

논문96-1-1-04

인간의 색인지감도에 근거한 컬러 영상 팔레트 구성

김원순, 박래홍

Color Image Palette Construction Based on Human Color Perception

Won-Soon Kim and Rae-Hong Park

요약

팔레트 (palette)를 사용하는 컬러 색인 영상 (indexed color image)에서 손상된 팔레트의 색인값은 수신단에서 복원 영상의 심각한 화질 저하를 초래한다. 본 논문에서는 컬러에 대한 인간의 감지 특성을 이용해 화질 저하 및 복원 오차를 최소화하는 컬러 영상 팔레트를 제안하였다. 팔레트 구성 알고리즘들의 성능을 비교하기 위해 새로운 평가함수를 정의하였으며, 컴퓨터 모의 실험을 통해 비트 오류 상황에서 제안한 방법의 효율성을 보였다.

Abstract

In color indexed images using the palette, the corrupted indices cause serious quality degradation in the reconstructed images at a receiver. In this paper, using the human visual characteristics of color perception, we propose the color image palette minimizing the quality degradation and the reconstruction error. We define the new measure to compare the performance of palette construction algorithms and show the effectiveness of the proposed method under the bit error condition by computer simulation.

1. 서론

컴퓨터 시각(computer vision)을 비롯한 영상처리에서 컬러 영상을 표시하는 대표적인 방법으로는 빛의 삼원색인 적색, 녹색, 청색을 기본값으로 하는 RGB 색체계에 따라 물체의 컬러를 0에서 1사이의 밝기값으로 표현하는 방법과 대표적인 몇 개의 컬러만을 추출하여 이들로 인접한 컬러를 대표하는 팔레트를 구성하는 방법이 있다. 전자의 경우 RGB 색체계의 높은 상관도로 인해 많은 기억 장소 및 넓은 대역폭이 필요하다는 문제가 있어 이를 완화시킬 수 있는 다른 색체계를 통한 물체의 컬러표현이 필요하다. MPEG(Moving Picture Experts Group) - II TM0(Test Model 0)를 기본으로 한 HDTV(High Definition Television) S/W 시

물레이션 모델 (SSM)에서는 이러한 문제의 해결책으로 하나의 밝기 신호 (Y)와 두 개의 컬러 신호 (Cb, Cr)를 기반으로 물체의 컬러를 표현한 YCbCr 색체계를 사용하기도 한다. 그밖에 Cyan·Magenta·Yellow(CMY) 색체계, YCrCb 색체계와 유사한 NTSC(National Television Systems Committee) 채택안인 YIQ 색체계, 국제적 컬러 정의와 측정의 표준에 대한 모임인 Commission Internationale de l'Eclairage(CIE)에서 마련한 CIE L*a*b 또는 CIE L*u*v 색체계, 그리고 Hue·Saturation·Intensity (HSI) 색체계 등이 물체의 컬러를 표현하기 위해 사용되는 대표적인 색체계이다¹⁻³⁾.

여러 가지 색체계를 기반으로 물체의 컬러를 직접 표현하는 경우와 팔레트를 사용하는 경우는 다른 특성을 가지고 있다. 전자는 특별한 제한없이 물체의 컬러를 표현할 수 있으며, 실수로 표현된 [0,1]의 영상 밝기값을 [0,255]의 8비트로 재배열하여 디스플레이 장치를 통해 나타낸다. 최근 디스플레이 장치의 정밀도가 향상

되어 24비트 full color라고 부르는 대부분의 컬러를 모두 표현하는 경우가 이에 해당한다. 후자는 기기의 정밀도가 낮아 제한된 몇 개의 대표컬러로 구성된 팔레트를 이용하는 경우로서, 수신단에서 영상을 복원할 때 전송 과정에서의 오차가 발생하면 심각한 화질 저하를 유발하는 문제점을 가지고 있다. 팔레트를 사용하는 색인 (index) 영상이 초고속정보망에서 주로 사용되면서 이러한 오류 발생 상황을 고려한 팔레트를 구성하는 방법에 대해 여러 가지 접근이 시도되고 있다. 본 논문에서는 이러한 문제점에 대한 대안으로서 다양한 팔레트 구성 방법에 대한 고찰과 함께 인간의 시각적 특성을 고려해 전송 과정에서의 오류에 대해 강인한 특성을 나타내는 최적의 팔레트를 구성하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서 팔레트를 구성하기 위한 기존의 여러 알고리즘에 대한 고찰을, III장에서는 HSI 시스템과 이를 이용한 팔레트 구성 및 순차화 방법을, IV장에서 모의 실험 결과를 비교하였고, V장에서 결론을 보였다.

