

**최소자승법을 이용한 실시간 색역폭 사상 기법의
Look up table 최적화에 관한 연구**

김주영, 이학성, 한동일*
세종대학교 전자공학과, 컴퓨터공학과*

**Study on optimization of real-time color gamut mapping method
using Least Square Method**

Joo-Young Kim, Hak-Sung Lee and Dong-il Han*
Department of Electronics Engineering, Computer Engineering*, Sejong University

Abstract - 색역폭 사상은 디스플레이 장치간의 색재현성 차이를 보정하는 하나의 방법이다. 일반적으로 실시간 색역폭 사상은 3차원 Look-Up Table과 3차원 보간기로 구성되고 3차원 보간기의 성능은 3차원 Look-Up Table에 의해 결정된다. 본 논문에서는 실시간 색역 사상에 사용되는 3차원 Look-Up Table을 Least Square Method(최소자승법)를 이용하여 최적화하고자 한다. 시뮬레이션 결과 제안된 방법에 의해 생성된 Look-Up Table이 기존의 방법에 비해 우선된 색 재현 성능을 갖는다.

는 색역 사상에 사용되는 3차원 보간기의 성능을 개선하고자 3차원 Look-up Table을 최적화 하고자 한다. 제안된 방식은 off-line으로 수행된 색역폭 사상 결과를 이용하여 3차원 Look-up Table을 Least Square 관점에서 최적화 하는 방식으로 구성되어 있다.

1. 색역폭 사상

색역폭 사상(Color Gamut Mapping)은 컬러를 표현하는 장치간의 색 재현 특성 차이를 보정하는 기술로서 PC용 모니터와 프린터 사이의 색재현성을 보정하는 연구가 많이 이루어지고 있다. 그러나 최근에는 기존의 CRT외에 LCD, 유기 EL, PDP, DLP projection과 같이 여러 종류의 디스플레이 정체가 개발됨에 따라 이중 디스플레이 장치간의 색 재현성 문제가 새롭게 대두되고 있다. 입력 영상을 이중 디스플레이 디바이스를 이용하여 재현하게 되면 각각의 컬러 영상은 서로 다른 색으로 표현하게 된다. 이는 시야각 및 주변광, 디바이스의 비선형적 특성, 색역폭의 차이 등 여러 경우가 영향을 주게 되어서 발생한 결과인데, 이중 이중 디스플레이 디바이스간의 색역폭 차이가 가장 큰 요인으로 작용한다.

이와 같은 컬러 디스플레이 장치간의 색재현 특성차이를 보정하고자 하는 여러 색역폭 사상방법이 제안되었다. Lindsay 등[7]은 source gamut boundaries와 destination gamut boundaries의 차이를 기하학 측면에서 영역을 구분 연결하여 색영역 압축, 팽창방법을 이용하여 색 재현 차이를 보정하는 Topographic 영역 사상을 제안하였다. 또한 H. Büring 등[8]은 source장치와 destination 장치간의 명암영역의 크기를 clipping을 이용한 관계 명암 변화(Relative Lightness Change)방법을 사용하여 색재현차를 보정하는 방법을 제안하였다.

한편 이와 같이 제안된 색역폭 사상 기법이 컬러 디스플레이 장치에 적용되기 위해서는 그림.1에서와 같이 균등 색 공간인 CIE Lab 색공간으로 변환과 변환된 색공간에서의 색역 사상이 수행되어야 한다. 그러나 색 공간 변환 및 색역 사상은 매우 비선형이고 복잡하므로 동영상등과 같은 실시간 처리에는 적합하지 않다. 이러한 어려움을 극복하기 위해 최근 Han은 3차원 보간기를 이용한 실시간 색역 사상을 제안한 바 있다[1][9]. 제안된 방식은 색역 사상을 off-line으로 수행하고 이를 3차원 Look-Up Table로 저장하고 이 3차원 Look-Up Table을 이용하여 3차원 보간을 수행하는 방식으로 구성되어 있다.

