

## 무손실 컬러 이미지 압축을 위한 무손실 색상 변환 방법

\*김세윤 \*\*조남익

서울대학교 전기컴퓨터공학부

\*light4u@ispl.snu.ac.kr \*\*nico@snu.ac.kr

## A Reversible Color Transform for Lossless Color Image Compression

\*Kim, Seyun \*\*Cho, Nam Ik

INMC, Department of EECS, Seoul National University

## 요약

기존의 무손실 컬러 이미지 압축 연구에는 하나의 색상 채널을 압축한 뒤에 이를 이용하여 나머지 색상 채널의 값을 예측하여 압축을 수행하는 방법이 많다. 또한, 각각의 채널을 독립적으로 압축하는 경우, 무손실 색상 변환(reversible color transform)을 먼저 수행하는 것이 유리하다는 연구 결과도 있다. 본 논문에서는 무손실 컬러 이미지 압축을 위한 새로운 색상 변환 방법을 제안한다. 새롭게 제안하는 색상 변환은 R, G, B 색공간에서 표현된 이미지를 YCbCr 색공간으로 변환하는데, 기존의 방법에 비해 채널 간 상관관계를 효과적으로 제거한다. 실험 결과, 제안하는 방법은 기존의 무손실 색상 변환 방법에 비해 평균 2.6% 엔트로피를 감소시키는 성능 향상을 보인다.

## 1. 서론

이미지나 동영상은 데이터량이 크기 때문에 일반적으로 손실 압축 방법을 이용하여 압축한다. 하지만, 의료나 출력, 과학, 예술 등의 분야에서는 정보의 손실이나 압축으로 인한 오류가 큰 문제가 될 수 있다. 또한, 카메라와 영상 표시장치의 표현 능력이 향상되고 메모리의 가격은 낮아지면서, 중요한 영상을 손실 없이 저장하고자 하는 요구는 커지고 있다. 따라서 무손실 이미지 압축의 중요성은 더욱 커질 것이다.

컬러 이미지의 압축을 위해서 채널 간의 상관관계를 이용하지 않는 방법으로는 Lossless JPEG[1], JPEG-LS[2], LOCO-II[3], CALIC[4] 등의 방법이 있다. LOCO-I와 CALIC은 JPEG 표준화 과정에서 개발되었으며, 표준에 선택된 LOCO-I는 JPEG-LS와 거의 같은 반면, CALIC은 계산복잡도가 높으면서 더 향상된 성능을 보인다. 상기한 방법들은 영상의 색상 채널을 각각의 흑백 영상으로 가정하여 독립적으로 압축을 수행한다.

채널 간의 상관관계를 이용하는 방법으로는 무손실 색상 변환을 이용하는 JPEG2000 lossless[5]가 있고, 픽셀의 예측 과정에서 다른 색상 채널의 정보를 이용하는 더 적극적인 방법[6][7]이 있다. JPEG2000 lossless에서는 무손실 색상 변환을 통해 R, G, B 색공간에서 Y, Cu, Cv 색공간으로 변환하여 채널 간의 상관관계를 줄인 후 각 채널별로 독립적으로 압축을 수행한다. 이때 역변환이 가능한 색상 변환을 구현하기 위해서 간단한 정수 연산을 이용하는데, 손실 압축에 사용되는 YCbCr 변환에 비해서 채널 간 상관관계를 감소시키는 성능이 부족하다. 또한, interband-CALIC[6]이나 M-CALIC[7]과 같이 픽셀 예측과정에서 다른 채널의 정보를 이용하는 방법은 크게 증가하는 계

산량에 비해서 성능향상이 크지 않다.

본 논문에서는 무손실 컬러 이미지 압축을 위해서 새로운 색상 변환 방법을 제안한다. 새로운 무손실 색상 변환을 설계하기 위해서 lifting[8] 기반의 방법이 이용되었으며, 기존의 방법에서 최소한의 계산량 증가만으로 성능 향상을 보인다. 구체적으로, 기존의 색상 변환 결과에 한 단계의 lifting 스템을 추가하여 채널 간 상관관계 제거 성능을 향상시켰다.

