

# 색역폭 압축 알고리즘 개발

강병호, 조맹섭

한국전자통신연구원 컴퓨터소프트웨어 기술연구소

e-mail : [bhkang@etri.re.kr](mailto:bhkang@etri.re.kr)

## Color Gamut Compression Algorithm Development

Byoung-Ho Kang, Maeng-Sub Cho

Computer and Software Technology Laboratory

Electronics and Telecommunications Research Institute

### 요 약

특정 칼라 디바이스가 최대한 표현할 수 있는 색공간을 색역 (Color Gamut) 이라 한다. 색역폭 압축 알고리즘이란 색역폭이 큰 (예: CRT 모니터) 디바이스에서 표현되던 이미지 색들을 프린터와 같이 색역폭이 작은 디바이스에서 최대한 일치되는 색이 재현될 수 있도록 하는 알고리즘이다. 본 연구에서는 서로 다른 색역폭을 가진 이미지를 상호 비교함으로써 관찰자 색역 압축 성향을 취합, 분석하는 도구를 개발 22 명의 관찰자로 하여금 실험을 수행하였다. 이 실험으로 도출된 관찰자 데이터를 기반 3 개의 새로운 색역폭 알고리즘을 개발하였다. 이 3 개 알고리즘은 기존 6 개 알고리즘과 11 명의 관찰자를 이용 Pair Comparison 방법을 이용 성능평가, 1 개의 가장 우수한 알고리즘을 도출하였다. 또한 이 알고리즘이 어떠한 디바이스에서도 사용될 수 있도록 알고리즘의 일반화 (Algorithm Generalization) 을 통하여 일반적으로 사용이 가능한 압축 알고리즘도 개발하였다.

### 1. 서론

칼라 이미지 재현에서 색역폭이 큰 원래 미디어 (Original Media) 에서 표현된 칼라가 색역폭이 작은 재현 미디어 (Reproduction Media) 에서도 최대한 일치된 색을 표현할 수 있도록 하는 기술을 색역폭 압축 (Color Gamut Mapping) 기술이라 한다. 이러한 색역폭 압축기술은 크게 Gamut Clipping 과 Gamut Compression 으로 나눌 수 있다<sup>[1]</sup>. Gamut Clipping 이란 재현 미디어 색역폭 외부에 있는 칼라를 제한시키며 Gamut Compression 이란 모든 칼라 벡터를 전체적으로 재현 색역폭 안으로 압축하게 된다. 현재 까지 많은 색역폭 알고리즘이 개발되었으나, 과거 방법론들은 미리 알고리즘을 개발, 기존 알고리즘과 재현물 (Reproduction) 을 가지고 비교함으로써 알고리즘의 성능을 평가하였다. 하지만 관찰자에게 적응적으로 색을 변동시킬 수 있는 가능성을 부여하고 단순 이미지가 아닌 현실에서 많이 볼 수 있는 복잡한 이미지를 대상으로 알고리즘을 개발한 사례는 찾아볼 수 없다.

본 연구 목적은 사용자 칼라일치요구에 최대한 부합하며 현실적으로 광범위하게 사용할 수 있는 색역폭 알고리즘을 개발하는 데 있다. 이 연구는 원영상과 압축된 영상을 동시에 비교하며 사용자가 칼라속성을 자유롭게 변동시키 보다 정밀한 데이터를 취득할 수 있도록 하는 도구 개발, 상기 도구를 이용한 관찰자 실험, 관찰자 실험에 의해 도출된 데이터를 기반으로

알고리즘 개발, 알고리즘 성능을 평가하기 위한 Pair Comparison 실험, 실험에서 가장 높은 평가를 받은 알고리즘을 이용하여 광범위하게 사용될 수 있는 압축 알고리즘 (Generally Usable Gamut Compression Algorithm: GUGCA) 개발, GUGCA 의 성능평가로 나누어져 있다.