II. 기존의 팔레트 구성 알고리즘

팔레트는 표현하고자 하는 컬러의 개수를 지정하고, 각각의 팔레트 원소가 적색, 녹색, 청색의 빛의 삼원색을 나타내는 값들을 저장하고 있는 형태를 취한다. 팔레트를 구성하기 위한 연구는 지금까지 계속 진행되어 왔으며, 일반적으로 고정 양자화 (fixed quantization)와 적응 (adaptive) 양자화의 두 가지로 분류된다. 균일 (uniform) 양자화로 대표되는 전자의 경우, 입력 영상의 컬러분포는 이미 디스플레이 장치에 설정된 팔레트의 특성과 무관하므로 경우에 따라 매우 왜곡된 출력 영상을 얻게 된다. 또한 이 방법은 비교적 구현이 간단하며 빠른 알고리즘 수행시간을 가진다는 장점을 가지고 있으나 후자에 비해 생성된 팔레트로 컬러 영상을 표현하였을 때, 비교적 화질의 저하 정도가 심하다는 단점을 가지고 있다. 즉, 후자의 경우 각 영상에 알맞는 팔레트를 사용하므로 전자의 경우에서 나타나는 심한 왜곡은 발생하지 않는다. 적응 양자화 기법을 이용한 컬러 양자화 방법으로는 중앙값 절단 알고리즘 (median cut algorithm)을 이용한 방법^[4, 5], 빈도수 (popularity) 알고리즘을 이용한 방법^[4, 5], Linde-Buzo-Gray (LBG) 알고리즘을 이용한 방법^[6, 7], 입력 영상의 통계적 특성을 이용하여 팔레트를 만드는 방법^[7], 채널을 통한 전송 과정에서의 오류로부터 원영상의 컬러 정보를 보호하기 위한 방법으로서 순차화된 팔레트를 구성하는 방법^[8, 9] 등이 있다.

중앙값 절단 알고리즘을 이용한 컬러 영상의 양자화 방법^[4, 5]은 잡음에 대한 강인한 특성을 보이는 중앙값 필터 (median filter)의 성질을 컬러 영상의 양자화에 응용한 가장 널리 사용되는 방법이다. 이 방법은 입력 컬러 영상의 화소값이 가지는 3차원의 RGB 컬러 공간에서 전체 화소가 나타내는 세 가지 기본 컬러값을 포함하는 최소입방체를 구성하고 이로부터 원하는 팔레트 구성 원소의 개수가 얻어질 때까지 각 팔레트 구성원소가 대표하는 입력 컬러의 개수가 비슷하도록 반복적으로 팔레트를 구성하는 방법이다.

빈도수 알고리즘을 이용한 컬러 영상의 양자화 방법^[4, 5]은 입력

컬러 영상에서 R, G, B의 빈도수를 측정하여 얻은 히스토그램에서 가장 빈번하게 나타난 순서대로 필요로 하는 팔레트 구성원을 얻을 때까지 선택하는 방법으로 구현이 단순한 것이 가장 큰 장점이지만 히스토그램을 구하기 위해 비교적 많은 메모리가 필요하며, 넓은 범위에 걸쳐 비교적 균일한 분포 특성을 가지는 영상 (wide distributed range image)에 대해 일부 컬러만을 사용하므로 영상을 올바르게 표현하지 못하는 단점도 가지고 있다.

LBG 알고리즘을 이용한 컬러 양자화 방법^[6, 7]은 영상을 구성하는 화소들은 서로 공간적인 상관성이 강하며 이를 적절히 이용하면 적은 비트를 사용하고도 비교적 좋은 화질의 영상을 표현할 수 있다는 성질을 이용한 방법이다. 이 방법은 입력 영상과 팔레트를 이용하여 복원한 영상 사이의 오차를 최소화하는 방향으로 반복적인 연산을 수행하지만, 오차의 전역 최소값 (global minimum value)보다는 국부 (local) 최소값을 따라가는 성향이 있다. 초기 컬러 벡터를 설정하는 방법에 따라 각기 다른 국부 오차 최소값을 가지게 되어 성능은 조금씩 차이를 보이고, 팔레트를 구성하기 위한 많은 반복 연산때문에 실시간 처리가 곤란하다. 그러나, 이 방법은 전체 컬러 영상의 컬러 화소값이 3차원 공간상에서 가지는 공간적인 중복성을 제거하고, 복원 영상의 컬러 화소와 원영상의 컬러 화소가 서로 최소의 오차를 가지도록 한 방법으로서 다른 컬러 영상 양자화 방법의 비교기준이 된다.

컬러 영상에 존재하는 컬러 성분은 영상마다 각기 다른 통계적인 특성을 가지고 있으므로, 각 컬러 성분마다 이에 알맞는 양자화 단계 (quantization level)를 설정하는 양자화 방법이 필요하다. DSQ (Dependent Scalar Quantization) 알고리즘^[7]은 입력 영상의 컬러 분포특성을 이용하여 각 컬러값에 대한 적절한 양자화 단계를 설정하여 팔레트를 구성하는 방법이다. 이 방법은 개별 팔레트 구성원소가 각 컬러 성분의 통계적 모멘트를 보존하면서 컬러공간을 분할하고 이를 대표하도록 한다.

