

Normalized YCbCr 색 공간에서의 적응적 채도 향상 방법

*옥현욱, 최원희, 김창용

삼성종합기술원 Color Application 프로젝트팀

e-mail : hyunwook.ok@samsung.com, wonhee.choe@samsung.com, cykim@samsung.com

Adaptive Saturation Enhancement Algorithm on Normalized YCbCr color space

*Hyun-Wook Ok, Won-Hee Choe, Chang-Yeong Kim
Color Application Project Team
Samsung Advanced Institute of Technology

Abstract

In this paper, we propose a new saturation enhancement algorithm which is processed on the new color space, called Normalized YCbCr(NYCbCr). The algorithm consists of two processing unit. One is color space conversion from YCbCr to NYCbCr, and the other is using adaptive saturation mapping function(ASMF). NYCbCr color space is designed to prevent shortcomings such as luminance and hue shift of YCbCr color space and by saturation enhancement. ASMF is effective to enhance saturation properly for each image and to protect low saturation regions of color images from over-saturation. we verified our method using several color images. Experimental results show that the proposed method enhance the saturation with minimizing Luminance and Hue shift.

I. 서론

디지털 영상의 화질을 개선하려는 노력은 오래전부터 있어왔지만 특히, 근래에 들어 Digital TV의 보급이 확대되면서 그 필요성이 증가하고 있다. 사람은 영상을 밝기와 색상 그리고 채도 성분으로 구분하여 인식하고, 일반적으로 약간 채도가 향상된 영상을 좀더 좋은 영상으로 인지한다고 알려져 있다[1]. 때문에 영상의 채도를 향상시킴으로써 화질을 향상하고자 하는 노력은 다양하게 존재해왔다. CIEXYZ 색 공간의 xy chromaticity diagram상에서 색 조절을 통해 saturation을 향상 시키거나[4], RGB 색 공간에서 scaling과 shifting을 통해 밝기와 채도를 직접 조절함으로써[2][3] 영상의 화질을 향상시키려는 노력들이 바로 그것이다. 그러나 기존의 방법들은 일반적으로 디지털 디스플레이에서 사용되는 색 공간인 YCbCr과 다른 색 공간을 사용하여 색 공간 변환에 따른 불필요한 계산이 추가되거나, 또는 모든 영상에 대해 같은 정도의 채도 향상이 이루어지거나 채도향상이 필요 없는 저채도 영역마저도 채도 향상이 이루어져서 영상의 화질이 오히려 나빠지는 단점들을 가진다.

이 논문에서는 먼저 YCbCr 색 공간을 이용하여 간

단히 변환할 수 있고, 채도 변화에 따라 밝기와 색상의 변화를 최소화 할 수 있는 새로운 색 공간을 제안하고, 주어진 영상의 저채도 영역을 보호하면서 동시에 주어진 영상의 채도성분의 정도에 따라 함수의 모양이 적응적으로 변화하는 채도 증가함수를 사용하여 화질의 열화 없이 영상의 채도를 향상시키는 방법을 제안하였다.

II. Normalized YCbCr 색 공간

2.1 YCbCr 색 공간에서의 채도 향상

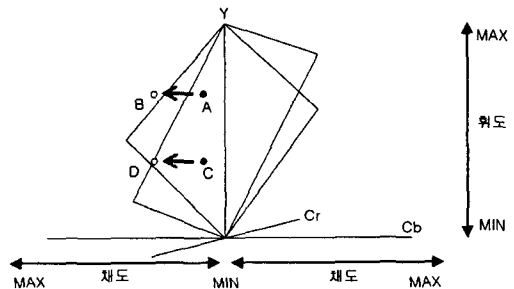


그림 1 YCbCr 색 공간에서의 채도 향상

그림 1은 YCbCr 색 공간에서의 채도 향상을 간략히 도시한 예이다. 상기 그림에서 좌 또는 우측에 표시된 삼각형들은 주요색들에 대한 휘도 대 채도 평면의 분포 예이다. 임의의 한 색 C의 경우 채도를 증가시킬 때, D색으로 표기될 수 있으나, 임의의 A색의 경우에는 C색과 같은 양의 채도를 증가시킬 때 B로 나타낼 수 있지만, 이는 gamut 밖의 존재하지 않는 색 값이므로 과포화(clipping)를 통해 원하지 않는 위치(색상, 채도, 휘도의 3차원 공간)로 사상될 수 있다. 따라서 올바른 채도 향상을 위해서는 색상별 채도와 휘도의 색역을 파악해서 해당 색역내에서 채도 향상이 이루어져야 한다.

