

효율적인 영상압축을 위한 DCT 커널 기반 컬러 좌표 변환

허영민^o, 유훈, 정제창

한양대학교 전자통신공학과

Color Space Conversion for Efficient Image Compression Using the DCT Kernel

Youngmin Huh^o, Hoon Yoo, and Jechang Jeong

Department of Electronic Communications Engineering, Hanyang University

e-mail : sgt@icsp2.hanyang.ac.kr

요약

RGB 컬러 좌표계상에서는 각 컬러 성분간의 상관도가 매우 높고, 색을 표현할 때 R, G, B 각 성분에 똑같은 대역폭을 주기 때문에 영상의 압축 관점에서 효율적이지 못하다. 대표적인 영상압축 알고리즘인 MPEG-1, MPEG-2, MPEG-4, H.263, JPEG, JPEG-2000등에서는 압축 효율을 높이기 위해서 YCbCr 컬러 좌표계를 사용하고 있다. 본 논문에서는 좀 더 효율적인 영상 압축을 위해서 새로운 컬러 좌표계를 제안하고자 한다. 제안하는 컬러 좌표계는 DCT 커널에 기반을 두고 있다. DCT 컬러 좌표계는 각각의 커널끼리 직교하며, 빠른 연산이 가능하고, 구조가 간단하다. 실험결과, DCT 컬러 좌표계의 신호들의 분산이 YCbCr 컬러 좌표계의 신호들의 분산보다 작은 경향을 보이며, 동일한 비트율에서 작은 MSE (Mean Square Error)를 가지는 것을 실증적으로 알 수 있다.

I. 서론

RGB 컬러 좌표계는 직교 좌표계를 사용하고, R, G, B성분을 서로 더해서 원하는 색을 표현한다[1]. 인간은 시각 특성상 색차신호에 덜 민감하므로 색차신호에 적

은 대역폭을 주어서 영상의 압축효율을 높일 수 있다. 그러나, RGB 컬러 좌표계에서는 색을 표현하기 위해 세 가지의 성분이 똑같은 대역폭을 가져야 하므로 영상 압축의 관점에서는 효율적이지 못하다. 또한, 주어진 화소의 밝기성분이나 컬러를 바꾸기 위해서는 R, G, B 각각의 성분을 프레임 버퍼로부터 읽어서 연산을 하고, 다시 각각의 프레임 버퍼로 저장해야 하는 비효율성이 있다. 따라서, 많은 방송, 영상, 비디오 표준들이 RGB 신호 대신에 휴도신호와 색차신호를 사용한다. 영상 압축을 위한 대표적인 좌표계들로는 YUV, YIQ, YCbCr 컬러 좌표계 등이 있다[1].

본 논문의 구성은 다음과 같다. II 장에서 대표적인 컬러 좌표계에 대해 설명하고, III 장에서 제안하는 컬러 좌표계에 대해 기술한다. IV 장에서 실험 결과를 보여주고, V 장에서 결론을 맺는다.

II. 대표적 컬러 좌표계

1. YUV 컬러 좌표계

YUV 컬러 좌표계는 PAL (Phase Alternation Line), NTSC (National Television System Committee), SEC AM (Sequential Couleur Avec Memoireor Sequential

Color With Memory) 등의 컬러비디오 표준에서 사용되는 기본적인 컬러 좌표계이다[1]. 흑백 시스템에서는 Y(회도성분)의 정보만 이용하였기 때문에 컬러 시스템에서는 흑백 시스템과의 호환을 위해서 흑백 시스템의 Y 성분은 그대로 사용하고, U와 V(색차성분)의 정보를 더하여 컬러를 표현할 수 있도록 했다. RGB 컬러 좌표계에서 YUV 컬러 좌표계로의 변환식은 식 1과 같다[1].

$$\begin{bmatrix} Y \\ U \\ V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ -0.147 & -0.289 & 0.436 \\ 0.615 & -0.515 & -0.100 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (1)$$

0에서 255 사이의 값을 갖는 디지털 RGB 값들에 대해 Y성분은 0에서 255까지의 범위이고, U성분은 -112에서 112까지, 그리고 V성분은 -157에서 157까지의 범위를 가진다. 보통 이 값들은 실제 NTSC 또는 PAL 디지털 부호기, 복호기 구현을 간단하게 하기 위해 크기가 조정된다. YUV 컬러 좌표계에서 RGB 컬러 좌표계로의 변환식은 식 2와 같다[1].

