색상 이미지 압축을 위한 밝기 변화량 기반의 색상 픽셀 선택

현대영, *이상욱
서울대학교
huanream@snu.ac.kr, *sanguk@ipl.snu.ac.kr

Color Pixel Selection For Color Image Compression Using Intensity Variation

Dae-Young Hyun *Sang-Uk Lee
School of Electrical Engineering and Computer Sciences, Seoul National University, INMC

요 약

채색화 기법은 일부 픽셀의 색상 정보를 이용하여 흑백의 이미지에 색상 정보를 추가하는 기법이다. 이러한 채색화 기법을 기반으로한 색상 이미지 압축기법들이 연구되고 있다. 색상 평면에서 대표적인 픽셀들을 소스 픽셀로 자동적으로 선택하고, 이 소스 픽셀들의 위치와 색상 정보만을 디코더에 압축하여 전송한다. 본 논문에서는 밝기 변화량을 이용하여 소스 픽셀의 위치를 결정함으로써, 디코더에서도 동일한 작업으로 소스 픽셀의 위치를 결정할 수 있다. 따라서 소스 픽셀에 대한 위치 정보를 전송하기 위한 비트량을 줄임으로써 압축 효율을 높였다. 제안알고리듬은 디코더에서 색상 정보의 복원에 이용하는 채색화 기법의 특성에 맞추어서 밝기가 평평하고 넓은 영역에서 먼저 소스 픽셀을 선택하여, 이웃의 비슷한 밝기를 가지는 픽셀에 대한 색상 정보를 효율적으로 압축한다.

1. 서론

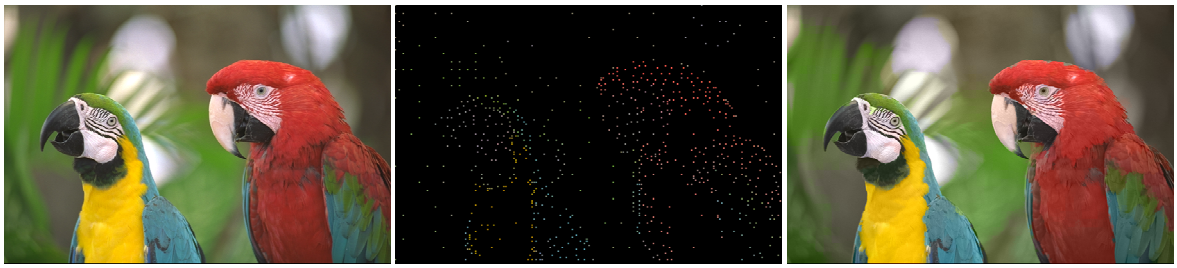
채색화(Colorization)란 [1,2], 흑백이미지에 색상 정보를 추가하여 자연스러운 컬러 이미지를 구성하는 기법이다. 고전 영화의 복원이나 애니메이션의 자동적인 채색 등에 활용되는 채색화 기법은 최소한의 픽셀(pixel)들의 색상정보를 이용하여 자연스러운 채색화 결과를 얻는데 연구 목적이 있다. 일반적으로 채색화 기법은 비슷한 밝기를 가지는 이웃 픽셀은 비슷한 색상을 가진다는 특성을 기반으로, 사용자가 색상 정보를 입력한 일정 픽셀들을 소스(source) 픽셀로 사용하여 나머지 영역을 자동적으로 채색화 한다.

채색화 기법을 이용하면, 전체 이미지의 색상정보를 적은 픽셀의 색상 정보인 소스 픽셀들로 표현할 수 있다. 따라서 선택된 소스 픽셀들을 색상 정보와 위치 정보들을 이용하여 이미지의 압축 효율을 높이는 연구들이 진행되고 있다 [3,4,5]. 인코더(encoder)에서 소스 픽셀의 위치를 자동적으로 선택하여 소스 픽셀들을 정보만을 압축하여 보낸다. 전송받은 소스 픽셀들을 이용하여 디코더(decoder)에서 채색화 알고리듬을 사용하여 색상 평면(plane)을 복원한다.