### 2. 실험도구 개발 (Interactive Tool Development)

첫번째 실험에서는 관찰자들에게 두개의 이미지가 주어졌다. 첫번째 이미지는 모니터 색역폭 안에 존재하는 원래 이미지 (Original Image)이고 두번째 이미지는 프린터 색역폭 안에 있는 재현 이미지 (Reproduction Image)이다. 재현 이미지는 선형 Lightness Compression 과 Chroma Clipping 알고리즘 (LCLIP)을 이용하여 계산된다. 관찰자는 실험 도구를 이용, 최대한 재현의 이미지의 전체적인 색 (Color Appearance)가 원래 이미지와 같도록 조정을 가한다<sup>[2]</sup>.

즉 개발된 도구는 모니터상에서 재현 이미지 색을 최대한 조정할 수 있는 가능성을 제공한다. 즉 화소의 색이 속한 칼라속성을 분리, 각 색 속성 (Color Attributes) 을 조정한다. 사용 칼라공간은 CIE LAB 공간이나 손쉽게 다른 공간 예를 들어 CIE CAM97s 등도 대체가 가능하게 개발되었다. 이 도구는 크게 두개의 영역을 포함하고 있다. 첫번째는 Color Region Selector



이러한 패턴을 이용 2 번째 알고리즘이 개발되었고, 이는 아래 스텝 으로 구성되어 있다.

[STEP 1] Lightness Mapping

Lightness Mapping 함수는 원영상과 재현영상간의 Lightness 관계를 분석함으로 도출되었다. 이러한 관계는 입력 미디어 (실험에서 CRT 모니터) 와 출력 (실험에서 프린터) 미디어의 Lightness 의 최소, 최대값과 중간에서 현저히 기울기가 바뀌는 점을 Interpolation 하는 값으로 정하였다.

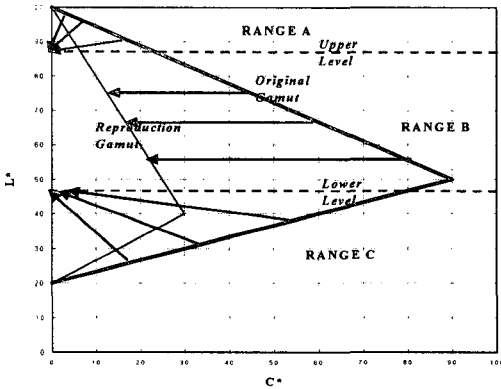


그림 2: 3 가지 압축패턴

if  $L^*Min,o \leq CL^*o < L^*Min,o + ((16.9/A) (L^*Max,o - L^*Min,o))$

$$L_r^* = \left[ L_{Min,r}^* + \frac{1.8}{A} (L_{Max,r}^* - L_{Min,r}^*) \right]$$

$$- \frac{10.65}{A} \left[ (L_{Min,o}^* - L_o^*) + \frac{16.9}{A} (L_{Max,o}^* - L_{Min,o}^*) \right] \left[ \frac{(L_{Max,r}^* - L_{Min,r}^*)}{(L_{Max,o}^* - L_{Min,o}^*)} \right]$$

else if  $(L^*Min,o + (16.9/A) (L^*Max,o - L^*Min,o)) \leq CL^*o < L^*Max,o$

$$L_r^* = L_{Max,r}^* - 1.18 \left( L_{Max,o}^* - L_o^* \right) \left( \frac{L_{Max,r}^* - L_{Min,r}^*}{L_{Max,o}^* - L_{Min,o}^*} \right) \quad (2)$$

여기에서 o 와 r 은 원래 미디어와 재현미디어를 각각 의미한다.

[STEP 2] Convergent Point 결정

24 개의  $L^*-C^*$ 상의 칼라벡터를 조사해 본 결과 2 개의  $L^*$  상의 수렴점이 아래와 같이 결정되었다. 이 수렴점 중간의 영역은  $C^*$ 축과 평행하게 압축이 수행된다 (그림 2 참조).