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.000 & 0.000 & 1.104 \\ 1.000 & -0.394 & -0.581 \\ 1.000 & 2.032 & 0.000 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y \\ U \\ V \end{bmatrix} \quad (2)$$

2. YIQ 컬러 좌표계

YIQ 컬러 좌표계는 YUV 컬러 좌표계에서 유도되었으며, 선택적으로 NTSC 방식에 사용된다. RGB 컬러 좌표계에서 YIQ 컬러 좌표계로의 변환식은 식 3과 같다[1].

$$\begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.596 & -0.275 & -0.321 \\ 0.212 & -0.523 & 0.311 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (3)$$

0에서 255사이의 값을 갖는 디지털 RGB 값들에 대해 Y성분은 0에서 255까지의 범위이고, I성분은 -152에서 152까지, 그리고 Q성분은 -134에서 134까지의 범위를 가진다. I성분과 Q성분은 각각 U성분, V성분의 측을 33° 회전시켜 얻는다. 실제 NTSC 디지털 부호기, 복호기 구현을 간단하게 하기 위해 크기가 조정된다. YIQ 컬러 좌표계에서 RGB 컬러 좌표계로의 변환식은 식 4와 같다[1].

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.000 & 0.956 & 0.620 \\ 1.000 & -0.272 & -0.647 \\ 1.000 & -1.108 & 1.705 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix} \quad (4)$$

3. YCbCr 컬러 좌표계

YCbCr 컬러 좌표계는 디지털 비디오 국제 표준으로 Recommendation ITU-R BT.601의 한 부분으로 개발되었다. YUV 컬러 좌표계의 크기를 조정하고, 오프셋 값을 더하여 만든 좌표계이다. RGB 컬러 좌표계에서 YCbCr 컬러 좌표계로의 변환식은 식 5와 같다[1].

$$\begin{bmatrix} Y \\ Cb \\ Cr \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 77/256 & 150/256 & 29/256 \\ -44/256 & -87/256 & 131/256 \\ 131/256 & -110/256 & -21/256 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 128 \\ 128 \end{bmatrix} \quad (5)$$

YCbCr 컬러 좌표계에서 RGB 컬러 좌표계로의 변환식은 식 6과 같다[1].

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.000 & 0.0000 & 1.371 \\ 1.000 & -0.336 & -0.698 \\ 1.000 & 1.732 & 0.000 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y \\ (Cb-128) \\ (Cr-128) \end{bmatrix} \quad (6)$$

RGB 값들이 0에서 255범위의 값을 갖는 디지털 이미지라면, 식 7과 식 8이 사용하기에 편하다[1].

$$\begin{bmatrix} Y \\ Cb \\ Cr \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.257 & 0.504 & 0.098 \\ -0.148 & -0.291 & 0.439 \\ 0.439 & -0.368 & -0.071 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 16 \\ 128 \\ 128 \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.164 & 0.0000 & 1.596 \\ 1.164 & -0.392 & -0.813 \\ 1.164 & 2.017 & 0.000 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} (Y-16) \\ (Cb-128) \\ (Cr-128) \end{bmatrix} \quad (8)$$

식 7과 식 8에서 알 수 있듯이 YCbCr성분의 값들이 범위를 벗어나지 않게 하기 위해서는 RGB성분의 값들이 0에서 255 사이의 값이어야 한다. Y성분은 16에서 235사이, Cb성분과 Cr성분은 16에서 240 사이의 값을 가지며, 128이 0에 해당한다.

YCbCr 컬러 좌표계는 4:4:4, 4:2:2, 4:2:0와 같은 여러 가지의 샘플링 포맷을 가진다. 샘플링 포맷은 인간의 눈이 색에 그다지 민감하지 않다는 것을 이용하여 색정보를 삭감하는 것을 의미한다. 색정보를 삭감하지 않은 것을 4:4:4 라 부르고, 횡 방향으로 반으로 삭감한 것을 4:2:2, 횡 방향, 종 방향으로 모두 반으로 삭감한 것을 4:2:0 라 한다.