2.2 Normalized YCbCr(NYCbCr) 색 공간

앞서 언급한 일반적인 YCbCr 색 공간에서의 채도를 향상할 때 발생하는 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 NYCbCr 색 공간을 제안한다. 그림 2에서 볼 수 있듯이 밝기와 색상에 따라 다른 색역을 가지는 YCbCr 색 공간을 변환하여 밝기와 색상에 상관없이 동일한 색역을 가지도록 한 것이다.

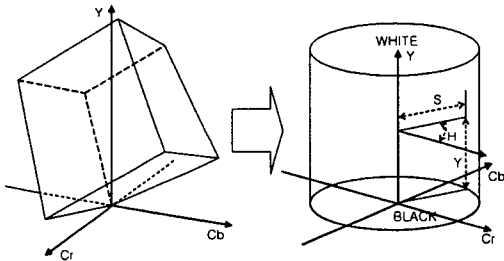


그림 2 YCbCr -> NYCbCr

그림 2의 YCbCr 색 공간을 Cb-Cr 평면으로 정사시해보면 그림 3의 왼쪽과 같은 형태로 나타나는 것을 알 수 있다. 각 Primary 색들 사이는 선형적인 관계로 이루어져 있으므로 주어진 색이 속한 영역을 판단하여 그 영역을 둘러싼 두개의 Primary의 3차원 좌표를 이용하면, 그림 3의 오른쪽과 같은 색 공간으로 변환할 수 있고, 이를 NYCbCr 색 공간으로 명명하였다.

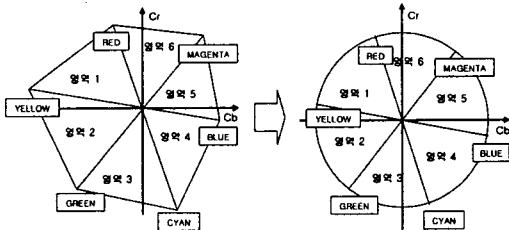


그림 3 YCbCr & NYCbCr 정사영

2.3 변환 세부 알고리즘

YCbCr 색 공간에서의 한 색은 그 밝기와 색상이 동일한 색들 중 경계 값을 이용하여 NYCbCr 색 공간으로 변환할 수 있다. 주어진 한 색(Y, Cb, Cr)과 그 경계 값을 (Y, Cb_{max}, Cr_{max})라 하면 NYCbCr 색 공간에서 수식 1과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}
 Y' &= Y \\
 Cb' &= \frac{Cb}{Cb_{max}} \\
 Cr' &= \frac{Cr}{Cr_{max}}
 \end{aligned}
 \tag{수식 1}$$

주어진 색과 밝기와 색상이 같은 경계 값을 계산하는 자세한 순서는 그림 4에서 나타내었다. YCbCr 색 공간에서 6개의 Primary 색들 사이의 값들은 6 Primary 색들의 공간좌표를 이용하여 3차원 직선과 평면사이의 관계를 이용하여 계산할 수 있다.

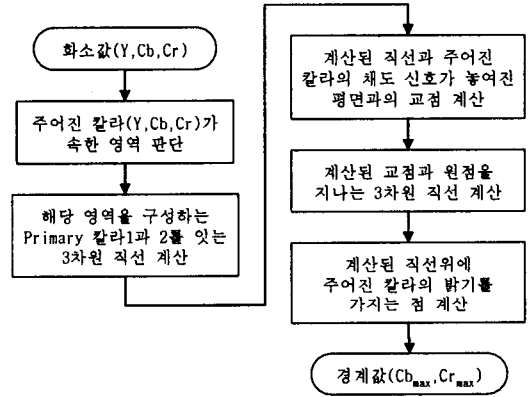


그림 4 경계 값 계산

III. 적응적 채도 향상 방법

이 단락에서는 NYCbCr 색 공간에서 주어진 영상의 채도를 적응적으로 향상시키는 방법에 대해 설명한다.

3.1 적응적 채도 향상 방법

그림 5에 영상의 채도를 적응적으로 향상시키는 방법을 전체 블럭도를 나타내었고, 표 1에서 이를 좀더 자세히 설명하였다.