팔레트로 구성된 컬러 영상은 영상의 header에 팔레트에 관한 정보를 저장하고 있으며, 실제로 영상을 구성하고 있는 것은 원영상의 컬러와 가장 유사한 팔레트 정보를 가진 팔레트 색인이다. 팔레트로 표현되는 컬러 영상에 대해 색인 영상을 손실부호화하여 복원하면 원래의 색인 영상과 많은 차이를 보이는 색인 영상을 얻게 될 것이다. 색인 영상에서 비트 오류가 발생하여 색인이 변하는 경우에도 유사한 결과를 예상할 수 있다. 위와 같은 문제점을 해결하기 위한 방법으로서 가장 단순한 방법은 전역 (global) 팔레트를 사용하는 방법이다. 그러나, 이 방법은 모든 영상에 동일한 팔레트를 적용하기 때문에 원영상의 컬러를 제대로 표현하지 못하는 문제점이 있다. 기존의 팔레트 구성 알고리즘에 의해 생성된 팔레트는 인접한 팔레트 색인이 서로 다른 컬러를 나타내는 경우가 많으므로 색인이 조금만 변해도 컬러가 심하게 변한다. 따라서 영상에 알맞는 팔레트를 사용하면서 여러 가지 오류 요인때문에 발생하는 화질 저하를 방지하기 위해서는 원영상의 팔레트를 재구성하는 것이 필요하다. 순차화된 팔레트란 인접한 색인이 비슷한 컬러를 나타내도록 구성된 것을 의미한다. 이는 색인의 차이가 그리 크지 않으면 복원한 컬러의 변화도 크지 않다는 것을 의미한다. 순차화된 팔레트를 구성하는 것^[8, 9]은 전송 과정에서의

오류로부터 원영상의 컬러 정보를 어느 정도 보호하기 위한 새로운 방법이다.

III. HSI 시스템과 제안한 팔레트 구성 알고리즘

1. HSI 시스템과 인간의 시각 특성

일반적으로 컬러 영상은 RGB의 기본적인 색체계로 표현되지만 다른 색체계로도 표현할 수 있다. 그 대표적인 방법이 색조 (hue), 채도 (saturation), 그리고 밝기 (intensity)를 이용한 HSI 색체계를 이용한 컬러표현 방법이다. 이 방법은 RGB 색체계가 컬러 영상의 컬러 화소를 서로 상관도가 높은 방식에 의해 표현할 수 있는 방법인 것에 비해, HSI 색체계는 인간의 시각 특성을 고려하여 단순한 각 기본 컬러의 밝기값에 의한 인식보다는 밝기값과 더불어 컬러가 가지는 채도 특성과 명도 혹은 채도 특성을 반영한 색체계이다. RGB 색체계에서의 컬러 입력 R, G, B에 대한 HSI 색체계에서의 표현 H, S, I는

$$H = \cos^{-1} \left\{ \frac{[(R-G) + (R-B)]}{2\sqrt{(R-G)^2 + (R-B)(G-B)}} \right\} \text{ for } G > B$$

$$360^\circ - \cos^{-1} \left\{ \frac{[(R-G) + (R-B)]}{2\sqrt{(R-G)^2 + (R-B)(G-B)}} \right\}, \text{ for } G < B \quad (1a)$$

$$S = 1.0 - \frac{\min(R,G,B)}{I} \quad (1b)$$

$$I = \frac{R+G+B}{3} \quad (1c)$$

로 표현된다. 실제로 인간의 시각이 컬러를 인식하는 것은 R, G, B의 세 가지 기본 컬러값을 직접 인식한다기 보다는 세 가지 컬러의 조합 형태인 밝기값과 각 컬러가 가지는 채도 및 색조를 인식한다는 것이 옳다^[1-3]. 주관적인 컬러의 표현으로서 따뜻한 컬러라거나, 차가운 혹은 부드러운 느낌을 주는 컬러 등의 컬러에 대한 표현은 명확한 어떤 수치에 의해 나타낼 수 없는 것이지만, RGB 색체계를 사용하는 경우 이에 대한 표현은 더욱 모호하다. 그러나 HSI 색체계에서의 표현은 위와 같은 컬러에 대한 주관적 표현을 근사화할 수 있으며, 특히 HSI 색체계를 구성하는 세가지 값 중에서 컬러들을 구분하는 결정적인 역할을 하는 것은 색조이다.

색조와 채도가 같고 밝기값만 다른 경우, 두 컬러의 차이점은 단지 어떤 컬러가 좀 더 밝고 다른 컬러는 어둡다는 것만 다를 뿐 인간의 시각 체계에서 그들이 가지는 컬러는 동일한 것으로 간주된다. 색조와 밝기값이 같고 채도가 다른 두 컬러에 대해서도 두 컬러의 차이점은 상대적인 밝음 또는 순수컬러와 탁한 컬러의 차이일 뿐, 이 경우도 인간의 시각체계는 두 컬러를 동일한 컬러로 간주한다. 그러나, 밝기값과 채도가 동일하고 색조가 다른 경우 두 개의 컬러는 서로 다른 컬러로 인식된다. 예를 들어, 동일한 밝기값을 가지는 순수한 적색과 청색은 색조의 차이에 따라 구분된 두 개의 컬러이다. 그러나, 색조값도 어느 정도 범위내에서 변화하는 경우 인간의 시각은 그 차이를 구분하지 못하며, [0, 360°]의 동적 범위를 가지는 색조가 약 10° 정도 이내에서 변화하는 경우 일반적으로 인간은 컬러의 변화를 크게 느끼지 않는다고 한다.^[10] 또한 그림 1과 같은 3차원 육각추형 모델로서 HSI 색체계를 근사화하는 경우, 밝기값이 매우 크거나 작은 경우에는 채도의 변

