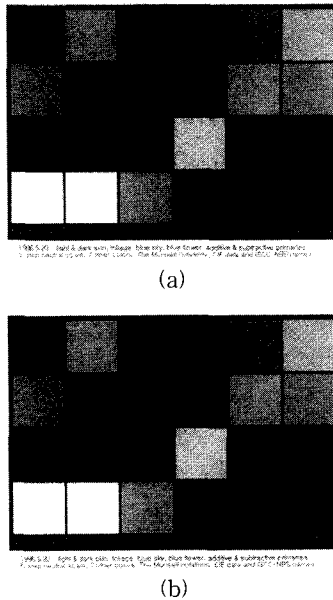


그림 10. MacBeth ColorChecker 영상 (a) JBNM 하프토닝 처리 결과 (b) 제안된 하프토닝 처리 결과
 Fig. 10. MacBeth ColorChecker test image (a) JBNM halftoning method, (b) Proposed halftoning method.

<그림 7(a)~10(a)>는 JBNM 방법으로 하프토닝 처리한 후 프린터로 출력한 영상을 다시 스캔한 것이다. 이에 반하여 <그림 7(b)~10(b)>는 제안한 하프토닝 처리 방법으로 프린트하여 다시 스캔한 것이다. <그림 7>의 Airplane 영상의 경우 JBNM의 결과는 11.703, 제안한 방법의 결과는 11.021의 S-CIELAB 색차를 나타내었다. <그림 8(a)>는 16.103, <그림 8(b)>는 15.869 그리고 <그림 9(a)>는 11.879, <그림 9(b)>는 11.601,

<그림 10(a)>는 16.501, <그림 10(b)>는 15.440의 S-CIELAB 색차를 보였다. <그림 7>에서 10의 결과에서 보듯이 일반 영상의 경우에는 1 보다 작은 색차를 보이고 있어서 유관으로 관찰할 경우 JBNM 방법과 제안한 방법의 차이를 느끼기 힘들다. <그림 9>의 Bike 영상에서는 커튼 부분의 색감이 다르게 느껴지면서 제안한 방법에서 더 부드럽게 표현되었다. 그리고 우측 상단의 흰 색 시계 숫자가 제안한 방법에서 더 선명하게 표현되었다. <그림 10>의 MacBeth ColorChecker의 영상에서는 JBNM 방법과 제안한 방법의 처리 결과에서 1 이상의 S-CIELAB 색차를 보여주고 있다. <그림 10>은 실영상이기보다는 균일 패치들의 조합이므로 앞에서 실험한 패치에 대한 실험과 유사한 결과를 보여준다. 제안한 방법에서 특히 노란색과 붉은색이 잘 표현되면서 부드럽게 나타나고 있다.

VI. 결 론

본 논문에서는 기존의 하프토닝 처리 방법을 개선하여 색오차를 줄일 수 있는 블루 노이즈 마스크를 만드는 방법을 제안하였다. JBNM 방법은 결과 영상이 부드러우면서 휘도 오차도 기존 방법보다 적게 나타나지만 색 오차가 오히려 늘어나는 단점을 가지고 있다. 본 논문에서는 이런 문제를 해결하기 위해서 S-CIELAB 색차를 척도를 도입하여 색 오차를 줄일 수 있는 블루 노이즈 마스크 생성 방법을 제안하였다. 밝은 영역에서 패턴이 중첩되지 않도록 하기 위해서 초기 패턴을 BIIPSSMA 마스크로부터 만들고 각 레벨의 패턴을 만드는 과정에서 가우시안 저대역 필터를 사용하여 필터 에러를 바탕으로 패턴을 수정하고 수정된 패턴의 S-CIELAB 색차가 적은 패턴을 선택하는 방법으로 각 칼라 채널에 적용할 세 개의 마스크를 만드는 방법을 제안하였다.