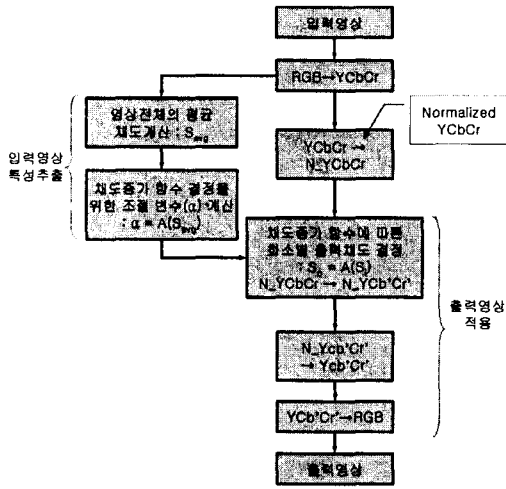


그림 5 적응적 채도 향상 방법 블록도

Step1. 입력 pixel을 구성하는 RGB 신호에서 채도 (Si) 값을 구한다.

Step2. 입력영상의 평균 채도를 구한다.

$$S_{avg} = \frac{1}{NM} \sum_{i=1}^{NM} S_i$$

수식 2

단, 입력영상의 크기는 $N \times M$ 이다.

Step3. 평균 채도를 이용하여 입력영상의 해당 채도 증가함수 결정 인자(a)를 얻는다. 결정 인자(a)는 채도 증가함수를 결정하기 위한 인자로서 입력 영상의 평균 채도에 의해 결정된다.

$$\alpha = A(S_{avg})$$

수식 3

Step4. RGB 색 공간상의 입력 pixel를 NYCbCr 색 공간으로 변환한다.

Step5. NYCbCr 색 공간에서 채도 증가함수를 이용하여 출력 채도 값을 구한다. 채도 증가함수는 아래와 같이 채도 증가함수 결정인자(a)에 의해 결정되는 함수이며, 각 pixel의 채도(Si)을 입력으로 하여 증가된 채도(So)를 출력으로 하는 함수이다.

$$S_o = F(S_i)$$

수식 4

Step6. 증가된 채도(So)와 원래의 밝기(Y)와 색상을 이용하여 향상된 채도의 YCbCr 색 공간에서의 값을 구한 후, 이를 다시 원래의 RGB 색 공간으로 변환한다.

표 1 적응적 채도 향상 방법 세부 단계

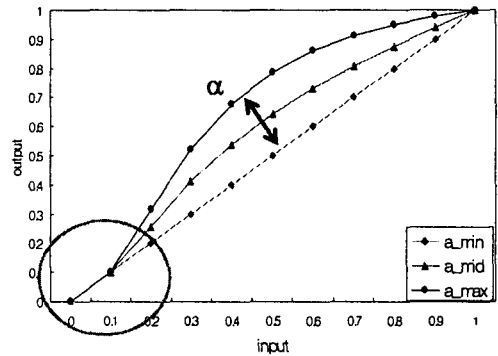
3.2 채도 증가함수

수식 5는 앞 단락에서 설명한 채도 증가함수를 나타내고 그림 6은 그 모양을 나타낸다. 수식 5에서 τ 는 그림 6에서 원으로 표시된 부분으로 채도 증가를 억제

해야 하는 영상의 저채도 영역을 나타낸다.

$$\begin{cases} F(S) = S + \alpha \Delta \\ \Delta = \frac{(1 + \tau)S^2}{\tau + S^2} - S \end{cases} \quad \text{수식 5}$$

입력영상의 평균 채도에 따라 변화하는 a에 의해 채도 증가함수는 적용적으로 변화하게 된다.



IV. 실험 결과

4.1 색상(Hue)과 밝기(Lightness)의 변화 평가

인간의 색차 인지능력은 $CIEL^*a^*b^*$ 색 공간에서 ΔE_{ab} 로 표현할 수 있고, 밝기, 채도, 색상의 의 세 가지 성분으로 구성된 또 다른 색 공간인 LCH 색 공간에서는 수식 6처럼 표현할 수 있다. 이때, 색상과 밝기 변화 척도를 ΔE_{LH} (수식 7)라 정의하면, ΔE_{ab} 에 근거해서 $\Delta E_{LH} > 3$ 인 조건에서 밝기와 색상의 변화를 인지한다고 할 수 있다.

$$\Delta E_{ab} - \Delta C^2 = \Delta L^2 + \Delta H^2 \quad \text{수식 6}$$

$$\Delta E_{LH} = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta H^2} = \sqrt{\Delta E_{ab}^2 - \Delta C^2} \quad \text{수식 7}$$