## 2. 제안 방법

일반적으로 컬러 이미지의 픽셀은 빨간색, 녹색, 파란색의 세 가지 색상 값을 가진다. 이때, 세 색상의 값 사이에는 큰 상관관계가 있기 때문에 압축을 위해서 색상 변환이 이용된다. 다음은 손실 압축에서 사용되는 일반적인 YCbCr 변환의 식이다.

$$\begin{bmatrix} Y \\ Cb \\ Cr \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ -0.16875 & -0.33126 & 0.5 \\ 0.5 & -0.41869 & -0.08131 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (1)$$

하지만 이 변환식은 실수 연산이 필요하기 때문에 한정된 정확도 내에서는 정확한 역변환이 존재하지 않고, 무손실 압축에는 사용할 수 없다. 이 때문에, JPEG2000 lossless에서는 다음 식과 같은 무손실 색공간 변환이 사용된다.

$$\begin{aligned}
 Y &= \left\lfloor \frac{R+2G+B}{4} \right\rfloor & G &= Y - \left\lfloor \frac{C_u+C_v}{4} \right\rfloor \\
 C_u &= R - G & R &= C_u + G \\
 C_v &= B - G & B &= C_u + G
 \end{aligned} \quad (2)$$

이 변환은 정수 연산으로 계산이 가능한 정확한 역변환이 존재하고 간단하지만 색공간 분리 성능은 만족스럽지 않다.

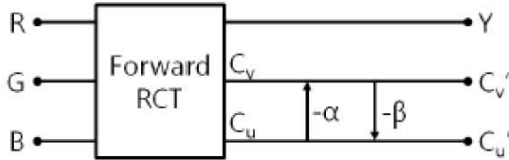


그림 1. 제안하는 색공간 변환의 구조

이러한 문제를 해결하기 위해서, 본 논문에서는 그림 1과 같이 기존의 무손실 색상 변환 뒤에 lifting[8][9] 스텝을 추가하였고, 그 식은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 C_v' &= C_v - \lfloor \alpha C_u \rfloor \\
 C_u' &= C_u - \lfloor \beta C_v' \rfloor
 \end{aligned} \quad (3)$$

여기서  $\alpha$ 와  $\beta$ 는 lifting butterfly 구조에서 prediction과 update 스텝의 gain에 해당한다.  $\lfloor \cdot \rfloor$ 는 버림 연산이며, 정수 연산에 의해 정확한 역변환이 존재하도록 하기 위해서 필요하다. 식 (3)을 정리하면 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} C_v' \\ C_u' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha & -(1+\alpha) & 1 \\ (1+\alpha\beta) & -(1-\beta-\alpha\beta) & \beta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (4)$$

향상된 색공간 분리 성능을 얻기 위해, 이 변환이 식 (1)의 YCbCr 변환과 비슷한 값을 가지도록 해야 한다. 제한 조건이 변수의 수보다 많기 때문에 이러한 조건을 모두 만족하는  $\alpha$ 와  $\beta$ 를 얻기는 힘들지만, 두 식의 관계로부터  $\alpha \approx 2 \times 0.16875$ 와  $\beta \approx 2 \times 0.08131$ 의 선택을 유추할 수 있다. 버림 연산을 이용한 lifting butterfly의 구조상 실수 값으로도 정확한 역변환의 구현이 가능하지만, 본 논문에서는 계산량 감축을 위해서  $\alpha = 1/4$ 와  $\beta = 1/8$ 의 값을 선택하였고, 이 값을 이용하면 제안하는 색공간 변환을 bit shift와 덧셈 연산만으로 구현이 가능하다.

### 3. 실험 결과

본 논문에서 제안하는 방법을 평가하기 위해 JPEG2000 lossless에서 사용되는 기존의 무손실 색공간 변환 방법과 성능 비교를 수행하였다. 실험 영상은 무손실 압축 연구에서 많이 사용되는 Kodak data set[10]의 대표적인 이미지 7장을 사용하였다.



그림 2. 실험 영상

색공간 변환 전의 R, G, B 채널과 JPEG2000 lossless의 RCT로 변환한 후의 Y, C<sub>u</sub>, C<sub>v</sub> 채널, 제안하는 방법으로 변환한 후의 Y, C<sub>u</sub>', C<sub>v</sub>' 채널의 0차 entropy를 측정된 결과를 표 1에 나타내었다.