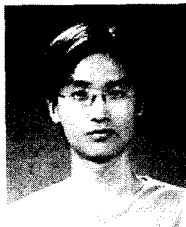
제안한 방법이 기존의 방법에 비해서 적은 색 오차를 보였으며 밝은 영역의 거슬리는 패턴이 줄어들면서 화질에서도 우수한 결과 영상을 얻을 수 있었다. 특히 패치에 대한 실험에서 JBNM 방법에 비해 S-CIELAB 색차뿐만 아니라 CIELAB 색차도 줄어든 결과를 보였다. 하지만 실영상에 대한 하프토닝 처리 결과는 패치에 비해서 두드러지지 않는 단점은 존재한다. 또한 제안한 방법은 마스크와의 최소 비교만으로 디지털 칼라 하프토닝 처리를 하기 때문에 잉크젯 칼라 프린터 뿐

만 아니라 플로터 등에서 널리 적용될 것이다. 현재는 제안된 방법을 더 발전시키거나 새로운 접근으로 색 오차를 줄일 수 있는 하프토닝 처리 방법에 대해서 연구 중이다.

참 고 문 헌

- [1] R. Ulichney, Digital Halftoning, The MIT Press, 1993.
- [2] H. R. Kang, Digital Color Halftoning, The SPIE Optical Engineering Press, 1999.
- [3] Q. Yu and K. J. Parker, "Stochastic Screen Halftoning for Electronic Imaging Devices," Journal of Visual Communication and Representation, vol. 8, no. 4, pp. 423~440, December 1997.
- [4] M. Wang, K. J. Parker, "Properties of Jointly-Blue Noise Masks and Applications to Color Halftoning," Journal of Imaging Science and Technology, vol. 44, no. 4, pp. 360~370, July/August, 2000.
- [5] Y. T. Kim, J. Y. Kim, H. S. Kim, and Y. H. Ha, "Halftoning Method by CMY Printing Based on BNM," Eighth Color Imaging Conference: Color Science and Engineering, Scottsdale, U.S.A., pp. 252~256, Nov. 2000.
- [6] M. D. Fairchild, Color Appearance Models, Addison Wesley, 1998.
- [7] B. Wandell and D. Brainard. "Towards Cross-Media Color Reproduction," Applied Vision 1989 Tech Digest Series, vol. 16, no. 7, pp. 132~137, July 12-14 1989.
- [8] M. D. Fairchild and R. S. Berns, "Image Color-Appearance Specification through Extension of CIE Lab," Color Research and Application, vol. 18, no. 3, pp. 178~190, June 1993.
- [9] X. M. Zhang and B. A. Wandell. "A Spatial Extension to CIELAB for Digital Color Image Reproduction," Society for Information Display Symposium Technical Digest, vol. 27, pp. 731~734, 1996.
- [10] X. M. Zhang, D. A. Silverstein, J. E. Farrell, and B. A. Wandell, "Color image quality metric S-CIELAB and its application on halftone texture visibility," Digest of Papers, COMPCON Spring 97, Forty-Second IEEE Computer Society International Conference Proceedings, pp. 44~48, 1997.
- [11] T. Mitsa and K. J. Parker, "Digital Halftoning Technique Using a Blue-Noise Mask," J. Opt. Soc. Am. A, vol. 9, no. 11, pp. 1920~1929, Nov. 1992.
- [12] D. J. Fleet and D. J. Heeger, "Embedding invisible information in color images," IEEE Signal Processing Society 1997 International Conference on Image Processing, vol.1, pp. 532~535, 1997.

저 자 소 개



金允泰(正會員)

1999년 : 경북대학교 전자전기공학부(공학사). 2001년 : 경북대학교 대학원 전자공학과(공학석사). 2001년~현재 : 경북대 전자공학과 박사과정 재학중. <주관심분야 : 광원 추정, 색관리 시스템, 디지털

칼라 프린팅 등임>



趙良鎬(正會員)

2000년 : 경북대학교 전자전기공학부(공학사). 2002년 : 경북대학교 대학원 전자공학과(공학석사). 2002년~현재 : 경북대 전자공학과 박사과정 재학중. <주관심분야 : 장시간 색 일치, 디지털 칼라 프린팅

등임>

李 晳 熙(正會員) 第38券 SP編 第6券 參照

河 永 浩(正會員) 第38券 SP編 第3券 參照