한편, 이러한 3차원 보간기의 성능은 보간에 사용되는 3차원 Look-Up Table에 의해 결정된다. 본 논문에서

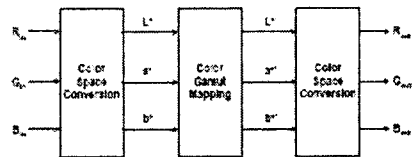


그림 1. 일반적인 색역폭 사상 방법
Figure 1. Gamut Mapping Process

2. 3차원 보간기를 이용한 실시간 색역폭 사상

3차원 색역폭 사상을 실시간으로 수행하는 간단한 방법으로 모든 입력 RGB 신호에 대해 색역폭 사상이 수행된 출력 RGB 값을 저장한 3-D Look-up Table을 이용하는 방식을 들 수 있다. 그러나 이 방법은 실제 구현에 있어서는 256×256×256×3 바이트의 저장공간이 필요하며 이를 ASIC으로 구현 시 약 5억 게이트의 하드웨어를 필요로 하기 때문에 구현이 어렵다.

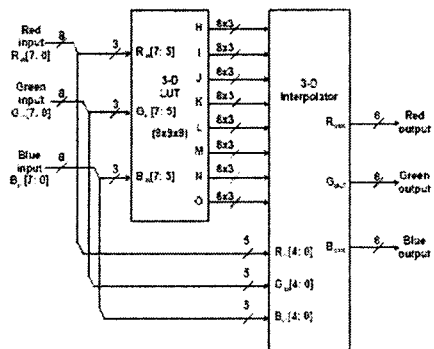


그림. 2 색역 사상을 위한 3차원 보간기의 구조
Figure 2. Structure of 3-D Interpolator for Color Gamut Mapping

이와 같은 어려움을 극복하기 위해 Han은 3차원 보간기를 이용한 실시간 색역 사상을 제안한 바 있다[1][9].

그림.2는 Han이 제안한 색역폭 사상을 위한 3차원 보간기의 구조를 나타낸다. 그림.2에서 3-D LUT는 3차원 Look-up Table을 나타내며 RGB 신호의 상위 3 bit에 대응되는 출력 값을 저장하고 있다. 3-D Interpolator에서는 이 3차원 Look-up Table과 RGB 신호의 하위 5 bit를 이용하여 3차원 보간을 수행하여 최종 출력 RGB 신호를 생성한다. 그림.2에서 사용되는 3차원 Look-up Table의 크기는 9x9x9x3 바이트가 되어 하드웨어의 양을 대폭 줄일 수 있으며 또한 3차원 보간이 수행되는 3-D Interpolator는 간단한 덧셈, 곱셈 및 shift 연산을 통해 구현이 되므로 실시간 처리에 매우 적합한 구조이다.

3. Least Square 방법을 이용한 3차원 Look-up Table의 최적화

2절에서 설명된 실시간 색역폭 사상을 위한 3차원 보간기의 성능은 결국 입력 RGB신호의 상위 3 bit에 대응되는 3차원 Look-up Table에 의해 결정된다. 본 절에서는 Least Square 방법을 이용하여 이 3차원 Look-up Table의 최적화를 수행하고자 한다. 이를 위해 2절의 3차원 보간 과정을 그림.3에 도식화 하였다. 그림.3에서 6면체의 각 모서리 점, H, I, \dots, N, O 는 3차원 Look-up Table에 지정된 입력 RGB 신호의 상위 3 bit에 대응되는 색역폭 사상 출력 RGB 신호를 나타내고 6면체 내부에 있는 점 p 는 3차원 보간의 결과를 나타낸다. 입력 RGB 신호의 하위 5bit의 신호를 다음과 같이 정의 하자.

$$r = R[4:0], \quad g = G[4:0], \quad b = B[4:0] \quad (1)$$

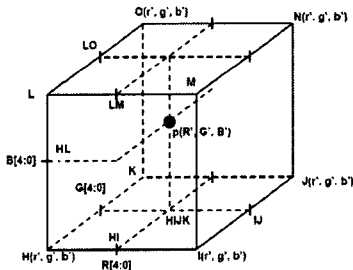


그림 3. 3차원 보간

Figure 3. 3-D interpolation

이때 3차원 보간된 점 p_{RGB} 는 다음과 같이 구해진다.