표 1. 제안하는 방법과 기존 방법의 entropy

	RGB	RCT	제안방법	
Brick	7.0487	7.1942	<b>7.1942</b>	-
	7.2962	4.7867	<b>4.7513</b>	0.74%
	7.1561	5.1969	<b>4.9601</b>	4.56%
Hood	7.0983	7.2008	<b>7.2008</b>	-
	7.2225	5.5602	<b>4.8640</b>	12.52%
	7.3145	6.7211	<b>6.6362</b>	1.26%
Bums	6.9845	7.0280	<b>7.0280</b>	-
	6.9841	5.2309	<b>5.1646</b>	1.27%
	7.1172	5.7030	<b>5.6032</b>	1.75%
Stream	7.4450	7.4908	<b>7.4908</b>	-
	7.4318	5.7979	<b>5.7573</b>	0.70%
	7.4636	5.3023	<b>5.1799</b>	2.31%
Girl	7.8047	7.4258	<b>7.4258</b>	-
	6.9537	5.7616	<b>5.6054</b>	2.71%
	7.1567	6.7109	<b>6.6094</b>	1.51%
Ball	7.2959	7.3170	<b>7.3170</b>	-
	7.3898	4.9276	<b>4.9331</b>	-0.11%
	7.2638	4.9442	<b>4.7257</b>	4.42%
Dream	7.1436	7.2427	<b>7.2427</b>	-
	7.2794	6.3059	<b>6.2513</b>	0.87%
	7.1402	6.0837	<b>5.9335</b>	2.47%
			<b>Avg.</b>	<b>2.64%</b>

기존 방법과 제안하는 방법의 Y 채널의 값은 같으므로 entropy 변화는 없고, C<sub>u</sub>'와 C<sub>v</sub>' 채널의 entropy는 기존 방법의 C<sub>u</sub>와 C<sub>v</sub>에 비해 최대 12.52%, 평균 2.64% 감소하였다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 컬러 이미지의 무손실 압축을 위해 새로운 색공간 변환 방법을 제안하였다. 제안하는 색공간 변환 방법은 기존의 무손실 색상 변환 이후에 lifting step을 추가하여 최소한의 계산량 증가로 색공간 분리 성능을 향상시켰다. 제안하는 방법은 JPEG2000 lossless에서 사용되는 색공간 변환 방법에 비해 최대 12.5%, 평균 2.6%의 entropy 감소 효과를 보였다.

#### 참고문헌

- [1] Pennebaker, W. B. and Mitchell, J. L., "JPEG Still Image Data Compression Standard", New York: Van Nostrand Reinhold, 1993.
- [2] Information Technology--Lossless and Near-Lossless Compression of Continuous-Tone Still Images (JPEG-LS), ISO/IEC Standard 14495-1, 1999.
- [3] M. Weinberger, G. Seroussi, and G. Sapiro, "The LOCO-I lossless image compression algorithm: principles and standardization into JPEG-LS," IEEE Trans. on Image Proc., vol. 9, no. 8, pp. 1309-1324, Aug. 2000.
- [4] X. Wu and N. Memon, "Context-based, adaptive, lossless image coding," IEEE Trans. Commun., vol. 45, pp.437 - 444, 1997.
- [5] Information Technology--JPEG 2000 Image Coding System--Part 1: Core Coding System, INCITS/ISO/IEC Standard 15444-1, 2000.
- [6] X. Wu and N. Memon, "Context-based lossless interband compression--Extending CALIC," IEEE Trans. Image Processing, vol. 9, pp. 994-1001, June 2000.
- [7] Enrico Magli, Gabriella Olmo, Emanuele Quacchio, "Optimized on-board lossless and near-lossless compression of hyperspectral data using CALIC," IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, Vol.1, No.1, pp.21-25, Jan. 2004.
- [8] Malvar, H.S., Sullivan, G.J., and Srinivasan, S., "Lifting-based reversible color transformations for image compression," Proc. SPIE Applications of Digital Image Processing XXXI, San Diego, CA, USA, Vol. 7073, p. 707307.1-707307.10, 2008.
- [9] W. Sweldens, "The lifting scheme: a custom-design construction of biorthogonal wavelets," Applied and Computational Harmonic Analysis, vol. 3, pp. 186-200, 1996.
- [10] <http://www.site.uottawa.ca/~edubois/demosaicking>, images from KODAK Photo CD Photo Sampler, 1991.