III. 제안한 DCT 컬러 좌표계

제안한 DCT 컬러 좌표계는 DCT커널에 기반을 두고 있다[3]. D성분은 DCT커널의 DC성분에서, C성분은 반주기 성분에서, T성분은 한 주기 성분에서 유도하였다. YCbCr 컬러 좌표계는 R성분에 덜 민감하고, B성분에 가장 덜 민감한 인간의 시각 특성을 고려하여 특히 G성분에 가장 많은 가중치를 주고, R성분에 조금 적은 가중치를, B성분에 가장 적은 가중치를 준다. 반면에

DCT 컬러 좌표계는 각 성분에 대해 똑같이 가중치를 준다.

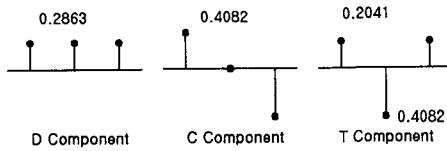


그림 1. DCT 컬러 좌표계 커널.

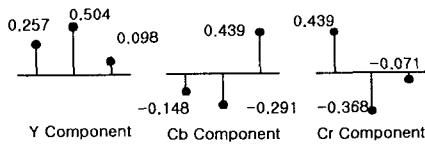


그림 2. YCbCr 컬러 좌표계 커널.

각각 계수의 크기는 YCbCr 컬러 좌표계에서 가지는 각 성분의 범위와 동일하도록 조정하였다. 즉, D성분은 16에서 235사이, C성분과 T성분은 16에서 240사이의 값을 가지도록 정하였다. RGB 컬러 좌표계에서 DCT 컬러 좌표계로의 변환식은 식 9와 같다.

$$\begin{bmatrix} D \\ C \\ T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.2863 & 0.2863 & 0.2863 \\ 0.4082 & 0.0000 & -0.4082 \\ 0.2041 & -0.4082 & 0.2041 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (9)$$

식 9에서 DCT 컬러 좌표계는 계수를 제외하면 합과 차로서만 연산이 가능하므로 구조가 간단하다는 것도 알 수 있다. DCT 컬러 좌표계에서 RGB 컬러 좌표계로의 변환식은 식 10과 같다.

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.1643 & 1.2249 & 0.8166 \\ 1.1643 & 0.0000 & -1.6332 \\ 1.1643 & -1.2249 & 0.8166 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} D \\ C \\ T \end{bmatrix} \quad (10)$$

일반적으로 커널이 직교하면 변환된 신호의 각 성분 사이의 상관성을 더 많이 제거할 수 있다. 신호의 압축 관점에서 보면 상관성을 많이 제거하는 것이 유리하다. YCbCr 컬러 좌표계의 커널의 행렬식을 A라 AA^T 계산하면 직교(orthogonal)하지 않는다. 그러나, DCT 컬러 좌표계의 커널의 행렬식을 B라 하고 BB^T 를 계산하면 직교하는 것을 알 수 있다. 따라서, 신호의 압축 관점에서 DCT 컬러 좌표계가 효율적임을 알 수 있다.

$$AA^T = \begin{bmatrix} 0.3297 & -0.1417 & -0.0796 \\ -0.1417 & 0.2993 & 0.0109 \\ -0.0796 & 0.0109 & 0.3332 \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$BB^T = \begin{bmatrix} 0.2459 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.0000 & 0.3333 & 0.0000 \\ 0.0000 & 0.0000 & 0.2499 \end{bmatrix} \quad (12)$$

IV. 모의 실험 결과

실험 영상은 Lena, Peppers, Barboon 256X256 영상을 사용하였다. 먼저, YCbCr 컬러 좌표계와 DCT 컬러 좌표계상에서 각 성분의 분산을 비교해 보았다.

표 1. YCbCr 컬러 좌표계와 DCT 컬러 좌표계에서의 분산비교.

컬러 좌표계	YCbCr 컬러 좌표계			DCT 컬러 좌표계		
	Y성분	Cb성분	Cr성분	D성분	C성분	T성분
lena256	2245	137	241	1789	211	71
peppers	2832	147	1854	2021	389	717
barboon	1490	375	1349	1578	959	181



그림 3. YCbCr 컬러 좌표계의 각 성분에 대한 이미지(Y, Cb, Cr).

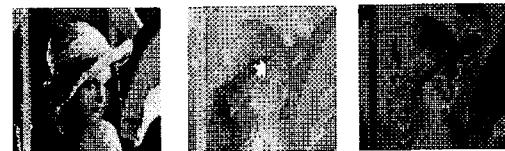


그림 4. DCT 컬러 좌표계의 각 성분에 대한 이미지(D, C, T).