<Lower convergent point>

If original medium cusp's  $L^* \leq 30$  then lower convergent point is 31.54 ( $L^*$ )

Otherwise

Lower convergent point =  $19.42 + 0.404 \times \text{original cusp's } L^*$

<Upper level convergent point>

If original medium cusp's  $L^* \leq 49$  then upper convergent point is 70.12 ( $L^*$ )

Otherwise

Upper convergent point =  $49.297 + 0.425 \times \text{original cusp's } L^*$

[STEP 3] Chroma Mapping

전체 색역의 Chroma 를 선형으로 압축하고 원래 미디어 색역 Cusp 의 Chroma 수치 의 17%되는 점을 1.90 배 확장하고 주변의 Chroma 는 Interpolation 방법을 사용 보장한다.

6. 알고리즘 3 개발 (Algorithm 3 Development)

알고리즘 2 는 그 사용에 있어 낮은 Lightness 영역에서 Artifacts 가 발생하는 문제점이 발견되었다. 이 문제점들을 보완키 위하여 Step2 와 Step3 가 아래와 같이 수정되었다.

<Lower convergent point>

If original medium cusp's  $L^* \leq 30$  then lower convergent point is 28 ( $L^*$ )

Otherwise

Lower convergent point =  $45 \times (\text{original cusp's } L^*/100)^2 - 2.8(\text{original cusp's } L^*/100) + 24.8$

<Higher convergent point>

If original medium cusp's  $L^* \leq 30$  then lower convergent point is 75 ( $L^*$ )

Otherwise

Lower convergent point =  $67 \times (\text{original cusp's } L^*/100)^2 - 51.97(\text{original cusp's } L^*/100) + 84.8$

[STEP 3]

$$C_{compressed} = -1 \times \left( \frac{7.8}{B} \right) \times (C^*)^2 + \left( \frac{122.78}{B} \right) \times (C^*) + 3.409 \quad (3)$$

B=1000 (constant)

7. 2 차 실험 (The Second Experiment)

12 명의 관찰자가 2 차 실험에 참가하였다. 또한 1 차 실험에서 사용된 테스트 이미지가 사용되었다. 상기 개발된 3 개의 새로운 알고리즘이 6 개의 기존 많이 사용되는 색역폭 압축 알고리즘들 (LCLIP, LCUSP, GCUSP, LLIN, CLLIN, SLIN)과 비교되었다<sup>[3]</sup>. 또한 실험 1 에서 관찰자들에 의하여 최종적으로 조정된 평균영상도 실험대상에 포함되었다. 우선 원본 영상을 보여 주고 20-30 초후 두개의 서로 다른 알고리즘으로 나온 재현물을 보여주어서 어느것이 더 원본영상의 칼라와 일치하는 지를 판별하는 Pair Comparison 방법이 이용되었다. Thurstone's Law of Comparative<sup>[4]</sup> 에 의해 계산된 전체적 Accuracy Score 는 그림 3 과 같다. 여기에서 Accuracy Score 가 높으면 그만큼 그 알고리즘은 원영상과의 칼라일치도가 높은 것이다.

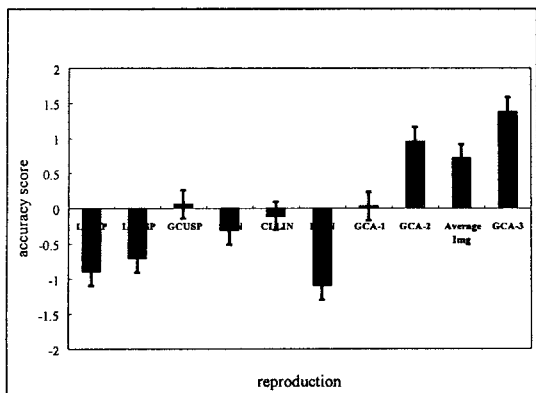


그림 3: 실험 2의 결과 (Accuracy Score)

전체적인 Accuracy Score (Overall Accuracy Score) 및 각 테스트 이미지와 칼라영역을 분석해본 결과 새로 개발된 알고리즘들 (GCA-1, 2, 3)이 칼라일치 성능에 있어 기존 알고리즘들에 비하여 월등하다는 것이 발견되었다. 또한 새로 개발된 알고리즘 중에서도 GCA-3는 관찰자 평균영상 (그림 3에서 Average Img) 보다도 칼라 일치도에 있어서 우수한 것으로 분석되었다. 따라서 이 GCA-3를 기반으로 일반적으로 사용될 알고리즘 (GUGCA)가 개발되었다.

