

사면체 보간을 이용한 실시간 색역폭 사상

권도형, 이학성, 한동일*
 세종대학교, 전자공학과, 컴퓨터공학과*

Study on Real Time Color Gamut Mapping
 Using Tetrahedral Interpolation

Do-Hyung Kwon, Hak-Sung Lee, Dong-il Han
 Department of Electronics Engineering, Sejong University

Abstract - 색역폭 사상은 디스플레이 장치간의 색재현성 차이를 보정하기 위한 기법이다. 본 논문에서는 사면체 보간에 의한 실시간 색역폭 사상을 제안하고자 한다. 기존의 제안된 육면체 보간 방식에 비해 이 논문에서 제안된 사면체 보간(tetrahedral interpolation) 방법은 색공간의 분할을 통해 분할된 각각의 사면체 색 공간에서 색역폭 사상이 수행됨으로서 왜곡이 감소되고 육면체 보간이 8개의 룩업테이블을 사용하는데 비해 4개의 룩업 테이블을 사용함으로써 실시간 처리속도의 향상과 하드웨어의 구현 시 비용절감을 기대할 수가 있다.

1. 서 론

일반적으로 칼라 디스플레이 장치는 제한된 범위의 색만을 표현할 수 있는데 장치가 표현할 수 있는 색 영역을 장치의 색역(color gamut)이라고 한다. 한편 칼라 디스플레이 장치들은 각 장치마다 색을 재현하는 원리가 다르므로 각 장치간의 색역의 차이가 발생한다. 이로 인해 동일한 컬러 신호에 대해서 서로 다른 색 재현성을 보인다. 이러한 장치 간의 색 재현성 차이를 보정하기 위한 방법이 색역폭 사상(color gamut mapping)이다.

과거에는 모니터와 프린터 사이의 색역폭 사상[1~4]에 관한 연구가 활발히 진행되었다. 하지만 최근에는 디지털 TV 방송의 시작과 고해상도 디스플레이 장치의 보급확대로 디스플레이 장치들에 대한 연구 개발이 이루어지고 있다. 그러나 새롭게 개발되는 디스플레이 장치들의 화질이 기존의 CRT 디스플레이 장치의 성능에 못미치고 있기 때문에 이들의 화질 개선을 위한 실시간 색역폭 사상의 필요성이 대두되고 있다.

한편, 대부분의 색역폭 사상 기법은 비선형적인 특성 가지고 있기 때문에 디스플레이 장치에 실시간으로 적용되기 어렵다. 이를 위해 최근에 육면체 보간을 이용한 실시간 색역폭 사상이 제안되었다[5][6]. 제안된 방식은 색역 사상을 off-line으로 수행하고 이를 3차원 Look-Up Table로 저장하고 이 3차원 Look-Up Table을 이용하여 육면체 3차원 보간을 수행하는 방식으로 구성되어 있다.

본 논문에서는 사면체 사상을 이용한 실시간 색역폭 사상을 제안한다. 사면체 보간을 이용한 실시간 색역폭 사상은 선형보간을 이용하기 때문에 선형 역변환이 가능하고 4개의 보간 데이터만을 이용함으로써 8개의 보간 데이터를 이용한 육면체 보간 기법 보다 실시간 처리속도 향상과 하드웨어 구현시 비용절감을 기대할 수가 있다.

2. 육면체 보간을 이용한 실시간 Gamut Mapping

육면체 보간은 8개의 보간 데이터들을 이용하여 그 내부의 임의의 점 P에 대한 보간을 식(1)과 같이 수행한다.

$$P = \frac{1}{V_T} \sum_{i=0}^7 V_i P_i \quad (1)$$

여기서 P_i 는 8개의 보간 데이터를 나타내고, V_T 는 육면체의 체적을 V_i 는 P_i 에 대응하는 육면체의 체적을 나타낸다.