Cheng et al. [3]과 He et al.[4]는 machine learning 을 이용한 방법을 제안하였다. Cheng et al.은 랜덤(random)하게 임의의 픽셀들을 소스 픽셀로 선택한 후, learning 에 의하여 나머지 영역을 채색하기 위한 모델(model)을 구한다. 모델에 대한 에러를 계산하고 에러가 많은 부분에서 소스 픽셀을 추가하는 단계를 반복한다. He et al.은 D-optimality 를 통해서 모델을 안정시키는데 가장 중요한 픽셀들부터 소스 픽셀로 선택한다. 위의 두 논문은 소스 픽셀의 위치정보와 색상 정보를 모두 보내주어야 한다. 많은 소스 픽셀을 보낼 수록 그 정보량의 크기가 커지므로 Miyata et al. [5]은 clustering 을 통해서 색상 영역을 나누고, 그 영역이 동일한 색상을 갖는다고 가정한다. 각 cluster 에서 선(line)을 검출하고, 선의 색상과 시작점, 끝점의 정보만을 전송한다. 선의 정보를 소스 색상으로 이용하여, Levin et al. [1]의 채색화 기법을 사용하여 디코더에서 복원한다. 높은 압축일 수록 효율이 좋지만, 압축률이 낮아질 수록 픽셀을 선택하여 보내는 기법보다 부정확해 진다.

앞서 살펴본 채색화 기법을 이용한 이미지 압축의 경우 소스 픽셀들의 색상정보와 위치정보를 모두 전송해야 하므로 소스 픽셀의 갯수가 많아질 수록 정보량이 많이 발생한다. 본 논문에서는 밝기 평면의 정보를 이용하여 소스 픽셀의 위치를 결정함으로써 소스 픽셀에 의한 정보량을 줄인다. 디코더에서도 동일한 방법으로 소스 픽셀의 위치를 결정할 수 있으므로 소스 픽셀에 대한 위치정보를 전송할 필요없다. 채색화 기법은 밝기 정보가 비슷한 이웃 픽셀들은 비슷한 색상을 갖는다는 가정을

이 논문은 2011 년도 BK21 정보기술사업단으로부터 지원을 받아 수행된 연구임



(a) (b) (c)

그림 1. "Bird" 이미지: (a) 원본 이미지, (b) 인코더에서 선택된 소스 픽셀 정보, (c) 디코더에서 채색화 기법을 이용하여 복원된 이미지.

기반으로 하므로, 밝기 변화량을 이용하여 밝기가 평평하고 넓은 영역부터 소스 픽셀을 선택한다. 선택한 소스 픽셀에 대한 색상 정보만을 디코더 측에 전송하고, 이를 이용하여 Heu et al. [2]의 채색화 기법을 이용하여 색상 평면을 복원한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 절에서는 채색화 기법을 이용한 제안하는 이미지 압축 기법을 설명하고, 3 절에서는 제안한 기법의 성능을 실험을 통해서 확인한다. 마지막으로 4 절에서는 본 논문에 대한 결론을 맺는다.

2. 제안 기법

제안하는 채색화 기법을 이용한 이미지 압축 기법은 다음 순서로 진행된다. 밝기 정보와 색상 정보간의 연관성을 줄이기 위하여 YCbCr 색상 정보를 사용한다. 밝기 정보인 Y 평면의 경우 기존 압축 기법인 H.264/AVC [6]를 이용하여 압축한다. 색상정보인 Cb 평면과 Cr 평면의 경우 소스 픽셀들을 선택하여 그 픽셀들의 색상 정보를 압축한다. 디코더측에서도 동일한 방법으로 소스 픽셀의 위치를 선택하고, 전송된 색상 정보를 기반으로 채색화 기법을 사용하여 색상 정보를 복원한다.

2.1 채색화 기법

디코더에서 색상 복원을 위한 채색화 기법은 Heu et al. [2]의 채색화 기법을 사용한다. 일부분의 색상 정보를 가진 소스 픽셀을 이용하여 나머지 픽셀들을 채색하기 위하여, 채색 순서를 색상이 없는 픽셀 p 에 대하여 우선권 $\pi(p)$ 로 정의한다.

$$\pi(p)=\sum_{q\in N_p} a(q)e^{-|Y(p)-Y(q)|}, \qquad (1)$$

색상 정보를 가진 소스 픽셀들은 $a(q)=1$ 을 가지고, 나머지 픽셀은 $a(q)=0$ 을 가진다. $q\in N_p$ 는 픽셀 p 의 주변 픽셀들을 나타낸다. 비슷한 밝기를 가지는 소스 픽셀이 많이 존재하면 $\pi(p)$ 가 큰 값을 갖게 되며, 큰 순서대로 다음과 같이 채색한다.

$$C(p)=\frac{1}{N}\sum_{q\in N_p} a(q)e^{-|Y(p)-Y(q)|}C(q), \qquad (2)$$

$C(p)$는 픽셀 p 의 색상 Cr 과 Cb 값을 나타내는 벡터 값이고, $Y(p)$ 는 픽셀 p 의 밝기 값을 나타낸다.