True color(256×256×256 color)를 제한한 방법을 통해 채도를 향상시킨 결과 수식 8에서 볼 수 있듯이 밝기와 색상에서는 사람이 인지하지 못하는 범위 안에서 변화하는 것을 확인 할 수 있었다.

$$\Delta E_{LH} = 2.47781 < 3 (CIEL^*a^*b^*) \quad \text{수식 8}$$

4.2 결과 영상

아래에서 그림 7과 그림 9는 각각 원 영상을 그림 8과 그림 10은 원 영상을 제한한 방법을 이용하여 채도를 향상시킨 영상을 보여준다. 표 2와 표 3은 각 영상에 대해 처리전과 처리 후의 색을 나타내는 각 성분의 변화를 나타낸다. 앞서 살펴본 것과 같이 주어진 영상의 밝기와 색상은 유지하면서 채도만이 향상된 것을 확인 할 수 있다.

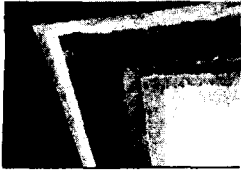


그림 7 원 영상

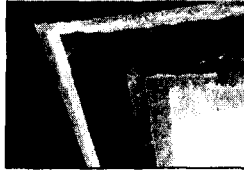


그림 8 채도 향상 영상

Image 1	밝기	채도	색상
원 영상	51.041	19.56	191.561
채도 향상 영상	51.223	24.062	191.750
차이	0.1951	4.496	0.8703

표 2 Image 1에 대한 칼라 성분 비교(그림 7,8)



그림 9 원 영상

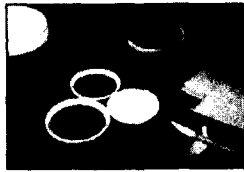


그림 10 채도 향상 영상

Image 2	밝기	채도	색상
원 영상	40.052	21.069	204.402
채도 향상 영상	40.440	25.969	205.670
차이	0.3932	4.899	1.7052

표 3 Image 2에 대한 칼라 성분 비교(그림 9,10)

V. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문에서는 채도를 향상시키면서도 밝기와 색상을 보존하는 방법을 제안하고, 이를 실험적으로 확인하였다. 특히, 채도 증가에 따른 밝기와 색상의 변화는 사람이 인지할 수 없을 정도임을 실험적으로 확인할 수 있었다.

제안한 방법은 주어진 영상을 분석하여 적용적으로 최적의 채도 향상량을 결정하고, 채도 증가를 억제해야 하는 영상의 저채도 부분을 처리하지 않음으로써 최적의 채도를 표현한다. 또한 기존의 비디오 신호에서 사용하는 YCbCr 색 공간을 수정하여 사용함으로써 기타 비디오 신호를 처리하는 다른 알고리즘과의 호환성이 용이하다는 장점을 지닌다.

하지만, 제안한 방법은 표시되는 디스플레이의 특성을 전혀 반영하지 못하고 일률적으로 처리하기 때문에 향후에는 적용되는 디스플레이 디바이스의 특성에 맞는 채도 향상방법에 대한 연구가 진행되어야 한다.

참고문헌

- [1] Lindsay W. MacDonald and M. Ronnier Luo, "Color Imaging, Vision and Technology", John Wiley & Sons LTD, pp. 363-381, 1998
- [2] Christopher C. Yang and Jeffery J. Rodriguez, "Efficient Luminance and Saturation Processing Techniques for Bypassing Color Coordinate Transformations", Proceedings of IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, 1995
- [3] Christopher C. Yang and Jeffery J. Rodriguez, "Saturation Clipping in the LHS and YIQ Color Spaces", Proceedings of IS&T/SPIE International Symposium on Electronic Imaging: Science & Technology - Color Imaging: Device-Independent Color, Color Hard Copy, and Graphic Arts, 1996
- [4] L. Lucchese, J. Mukherjee, and S.K. Mitra "A New Algorithm Based on Saturation and Desaturation in the xy Chromaticity Diagram for Enhancement and Re-rendering of Color Images", ICIP, Vol 2, pp. 1077-1080, 2001.
- [5] B. A. Thomas, R. N. Strickland, and J. J. Rodriguez, "Color image enhancement using spatially adaptive saturation feedback", ICIP, Vol 3, pages 30-33, 1997