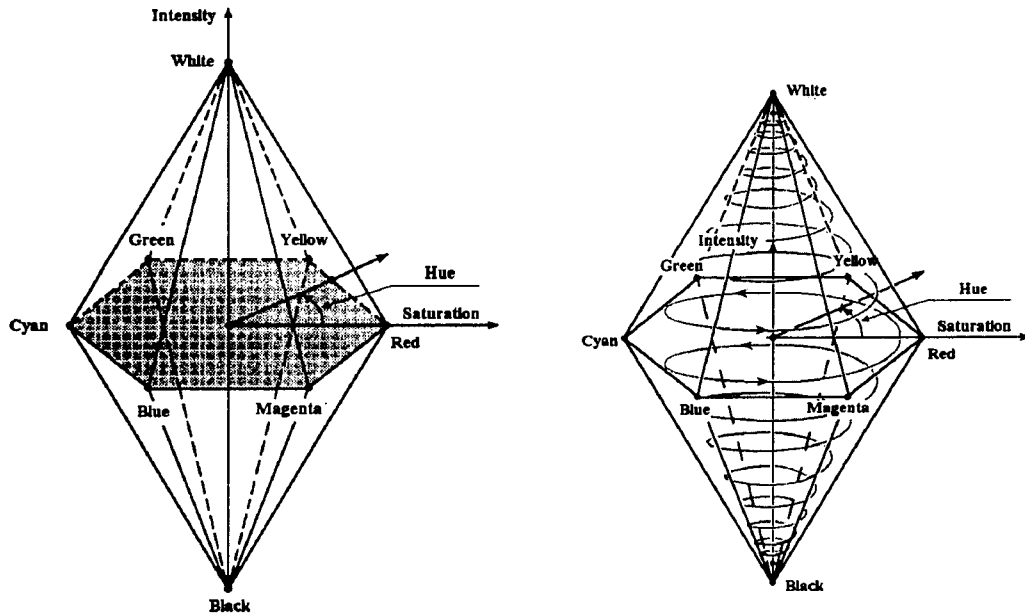


그림 1. HSI 3차원 육각추형 모델과 팔레트 구성을 위해 제안한 나선형 순차화
 Fig. 1. HSI 3D hexcone model and proposed spiral ordering for palette construction

화나 컬러를 구분하는 중요 요소인 색조의 변화는 무시할 수 있을 정도가 된다.

2. 팔레트의 구성과 순차화

RGB 색체계를 직접 이용하는 경우, 각 컬러 평면은 밝기값 평면과 유사한 특성을 보이므로 일반적인 영상 처리 기법을 사용하여 양자화, 부호화, 복호화의 과정을 수행할 수 있다. LBG 알고리즘 기법이나 중앙값 절단 알고리즘 등을 이용한 팔레트의 구성 시 이러한 전제 아래 알고리즘이 수행된다. 그러나, 영상을 RGB 색체계가 아닌 다른 색체계에서 양자화하는 경우 새로운 고려 사항이 필요하다. 즉, RGB 색체계에서는 각 컬러 평면에 대한 어떠한 가중치를 염두에 둘 필요가 없으나, 다른 색체계에서는 각 컬러 평면이 가지는 특성에 따라 보다 많은 가중치를 두어야 할 컬러 평면과 적은 가중치만으로도 충분한 컬러 평면이 있을 수 있다. 실제로 RGB 색체계에서 YIQ 색체계나 YCbCr, L*a*b 색체계 등으로의 변환시 밝기값은 RGB 색체계의 각 컬러 평면에 대한 시각적인 가중치를 고려하여 변환된다^[1-3]. 본 논문에서 제안한 컬러 양자화 알고리즘이 기반으로 하는 HSI 색체계에서 색조, 채도, 그리고 밝기에 대한 가중치는 HSI 육각추형 모델에 알맞게 설정하였다^[11, 12]. 즉, 밝기값 $I(x,y)$ 는 $[0,255]$ 의 동적 범위를 가지도록 하고, $[0^\circ, 360^\circ]$ 의 색조값도 $[0,255]$ 의 범위로, $[0,1]$ 의 범위를 가지는 채도값은 $[0,128 - |I(x,y) - 128|]$ 의 범위로 각각 정규화(normalization)하여 그림 1와 같은 HSI 3차원 육각추형 모델의 특성을 살릴 수 있도록 하였다. 팔레트의 색인 사이의 변화를 측정하기 위한 방법으로 HSI 3차원 육각추형 공간에서의 유클리디안 거리를 사용하였다. 유클리디안 거리값의 사용시 문제점은, 밝기값이 동일한 컬러 사이의 거리와 밝기값이 다른 컬러 사이의 거리를 계산하는 과정에서 두가지 경우를 동일한 비중으로 취급할 수 있는 가이다. 즉, 중앙 밝기축에서의 거리값으로 사용하는 채도값이 가지는 범위는 식 (1)을 통해 알 수 있듯이 $[0,1]$ 이 된다. 이때 서로 다른 밝기값을 가지는 두 컬러의 채도값이 동일하더라도, 그림 1과 같은 HSI 모델에 의해 컬러를 모델링 하면 서로 다른 거리값을 나타낼 것이다. 이는 유클리디안 거리를 계산하기 위해 각각의 채도값에 대한 가중치를 다르게 적용해야 함을 의미한다. 본 논문에서는 이 문제에 대한 해결책으로서 채도값의 범위를 $[0,255]$ 의 구간이 아닌 $[0,128 - |I(x,y) - 128|]$ 의 구간으로 한정하여 중앙 밝기축의 양끝쪽에서의 최대값을 점차 작게 함으로써 채도값에 대한 가중치를 두었다. 그러나 [11]과 [12]에서는 HSI 육각추형 모델을 근거로 하지 않았기 때문에 색조, 채도, 그리고 밝기에 대한 가중치가 동일하다. 결과적으로 위와 같은 구간 재조정을 통해, 밝기값이 매우 크거나 작은 경우에는 채도나 색조의 변화를 어느 정도 무시하도록 하였다. 그림 1에 보인 육각추형 모델의 중앙부분은 다른 부분에 비해 넓은 영역을 가진다. 이는 매우 밝거나 어두운 영역보다는 인간의 시각이 중간 밝기값 영역에서의 채도 변화를 민감하게 느끼는 것을 의미한다. 따라서 본 논문에서는 위와 같이 채도의 최대값을 재조정함으로써 중간 밝기값을 가지는 영역에서는 어느 정도 넓은 범위의 채도 변화를 허용해 육각추형 모델에 충실하였다.