Heu et al. [2]의 채색화 기법은 주변 픽셀과 밝기 차이가 적은 소스 픽셀부터 색상을 확장해 나간다. 따라서 이 채색화기법의 특성에 맞도록 밝기 변화량이 적은 영역에서 먼저 소스 픽셀을 선택함으로써 좀더 유용한 정보가 부호화(encoding)되게 한다.

2.2 소스 픽셀 선택

채색화 기법은 밝기 정보가 비슷한 이웃 픽셀들은 비슷한 색상을 갖는다는 가정을 기반으로 한다. 따라서 밝기 변화량이 적은 평평한 영역에서 먼저 소스 픽셀을 선택하고, 주변의 밝기가 비슷한 픽셀들을 선택된 소스 픽셀과 비슷한 색상으로 채색되도록 한다. 그림 1(b)의 색상 픽셀들은 선택된 소스 픽셀을 나타낸다. 밝기 변화량을 사용하여 소스 픽셀을 선택하므로 평평한 영역에서 적은 소스 픽셀이 선택됨을 보인다. 복원된 밝기 정보를 이용하여 소스 픽셀의 위치를 선택하므로 디코더측에서도 동일하게 소스 픽셀의 위치를 선택할 수 있다. 그러므로 소스 픽셀의 위치 정보는 압축하지 않고, 소스 픽셀의 색상 정보만을 압축한다.

소스 픽셀을 선택하기 위해서 가우시안 피라미드(Gaussian pyramid) [7]를 이용하여 넓은 영역에 대한 밝기 변화량을 정의한다. 5x5 가우시안 커널(Gaussian kernel) $w(q)$ 와 subsampling 을 사용하여, 스케일(scale) l 의 밝기 변화량 $g_l(p_l)$ 을 구한다.

$$g_l(p_l)=\begin{cases}\left|\frac{\partial Y(p_0)}{\partial x}\right|+\left|\frac{\partial Y(p_0)}{\partial y}\right|, & \text{if } l=0,\\ \sum_{q=[-2,2]}^{[-2,-2]} w(q)g_{l-1}(p_{l-1}+q), & \text{if } l\geq 1.\end{cases} \qquad (3)$$

본 논문의 실험에서는 스케일 l 의 값을 2 부터 최대 스케일 4 까지 사용한다. 인코더와 디코더에서 동일한 소스 픽셀을 결정하기 위해서, 식(3)에서 $Y(p_0)$ 은 디코더를 통해 복원된 밝기값을 사용한다.

먼저 높은 스케일의 가우시안 피라미드를 이용하여 밝기가 평평한 넓은 영역의 중심 픽셀을 선택한다. 즉, $g_l(p_l)$ 값이 가장 적은 픽셀 p_l 을 선택하고, 선택된 소스 색상 $C_1(p_l)$ 에 의한 주변 영역의 에러(error)를 계산한다.

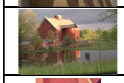
Image		Bit	H.264		Proposed algorithm	
			Color Cr	Color Cb	Color Cr	Color Cb
	Hats (768x512)	7.83 Kbyte	37.12 dB	36.56 dB	37.243 dB	36.7048 dB
	House (768x512)	11.83 Kbyte	32.51 dB	34.17 dB	33.758 dB	33.538 dB
	Lena (256x256)	1.12 Kbyte	31.71 dB	31.27 dB	32.5136 dB	31.0582 dB

표 1. 색상 이미지 압축 비교: H.264/AVC 와 제안 기법의 PSNR 을 비교

$$E_1 = \sum_{q \in \Omega(2^l p_l, 2^l+1)} \{C_1(p_l) - C(q)\}^2, \quad (4)$$

여기서, $q \in \Omega(p,3)$ 는 픽셀 p 의 주변 3x3 블럭(block) 영역 안의 픽셀들을 나타낸다.

에러 E_1 가 한계점 T 이하라면, 그 중심 픽셀의 색상을 소스 색상으로 선택하여 색상 정보 $C_1(p_l)$ 를 전송한다. 소스 픽셀들의 이웃 픽셀들은 소스 픽셀들을 이용하여 채색한다고 가정하므로, 중심픽셀을 포함한 $q \in \Omega(2^l p_l, 2^l+1)$ 영역의 색상 정보는 부호화 된 것이다. 따라서 부호화 되지 않은 나머지 영역에 대해서 소스 픽셀의 선택을 반복한다. 에러 E_1 가 한계점 T 이상이 되면 가우시안 피라미드의 스케일을 줄여서 소스 픽셀을 선택한다. 디코더에서는 에러를 계산 할 수 없으므로 스케일을 줄이는 시점을 부가 정보로 보낸다.