**8. 일반적으로 사용되는 알고리즘 개발 (Generally Usable Gamut Compression Algorithm Development)**

2차실험의 결과로 도출된 GCA-3의 단점은 만일 다른 칼라 디바이스의 색역이 사용되었을 경우 동일한 칼라일치 성능을 제공할 수 없을 가능성이 있다는 것이다. 이러한 단점을 보완키 위해 아래와 같이 일반적으로 사용되는 알고리즘 (GUGCA: Generally Usable Gamut Compression Algorithm) 이 개발되었다.

**[STEP 1] Lightness Compression**

이 계산법은 GCA-2와 동일.

**[STEP 2] Convergent Point Determination.**

**- Upper Level**

if  $L < K_0$  then Upper convergent point is  $f(K_0)$   
otherwise

$$upper\ point = f(x) = 45 \times \left( \frac{(x - K_0)}{100} \right)^2 + K_1$$

**-Lower Level**

if  $L > K_1$  then Upper convergent point is  $g(K_1)$   
otherwise

$$g(x) = 45 \times \left( \frac{x}{100} \right)^2 - 2.8 \times \left( \frac{x}{100} \right) + k_2$$

x: 원래색역 Cusp 의 Lightness

$K_0$ : lowest lightness values in the cusps' lightness of six primary and secondary reproduction gamuts

$K_1$ : mean of lightness values of six primary and secondary

reproduction gamuts 1.40

$K_2$ : lowest lightness of reproduction gamut

[STEP 3] re-compress lightness and chroma simultaneously

$$d_3 = 1.12 \times \left( \frac{d_1 \times d_2}{d_0} \right) \tag{4}$$

where

$d_0$ : Distance between convergent point and original media's gamut boundary

$d_1$ : Distance between convergent point and original colour

$d_2$ : Distance between convergent point and reproduction media's gamut boundary

$d_3$ : Distance between convergent point and compressed point.

**9. 3차 실험 (The Third Experiment)**

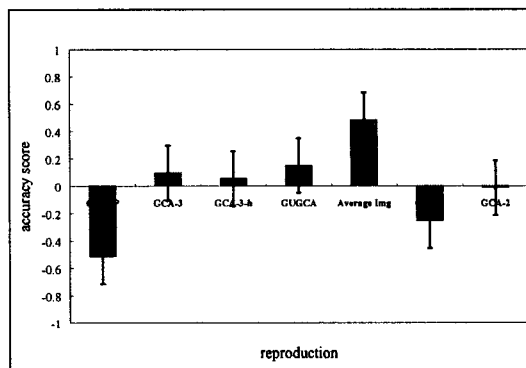


그림 4: 3차 실험 결과 (Accuracy Score)

3차실험은 새로이 개발된 GUGCA의 칼라매칭성능을 실험 2에서 비교적 우수한 성능을 보인 5개의 알고리즘과 관찰자 평균영상과 비교하였다. 그림 4에서 보이는 것과 같이 GUGCA의 칼라일치성능은 여타 알고리즘에 비하여 뒤떨어지지 않는 것으로 분석되었다.

**참고문헌**

- [1] J. Morovic, *To Develop a Universal Gamut Mapping*, Ph.D. Thesis, University of Derby, UK (1998).
- [2] B. H. Kang, M. S. Cho, J. Morovic, and M. R. Luo, Gamut compression algorithm development using observer experimental data, *Proceedings of the 7th IS&T/SID Color Imaging Conference*, pg. 295-300. (1999).
- [3] J. Morovic, and M. R. Luo, Gamut mapping algorithms based on the psychophysical experiments, *Proceedings of the 5th IS&T/SID Color Imaging Conference*, pg. 24-49. (1994)
- [4] L. L. Thurstone, A law of comparative judgement, *Psychology Review* 34:273-286 (1927).