순차화된 팔레트를 구성하는 것은 일종의 traveling salesman problem(TSP)의 응용 예라 할 수 있다. 즉, 팔레트를 구성할 화소의 컬러값을 어떤 색체계에서 적용하는가에 따라 다르게 구성될 수 있다. RGB 색체계를 직접 이용하는 경우, RGB 컬러 공간(color space)에서 어떤 컬러값을 시작점으로 하는가에 따라 최적으로 순차화된 팔레트를 얻을 수 있으나 대부분의 경우 국부적으로 순차화되어 일부 색인 사이에서 큰 컬러변화를 가지는 팔레트를 얻게 될 것이다. 따라서 RGB 컬러 공간에서 최적의 순차화된 팔레트를 구성하는 것은 많은 계산과정을 통해야만 가능하다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 방법으로서 [8]에서는 JPEG (Joint Photographic Experts Group)에서 권장한 YCbCr 색체계의 밝기값을 이용하여 팔레트를 구성하고 이를 밝기값 순서에 따라 재배열하여 전송하되, 의사영상에 대한 손실 부호화를 수행하여 전송하고 이를 복원하는 방법을 제안하였다. 이 방법은 RGB 색체계를 YCbCr 색체계로 변환한 후, 밝기값(luminance)을 주축으로 최장 삽입 알고리즘(farthest insertion algorithm)을 사용하여 팔레트를 순차화하였다. [8]에서는 밝기값을 팔레트의 색인으로 하여 의사영상(pseudo image)을 구성한다. 의사영상의 화소는 팔레트를 사용하는 다른 영상과 마찬가지로 색인을 나타내지만 그 값은 해당 화소의 밝기값을 나타내는 정보이므로 discrete cosine transform(DCT) 등의 변환 부호화 방법을 직접 적용할 수 있는 장점을 가지고 있다.

본 논문에서는 HSI 색체계에서 컬러 영상의 팔레트를 구성하되 색인의 차이에 따른 컬러의 변화를 줄이기 위해 그림 1과 같은 나선형 탐색(spiral scanning)을 이용한 순차화 방법을 제안하였다^[9]. 팔레트의 색인은 그림에서 보인 것과 같이 색조값이 증가하는 방향으로 회전하면서 나선형으로 표시한 방향을 따라 밝기값이 증가하도록 하였다. 이때 밝기값이 작은 경우에는 색조의 변화와 채도의 변화는 매우 작으므로 어느 정도 중앙의 밝기축을 따라 색인이 커지는 것처럼 근사화할 수 있다. 본 논문에서 위와 같이 밝기값을 주축으로 나선형 탐색에 의한 순차화를 제안하는 근본적인 이유는 세 가지 효과를 동시에 얻기 위함이다. 첫째, 인접한 색인 사이의 컬러 변화를 가능한 범위내에서 최소로 하여 비트 오류가 발생하더라도 유사한 컬러로 영상을 복원하기 위해서이다. 둘째, 위와 같이 밝기값을 주축으로 순차화된 팔레트를 사용하는 경우에 인접화소의 색인들이 마치 밝기값을 나타내는 것과 같으므로 [8]에서와 같이 색인 영상에 대한 직접적인 영상 부호화가 가능하다는 것이다. 또한 부수적인 효과로서 컬러를 나타낼 수 없는 디스플레이 장치에서 특별한 변환과정을 거치지 않고 수신받은 색인 영상을 어느 정도는 마치 흑백의 밝기 영상처럼 사용할 수 있기 때문이다. 셋째, 앞절에서 언급한 바와 같이 컬러를 구분하는 가장 중요한 역할을 하는 것은 색조이다. 따라서 위와 같은 목적을 이루기 위해 밝기축을 순차화의 주축으로 설정하였을 때, 그 다음으로 고려해야 할 것은 색조의 변화를 따라 순차화하는 것이 필요하기 때문이다.