이때 전송되는 소스 픽셀의 정보량를 줄이기 위하여 주변에 이미 선택되어 부호화된 소스 색상을 이용하여 색상 $C_1(p_l)$ 대신 사용한다. 밝기 차이에 의하여 이웃의 소스들을 가중합한 색상을 중심 색상대신에 사용하여 에러 E_2 를 식 (4)와 같이 계산한다. 에러값 E_2 가 E_1 이하라면, 중심 픽셀에 대한 색상 정보를 전송하지 않고, 다만 이웃 소스를 사용한다는 flag=0 값만을 전송한다. 에러값 E_2 가 E_1 보다 크다면, 중심색상을 사용한다는 flag=1 값과 중심 색상 $C_1(p_l)$ 을 전송한다.

3. 실험 결과

색상 이미지의 압축 결과 비교를 위하여 표 1 과 같이 3 개의 이미지를 사용하였다. 제안 알고리듬에서 밝기 정보는 H.264/AVC [6]를 이용하여 압축하였고, 선택된 소스 픽셀의 색상 정보와 부가 정보의 경우 무손실 압축을 했다. 비교를 위하여 H.264/AVC YCbCr4:4:4 를 이용하였다[6].

표 1 은 H.264/AVC 와 제안기법의 압축 비트량에 따른 PSNR 을 비교한 것이다. 768x512 픽셀의 "Hats"이미지의 경우 539 개의 픽셀이 소스 픽셀로 선택되었다. 선택된 픽셀의 색상정보만을 전송하여 동일한 비트량에서 H.264/AVC 보다 PSNR 이 Cr 평면 0.123dB, Cb 평면 0.1448dB 정도 향상되었다. "House" 이미지의 경우 859 개의 픽셀, "Lena"이미지의 경우 54 픽셀이 소스 픽셀로 선택되었다. 대표적인 소스 픽셀을 자동으로 선택하여 밝기가 평평한 영역에서 불필요한 정보를 줄였으며, 위치 정보 전송에 따른 비트량이 발생하지 않으므로 압축 비트량은 감소하면서 색상 평면에서 PSNR 이 증가함을 보인다.

4. 결론

밝기 변화량을 기반으로 구한 가우시안 피라미드를 이용하여 색상 평면을 대표하는 색상 소스를 선택하여 이미지를 압축하는 기법을 제안하였다. 인코더에서뿐 아니라 밝기 변화량을 이용하여 디코더에서도 동일하게 색상 소스를 선택할 수 있다. 따라서 색상 소스에 대한 위치정보를 제외한 색상 정보만을 디코더측에 전송함으로써 압축 효율을 높였다. 디코더에서는 전달 받은 소스 픽셀들을 이용하여 채색화 기법을 통하여 색상 평면을 복원하였다.

인코더 측에서 기존 압축기법과 같이 반복을 통한 에러 보정을 수행하지 않았기 때문에 앞으로 에러보정의 과정을 통하여 PSNR 개선이 가능할 것이다. 또한 소스 픽셀의 무손실 압축에 대한 개선을 통하여 좀더 효율적인 압축이 가능할 것이며, 앞으로 비트량에 따라 소스 픽셀의 수를 자동적으로 결정하는 방향에 대한 연구도 가능 할 것으로 기대된다.

참고 문헌

[1] A. Levin, D. Lischinski, and Y. Weiss, "Colorization using optimization," in Proc. ACM SIGGRAPH, 23, pp. 689-694, Aug. 2004.

[2] J.-H. Heu, D.-Y. Hyun, C.-S. Kim, and S.-U. Lee, "Image and video colorization based on prioritized source propagation," in Proc. IEEE ICIP, pp. 465-468, Nov. 2009.

[3] L. Cheng and S. Vishwanathan, "Learning to compress images and videos," in Proc. the 24th International Conference on Machine Learning, Corvallis, OR, 2007.

[4] X. He, M. Ji, H. Bao, "A Unified Active and Semi-Supervised Learning Framework for Image Compression," IEEE CVPR2009, pp.65-72, Jun. 2009.

[5] T. Miyata, Y. Komiyama, Y. Sakai, and Y. Inazumi, "Novel inverse colorization for image compression," in Picture Coding Symposium, pp. 101- 104, 2009.

[6] Karsten Suehring, "H.264/AVC JM Reference Software Download -http://iphome.hhi.de/suehring/tml/ ".

[7] P. J. Burt and E. H. Adelson., "The Laplacian pyramid as a compact image code," IEEE Trans. Comm. 31, pp. 532-540, Apr. 1983.