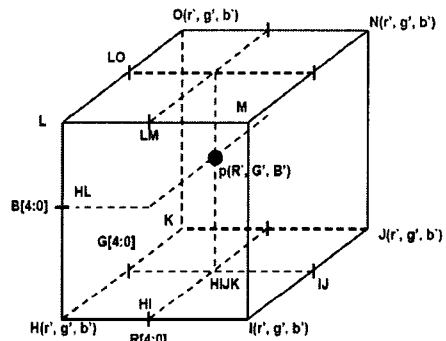


그림1. 육면체 보간

예를 들어 그림 1에서처럼 각 축을 균등하게 Δ 로 분할된 육면체에 대한 보간식은 식(2)와 같다.

$$P = H \frac{(\Delta-r)(\Delta-g)(\Delta-b)}{\Delta^3} + I \frac{r(\Delta-g)(\Delta-b)}{\Delta^3} + K \frac{(\Delta-r)(\Delta-g)b}{\Delta^3} + J \frac{r(\Delta-g)b}{\Delta^3} + L \frac{(\Delta-r)g(\Delta-b)}{\Delta^3} + M \frac{rg(\Delta-b)}{\Delta^3} + O \frac{(\Delta-r)gb}{\Delta^3} + N \frac{rgb}{\Delta^3} \quad (2)$$

(when $r = R(4:0)$, $g = G(4:0)$, $b = B(4:0)$)

육면체 보간을 이용한 실시간 색역폭 사상은 그림 2와 같은 구조를 가진다. 그림 2에서 8비트 입력 영상 데이터의 상위 3비트는 3차원 색변환 데이터를 저장하는 3차원 룩업 테이블을 거쳐 3차원 변환 데이터로 출력된다. 출력된 3차원 변환 데이터(H'O)는 8개의 정육면체 꼭지점에 해당하고 상기 입력 영상 데이터의 하위 5비트에 대응하는 3차원 칼라 데이터를 이용하여 3차원 보간을 수행한다. 식(2)에서 알 수 있듯이 3차원 보간은 간단한 덧셈, 곱셈 및 shift 연산을 통해 구현이 되므로 실시간 처리에 매우 적합한 구조이다.

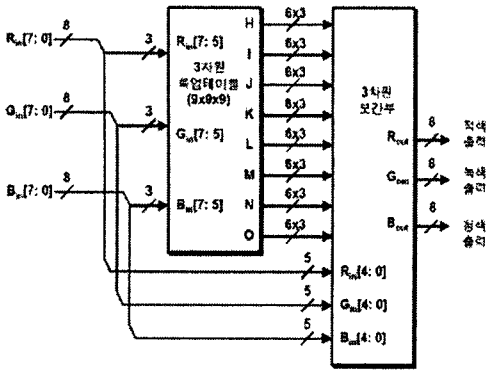


그림 4. 육면체 사상을 이용한 실시간 색역폭 사상의 구조

3. 사면체 보간을 이용한 실시간 Mapping

3.1 사면체 보간

사면체 보간은 4개의 보간 데이터들을 이용하여 그 내부의 임의의 점 P 에 대한 보간을 식(3)과 같이 수행한다.

$$P = \frac{1}{V_T} \sum_{i=0}^3 V_i P_i \quad (3)$$

여기서 P_i 는 4개의 보간 데이터를 나타내고, V_T 는 전체 사면체의 체적을 V_i 는 P_i 에 대응하는 사면체의 체적을 나타낸다. 입방체를 사면체로 분할하는 방법으로 본 논문에서는 그림 3에 표시된 방법을 사용한다.