IV. 실험 결과 및 토의

컴퓨터 모의 실험에 사용된 영상은 R, G, B가 각각 256 밝기 값으로 표현되는 256×256 크기의 Golden Gate Bridge 영상과 House 영상, 그리고 512×512 크기의 Lenna 영상이며, 각 영상에 대한 팔레트는 256개의 색인을 가지도록 하였다.

각 컬러 양자화 방법에 대한 성능 평가 기준으로서

$$APSNR = 10 \log \left(\frac{3 \times N \times 255^2}{\sum_{R, G, B} \sum_{j=1}^N \|I_j(R, G, B) - P_j(R, G, B)\|^2} \right) \text{ (dB)} \quad (2)$$

로 정의되는 average peak signal-to-noise ratio (APSNR)¹⁾을 사용하여 기존의 컬러 양자화 방법과 제안한 양자화 방법의 성능 비교를 표 1에 나타내었다. 여기서 N은 R, G, B의 각 색상 평면에 존재하는 화소의 개수를 의미하며, I_j(R, G, B)와 P_j(R, G, B)는 각각 원영상의 j번째 화소의 컬러값과 팔레트로 표현되는 컬러값을 의미한다. 표 1을 통해 기존의 양자화 알고리즘들은

표 1. 각 컬러 양자화 방법의 성능 비교
Table 1. Performance comparison of each quantization algorithm (dB)

양자화 방법 \ 영상	Golden Gate Bridge	House	Lenna
중앙값 절단 알고리즘 ^[4, 5]	37.15	33.18	32.88
DSQ 알고리즘 ^[7]	38.52	33.05	36.63
빈도수 알고리즘 ^[4, 5]	36.80	31.89	32.10
LBG 알고리즘 ^[6, 7]	38.61	34.07	36.79
제안한 방법	37.233	34.948	35.765

영상에 따라 복원 영상의 화질이 크게 변동하는 특성을 보이지만, HSI 색체계에서 양자화한 제안한 방법은 입력 영상이 어떤 컬러를 많이 포함한 경우에도 어느 정도 일정한 화질의 복원 영상을 얻는 것을 관찰할 수 있다. 이는 제안한 양자화 방법이 인간의 시각 특성을 반영한 HSI 색체계를 직접 이용하여 양자화를 수행하므로 많은 색조 변화가 없으면 어느 정도 비슷한 컬러로 간주하기 때문이다. 즉, RGB 색체계에서의 컬러는 HSI 색체계에서는 식 (1)과 같은 변환 과정과 범위 재조정을 통해 어느 정도 색조 변화가 둔화됨을 나타낸다. 이를 입력 영상의 컬러분포에 따라 나누어 살펴보면 다음과 같다.

입력 영상의 컬러가 3차원 전체 컬러 공간에 비교적 집중되어 분포하는 경우, 미세한 색조 변화를 무시하므로 RGB 색체계에서는 나타나던 근소한 컬러 차이가 HSI 색체계에서는 거의 무시할 수 있을 정도로 작아져 두 컬러를 동일 컬러로 간주하여 양자화를 수행한다. 따라서, RGB 색체계를 이용하여 양자화하는 기존의 알고리즘에서 구분하던 미세한 컬러 변화를 무시하므로, 변환 과정에서의 초기 오차 누적 정도가 크게 되어 복원 영상의 APSNR이 기존의 방법보다 다소 떨어지는 결과를 얻는다. 그러나, 입력 영상의 컬러가 3차원 전체 컬러 공간에 비교적 넓게 분포하는 경우에는 변환 과정에서 발생한 초기 오차 누적 정도가 전자에 비해 비교적 작아진다. 이는 곧 인접 컬러 사이의 상관도를 감소시켜 다양한 컬러 표현을 가능하도록 하는 요인이 되므로, 복원 영상의 APSNR이 RGB 색체계를 이용하는 기존의 방법보다 좋게 나타나는 이유이다.

나선형 탐색을 이용한 제안한 팔레트의 순차화 성능을 비교하기 위해 팔레트 색인 사이의 평균 유클리디안 거리 (Average Euclidean Distance : AED)를

$$AED = \frac{1}{L-1} \sum_{i=1}^{L-1} \|P_i(R, G, B) - P_{i+1}(R, G, B)\| \quad (3)$$

표 2. 순차화된 팔레트의 AED 결과
Table 2. AED results of the ordered palettes

양자화 알고리즘 \ 영상	Golden Gate Bridge	House	Lenna	
중앙값 절단 알고리즘 ^[4, 5]	비순차화된 팔레트	102.142	110.671	103.671
	최장삽입 알고리즘 ^[7]	44.178	53.235	49.126
	나선형 순차화 ^[9]	32.627	48.454	44.661
빈도수 알고리즘 ^[4, 5]	비순차화된 팔레트	79.711	89.409	98.817
	최장삽입 알고리즘 ^[7]	24.886	29.675	25.465
	나선형 순차화 ^[9]	18.624	16.575	17.938
LBG 알고리즘 ^[6, 7]	비순차화된 팔레트	68.928	45.639	63.352
	최장삽입 알고리즘 ^[7]	11.725	13.286	23.808
	나선형 순차화 ^[9]	11.588	10.287	22.522
제안한 HSI 양자화 알고리즘	비순차화된 팔레트	106.911	42.675	75.993
	최장삽입 알고리즘 ^[7]	32.052	16.238	33.642
	나선형 순차화 ^[9]	29.431	14.692	29.498