$$\begin{aligned} p_{RGB} = & H \frac{(32-r)(32-g)(32-b)}{32^3} + I \frac{r(32-g)(32-b)}{32^3} \\ & + K \frac{(32-r)(32-g)b}{32^3} + J \frac{r(32-g)b}{32^3} \\ & + L \frac{(32-r)g(32-b)}{32^3} + M \frac{rg(32-b)}{32^3} \\ & + O \frac{(32-r)gb}{32^3} + N \frac{rgb}{32^3} \\ = & H \cdot h_{RGB} + I \cdot i_{RGB} + \dots + O \cdot o_{RGB} \end{aligned} \quad (2)$$

이 보간 결과에 대해 원래의 색역 사상 결과를 P_{RGB} 라 하면 보간 결과에 대한 오차는 다음과 같다.

$$E = \sum_{R,G,B} (P_{RGB} - p_{RGB})^2 \quad (3)$$

위 식을 그림.3의 각 꼭지점에 대해 편미분을 하면 다

음과 같다.

$$\begin{aligned} \frac{\delta E}{\delta H} &= 2 \sum_{R,G,B} (P_{RGB} - p_{RGB}) h_{RGB} \\ \frac{\delta E}{\delta I} &= 2 \sum_{R,G,B} (P_{RGB} - p_{RGB}) i_{RGB} \quad (4) \\ &\dots \\ \frac{\delta E}{\delta O} &= 2 \sum_{R,G,B} (P_{RGB} - p_{RGB}) o_{RGB} \end{aligned}$$

3차원 Look-up Table의 최적화를 위해 식 (4)의 각 식을 0으로 놓고 이를 그림.3의 모서리점 H, I, \dots, N, O 에 대해 정리하면 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} \sum P_{RGB} \times h_{RGB} \\ \vdots \\ \sum P_{RGB} \times h_{RGB} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum h_{RGB} \times h_{RGB}, \dots, \sum h_{RGB} \times o_{RGB} \\ \vdots \\ \sum o_{RGB} \times h_{RGB}, \dots, \sum o_{RGB} \times o_{RGB} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} H \\ I \\ J \\ K \\ L \\ M \\ N \\ O \end{bmatrix} \quad (5)$$

따라서 (3)을 최소화하는 최적의 H, I, \dots, N, O 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} H \\ I \\ J \\ K \\ L \\ M \\ N \\ O \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum h_{RGB} \times h_{RGB}, \dots, \sum h_{RGB} \times o_{RGB} \\ \vdots \\ \sum o_{RGB} \times h_{RGB}, \dots, \sum o_{RGB} \times o_{RGB} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \sum P_{RGB} \times h_{RGB} \\ \vdots \\ \sum P_{RGB} \times h_{RGB} \end{bmatrix} \quad (6)$$

식 (6)을 3차원 Look-up Table 전체에 적용하게 되면 원래의 색역폭 사상에 대해 오차 최소화되는 3차원 Look-up Table을 얻게 된다.

4. 모의 실험

3절에서 제안된 기법을 CRT에서 PDP로의 색역폭 사상에 적용하였다. 표 1은 본 모의 실험에 사용된 색역폭 사상 데이터를 보여주고 있다.

표 1. 색역폭 사상 데이터

Table 1. Gamut Mapping Data

Input RGB CRT			Output RGB PDP		
R	G	B	R	G	B
0	0	0	2	27	0
0	0	7	4	26	7
0	0	15	7	25	15
0	0	23	10	23	23
0	0	31	13	22	31
0	0	39	11	21	39
0	0	47	8	20	47
0	0	55	5	18	55
...
255	255	255	243	255	255

표 1.의 색역폭 사상 데이터와 식(6)을 이용하여 3차원 Look-up Table을 최적화 하였다. 표 2는 기존의 3차원 Look-up Table을 이용한 보간 결과와 제안된 방식에 의한 보간 결과에 대한 보간 오차를 나타낸다. 표 2에서 알 수 있듯이 제안된 방식으로 구성된 3차원 Look-up

Table이 오차면에서 상당한 개선을 보이고 있다.