표 1의 결과에서 YCbCr 컬러 좌표계에서보다 DCT 컬러 좌표계상에서의 분산이 작은 경향을 보인다. 따라서, YCbCr 컬러 좌표계상에서 보다 DCT 컬러 좌표계상에서 더 적은 비트로 이미지를 압축할 수 있다.

다음은 각 화소 당 고정된 비트를 주고 YCbCr 컬러

좌표계와 DCT 컬러 좌표계의 PSNR을 비교하고, 4:4:4, 4:2:2, 4:2:0 샘플링 포맷에 대해 MSE를 비교하였다. 실험 코덱은 SPIHT를 사용하였다[4].

표 2. YCbCr 컬러 좌표계와 DCT 컬러 좌표계에서의 PSNR과 MSE 비교(1.0 bpp, 4:4:4).

컬러 좌표계 이미지	YCbCr 컬러 좌표계			DCT 컬러 좌표계		
	Y성분	Cb성분	Cr성분	D성분	C성분	T성분
lena256	37.84dB	43.71dB	43.77dB	38.41dB	41.96dB	46.46dB
total mse	21.2991			18.4348		
peppers	37.12dB	42.19dB	41.02dB	37.84dB	40.74dB	42.83dB
total mse	27.7346			24.2148		

표 3. YCbCr 컬러 좌표계와 DCT 컬러 좌표계에서의 MSE 비교(0.5 bpp)

컬러 좌표계 이미지	YCbCr 컬러 좌표계		DCT 컬러 좌표계	
	4:2:2	4:2:0	4:2:2	4:2:0
lena256	65.5855	74.8364	61.0795	68.5146
peppers	102.0137	130.4025	91.6590	116.9523

표 4. YCbCr 컬러 좌표계와 DCT 컬러 좌표계에서의 MSE 비교(0.25 bpp).

컬러 좌표계 이미지	YCbCr 컬러 좌표계		DCT 컬러 좌표계	
	4:2:2	4:2:0	4:2:2	4:2:0
lena256	112.6008	119.5857	106.5117	115.1057
peppers	162.7715	193.3383	106.5117	117.9896

표 2에서 보면 DCT 컬러 좌표계의 D성분이 YCbCr 컬러 좌표계 Y성분보다, T성분이 Cb성분보다 PSNR이 높고, C성분은 Cr성분보다 PSNR이 낮다. 각 성분의 이미지를 다시 합하여 컬러로 복원하고 MSE를 구해보면 DCT 컬러 좌표계가 YCbCr 컬러 좌표계보다 작다. 표 3과 표 4에서 보면 화소당 비트수를 각각 0.5, 0.25로 주고 컬러 이미지에 대한 MSE를 구해도 YCbCr 컬러 좌표계의 MSE보다는 DCT 컬러 좌표계의 MSE가 작다.

V. 결론

본 논문에서는 영상 압축에 좀 더 효율적인 DCT 커널 기반 컬러 좌표계를 제안하였다. 기존의 YCbCr 컬

러 좌표계와 비교하였을 때 제안한 DCT 컬러 좌표계의 분산이 작은 경향을 보였으며, 똑같은 비트율에서 샘플링 포맷에 따른 MSE(Mean Square Error)도 작은 경향을 보였다. 따라서, 기존의 YCbCr 컬러 좌표계보다 제안한 DCT 컬러 좌표계가 영상압축에 있어 좀 더 효율적이라 할 수 있다. 그리고, 연산의 측면에서 크기를 조정하는 것을 제외하면 YCbCr 컬러 좌표계로 변환할 때 보다 곱셈연산의 수가 적기 때문에 속도면이나 구조면에서 간단하다는 것도 알 수 있다.

참고 문헌

- [1] Keith Jack, Video Demystified-A Handbook for the Digital Engineer, hightext publication, 1999
- [2] Lindsay W. MacDonald and M. Ronnier Luo, Colour Imaging, Wiley, 1999
- [3] Jain, Fundamentals of digital image processing, prentice hall, 1989
- [4] Amir Said and William A. Pearlman, "A New Fast/Efficient Image Codec Based On Set Partitioning in Hierarchical Trees", IEEE Transaction of Circuits and Systems for Video Technology, vol. 6, pp.243-250. June, 1996