와 같이 정의하고, 표 2에서 제안한 나선형 순차화 방법과 최장 삽입 알고리즘에 의한 순차화 방법에 대한 성능을 비교하였다. 여기서 $\| \cdot \|$ 는 norm을 구하는 연산자이며, L은 팔레트의 크기를 나타내며, $P_i(R,G,B)$ 는 팔레트의 i 번째 색인의 R, G, 그리고 B 성분을 의미한다. 제안한 알고리즘에 의해 순차화된 팔레트의 AED는 기존의 알고리즘에 의해 생성된 순차화되지 않은 팔레트에 비해 약 16% - 48% 정도로 감소하였으며, 최장 삽입 알고리즘에 의해 순차화된 팔레트보다 작은 것을 알 수 있다. 즉, 제안한 나선형 탐색에 의한 순차화 결과 인접한 색인 사이의 컬러 변화가 현저하게 줄어들었으며, 비록 수신받은 색인에서 오차가 발생하더라도 원영상의 화소와 비슷한 컬러를 복원할 수 있음을 의미한다.

그림 2에서는 여러 가지 실험 영상에 대한 팔레트를 순차화한 후, 색인 영상에서의 비트 오류가 발생하였을 경우에 대한 복원 영상의 APSNR을 보였다. 비트 오류율은 10^{-1} 에서 10^{-8} 까지 변화시키면서 실험하였으며, 순차화되지 않은 팔레트는 중앙값 절단 알고리즘으로 구성하였고, 이를 제안한 방법으로 순차화하여 비교하였다. 비트 오류율이 매우 크거나 작은 경우에는 순차화된 팔레트를 사용하더라도 복원 화질의 향상을 기대하기 어려우나, 그렇지 않은 경우에는 순차화된 팔레트를 사용하는 경우에 비교적 복원 영상의 화질이 좋아지는 것을 볼 수 있다. 특히 순차화된 팔레트를 사용하면, 잘못된 색인으로 인해 주변의 색과 다른 컬러가 나타나는 현상을 감쇄시킬 수 있어 주관적 화질을 향상시키는 효과가 있다. 이는 비트 오류가 발생해 색인이 변하는 경우에 비교적 작은 컬러 변화로서 복원 영상을 구성할 수 있기 때문이다. 비트 오류에 의한 영향은 마치 잡음과도 같은 효과를 나타내기 때문에 이를 완화하기 위한 후처리 과정으로서 3×3 크기의 창을 가지는 중앙값 필터를 사용하였다. 점선으로 나타낸 것이 후처리 과정을 통해 얻은 비트 오류율에 따른 APSNR이며, 팔레트를 순차화한 경우에 더 좋은 결과를 얻는 것을 볼 수 있다. 이 때 후처리 과정이 비트 오류율이 비교적 큰 경우에는 좋은 효과를 발휘하지만 비트 오류율이 작은 경우에는 오히려 화질을 떨어뜨리는 작용함을 볼 수 있다. 이는 실제로 비트 오류가 발생하지 않은 화소에 대해서도 필터링하기 때문이다. 실제로 어떤 화소의 색인에서 비트 오류가 발생하는지 알 수 없는 상황에서 이는 피할 수 없는 단점으로 나타난다.

V. 결 론

RGB 색체계는 팔레트를 구성하기 위해 기존의 방법에서 주로 이용되는 색체계이지만 인간의 시각 체계를 올바르게 나타내는 최적의 색체계가 아니며, 따라서 인간의 시각 체계를 가장 잘 표현하는 색체계에서의 팔레트 구성이 필요하다. 본 논문에서는 이에 따른 HSI 색체계에서의 팔레트 구성을 제안하였고, 팔레트를 이용하는 색인에서의 손실 발생이 복원 영상에 미치는 오차 요인을 최소화하기 위한 순차화 방법을 제안하였다. 색인에서의 손실로 발생하는 복원 영상의 오차를 최소화하는 순차화된 팔레트의 성능을 평가하기 위한 검증으로서 비트 오류를 가정하여 모의 실험을 하