표 2. 보간 오차 비교
Table 2. Comparison of Interpolation Error

		R		G		B	
		기존	proposed	기존	proposed	기존	proposed
RMSE		1.8257	1.2528	2.9863	1.7084	4.6401	3.5706
		5.4815	3.3453	3.152	1.6335	3.555	1.623
		12.582	7.5562	3.9627	2.3444	3.1426	1.0768
		⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
		⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
		6.5838	5.1335	5.2354	3.0533	20.405	12.617
		6.2885	4.5101	4.853	2.7796	6.8157	4.3444
		1.8257	1.2528	2.9863	1.7084	4.6401	3.5706
평균	4.629702	2.873387	2.88336	1.650708	4.997989	3.198356	

그림 4는 제안된 방식으로 구한 3 차원 Look-up table을 이용한 색역폭 사상 결과를 보여주고 있다. 3차원 보간을 수행하더라도 원래의 색역폭 사상결과와 거의 차이가 없이 색역 사상이 수행된 것을 알 수 있다.



(a)



(b) (c)

그림 4. 색역폭 사상 결과
(a)입력 이미지 (b) 색역폭 변환 (c) 3차원 보간

Figure 4. Results of Gamut Mapping
(a) Input Image (b) Gamut Mapped (c) 3-D Interpolation

5. 결 론

실시간 색역폭 사상을 구현하기 위해서는 3차원 Look-up table을 이용한 3 차원 보간기의 사용이 경제적이고 매우 효과적이다. 그러나 이러한 보간기를 사용하였을 경우 보간의 의한 오차가 존재하며 결국 보간기의 성능은 3차원 Look-up table에 의해 결정된다. 본 논문에서는 3차원 보간기에 사용되는 3차원 Look-up table을 Least Square 방법을 이용하여 최적화 하는 방법을 제안하였다. 제안된 방법으로 색역폭 사상의 결과의 정확성을 높일 수 있었고 따라서 좀더 향상된 색 재현성을 구현 할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 특장기초연구(R01-2003-000-107 85)지원으로 수행되었음.

[참 고 문 헌]

- [1] D.Han, "Digital TV Display quality Enhancement Method Based on the color gamut mapping", Proceedings of IEK summer conference 2003, Vol. 26, No. 1, pp. 1779~1782, 2003.
- [2] J. Morovic, "Color gamut mapping," in Colour Engineering, Achieving Device Independent Colour, G. p and L. MacDonald, Eds. John Wiley & Sons, 2002
- [3] H. Buring and p. Herzog, "Gamut mapping along curved line," in Colour Image Science, L. MacDonard and M. Luo Eds. John Wiley & Sons, pp. 343-353, 2002
- [4] K. Kanamori and H. Kotera, "Color correction technique for hard copies by 4-neighbors interpolation method," Journal of imaging Science and Technology
- [5] H. Chen, H. Kotera, "3-Dimensional Gamut a Mapping Method Based on the Concept of Image Dependence", J.of IS&T, Vol. 46, no. 1, pp.44~52, 2002.
- [6] B. H. Kang, M. S. Cho, J. Morovic and M. R. Luo, "Gamut Compression Algorithm Development on the Basis of Observer Experimental Data", proc. 8th IS&T/SID Color Imaging Conf. IS&T, Springfield, VA 1999, pp.268~272.
- [7] Lindsay MacDonald, Jan Morovic, Kaida Xiao, "A topographic gamut mapping algorithm", pp.291~317, Colour Image Science, Exploiting Digital Media, MacDonald, Lindsay W. / Luo, M. Ronnier (eds.), 1. Edition, 2002, John Wiley & Sons
- [8] H. Buring, Patrick G. Herzog, "Gamut Mapping along Curved Lines", pp. 343-353, Colour Image Science, Exploiting Digital Media, MacDonald, Lindsay W. / Luo, M. Ronnier (eds.), 1. Edition, 2002, John Wiley & Sons
- [9] 한동일, "색역폭 매핑을 이용한 디지털 TV 디스플레이 장치의 화질 개선", 대한전기공학회 하계종합 학술 대회, 제 26권 제 1호, pp1779-1782, 2003.