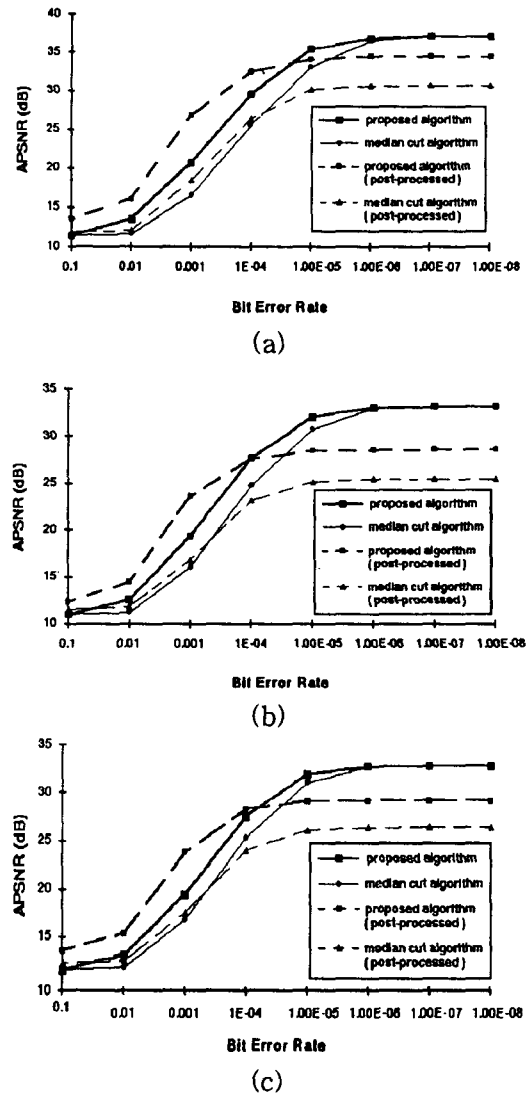


그림 2. 비트 오류율에 따른 APSNR
 (a) Golden Gate Bridge 영상
 (b) House 영상
 (c) Lenna 영상

Fig. 2. APSNR as a function of the bit error rate
 (a) Golden Gate Bridge image
 (b) House image
 (c) Lenna image

였다. HSI 색체계에서 구성하여 순차적으로 정리한 팔레트를 비트 오류 상황을 가정하여 전송하는 경우 오차 요인에도 불구하고 비교적 작은 컬러 변화로서 원영상을 복원할 수 있었다.

본 논문에서 추구하고자 했던 것도 인간의 시각 체계를 가장 잘 표현하는 HSI 색체계의 특성을 이용한 팔레트를 구성하여, 손실

부호화나 색인에서의 비트 오류를 가정하였을 경우에 대한 복원 오차를 최소화하는 성질을 가지는 팔레트를 구성하는 것이다. 보다 인간의 시각 특성을 잘 반영한 팔레트를 구성하기 위해서 영상 영역에 대한 특성에 따라 다르게 양자화하고 각각에 알맞는 가중치를 고려하는 방법과 비트 오류가 발생하더라도 이를 완화시킬 수 있는 후처리 과정 등이 추후에 연구되어야 할 것이다.

참고 문헌

- [1] W. K. Pratt, *Digital Image Processing*, 2nd Ed., John Wiley & Sons, 1991.
- [2] R. J. Clarke, *Transform Coding of Images*, Academic Press, 1985.
- [3] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, *Digital Image Processing*, MA: Addison Wesley, 1992.
- [4] P. Heckbert, "Color image quantization for frame buffer display," *Computer Graphics*, vol. 16, no. 3, pp. 297-307, July 1982.
- [5] M. T. Orchard and C. A. Bouman, "Color quantization of images," *IEEE Trans. Signal Process.*, vol. SP-39, no. 12, pp. 2677-2690, Dec. 1991.
- [6] Y. Linde, A. Buzo, and R. M. Gray, "An algorithm for vector quantizer design," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-28, no. 1, pp. 84-95, Jan. 1980.
- [7] S. C. Pei and C. M. Cheng, "Dependent scalar quantization of color images," *IEEE Trans. Circuits Syst. for Video Technol.*, vol. CSVT-5, no. 2, pp. 124-139, Apr. 1995.
- [8] A. Zaccarin and B. Liu, "A novel approach for coding color quantized images," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. IP-2, no. 4, pp. 442-453, Oct. 1993.
- [9] W.-S. Kim and R.-H. Park, "Color image palette construction based on the HSI-color system for minimizing the reconstruction error," will be presented at *1996 IEEE Int. Conf. Image Processing*, Lausanne, Switzerland, Sep. 1996.
- [10] J. R. Smith, and S.-F. Chang, "Single color extraction and image query," in *Proc. Int. Conf. Image Processing '95*, pp. 528-531, Washington, D.C. Oct. 1995.
- [11] F. Perez and C. Koch, "Toward color image segmentation in analog VLSI: Algorithm and hardware," *Int. J. Comput. Vision*, vol. 12, no. 1, pp. 17-42, Feb. 1994.
- [12] T. Carron and P. Lambert, "Color edge detector using jointly hue, saturation and intensity," in *Proc. Int. Conf. Image Processing '94*, pp. 977-981, Austin, Texas, Nov. 1994.

저자 소개



金元淳

1968年 11月25日生. 1994年 2月 서강대학교 전자공학과 졸업.
1994年 2월 ~ 현재 서강대학교 전자공학과 석사 과정.
주관심 분야는 영상부호화, 디지털 통신 시스템



朴來弘

1954年 1月 1日生. 1976年 2월 서울대학교 전자공학과 졸업.
1979年 8월 서울대학교 전자공학과 석사학위 취득.
1981年 6월 Stanford Univ. 전기공학과 공학석사학위 취득.
1984年 6월 Stanford Univ. 전기공학과 공학박사학위 취득.
1990年~1991年 Univ. of Maryland, College Park,
Center for Automation Research, Computer Vision Lab. 객원부교수.
1984年 9월 ~ 현재 서강대학교 전자공학과 교수.
주관심 분야는 영상통신, 컴퓨터비전, 패턴인식.