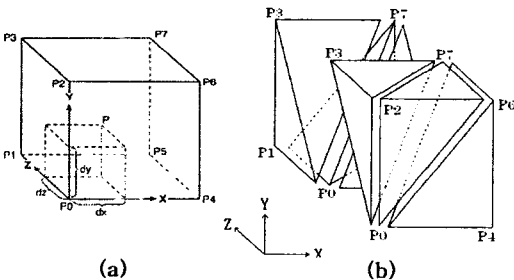


그림 3. 사면체 분할법

그림 3의 분할법을 사용한 사면체 보간은 6개의 사면체가 P_0 와 P_7 를 공유하여 분할되므로 연산에 필요한 변수를 줄여줌으로써 계산의 복잡도를 줄여주고, 표1에서 처럼 조건 상태에 따라 각각의 사면체에 대해서 계산이 이루어지게 되어 육면체 보간에 비해 보간의 정확도와 효율성을 높일 수가 있다. 또한 사면체 보간은 육면체 보간에 비해 절반의 연산만 수행함으로써 데이터의 고속 처리를 필요로 하는 실시간 Mapping에서 유용하게 사용될 수가 있고 선형으로 보간을 수행하기 때문에 선형 역 변환도 가능할 수 있게 해준다.

그림 3(a)에서 dx , dy , dz 를 P_0 로부터 P 까지의 거리라고 하고, 각 축을 Δ 로 균등하게 분할한 경우 P 를 출력 영상 데이터 값이라 하자. 이 때, dx , dy , dz 의 값에 따라 분할된 사면체의 종류가 결정된다. 예를 들어 $dz > dx \geq dy$ 인 경우 그림 4의 사면체5가 선택되고 이때의 보간 식은 식(4)와 같다.

$$P = ((\Delta - dx)P_0 + (dz - dy)P_5 + (dx - dz)P_4 + dyP_7) / \Delta \quad (4)$$

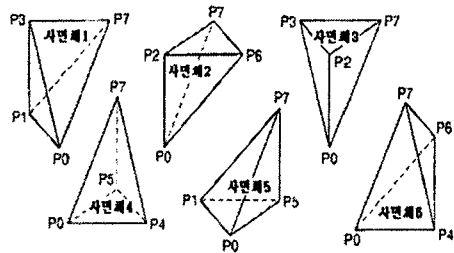


그림 4. 분할된 사면체

표 1. 사면체 보간

Case	Interpolation Equation
사면체 1 $dz \geq dy > dx$	$P = \frac{(\Delta - dz)P_0 + (dy - dx)P_3}{\Delta} + \frac{(dz - dy)P_1 + dxP_7}{\Delta}$
사면체 2 $dy > dx > dz$	$P = \frac{(\Delta - dy)P_0 + (dx - dz)P_6}{\Delta} + \frac{(dy - dx)P_2 + dzP_7}{\Delta}$
사면체 3 $dy > dz \geq dx$	$P = \frac{(\Delta - dy)P_0 + (dz - dx)P_3}{\Delta} + \frac{(dy - dz)P_2 + dxP_7}{\Delta}$
사면체 4 $dx \geq dz > dy$	$P = \frac{(\Delta - dx)P_0 + (dz - dy)P_5}{\Delta} + \frac{(dx - dz)P_4 + dyP_7}{\Delta}$
사면체 5 $dz > dx \geq dy$	$P = \frac{(\Delta - dz)P_0 + (dx - dy)P_5}{\Delta} + \frac{(dz - dx)P_1 + dxP_7}{\Delta}$
사면체 6 $dx \geq dy \geq dz$	$P = \frac{(\Delta - dx)P_0 + (dy - dz)P_6}{\Delta} + \frac{(dx - dy)P_4 + dzP_7}{\Delta}$

표 1은 dx , dy , dz 의 값에 따른 사면체 보간식을 나타낸다. 식(2)와 비교하여 볼 때, 사면체 보간의 경우가 연산 면에서 간단함을 알 수 있다.

3.2 사면체 보간을 이용한 실시간 색역 사상

이제 표 1의 사면체 보간식을 실시간 색역 사상에 적용하고자 한다. 표 1에서 사면체 보간의 기본식은 다음과 같음을 알 수 있다.

$$P = (h_0P_I + h_1P_{II} + h_3P_{III} + h_4P_{IV}) / \Delta \quad (5)$$

여기서 P_I , P_{II} 는 P_0 , P_7 으로 일정하고 나머지 계수들은 사면체의 분할 조건에 따라 달라지는 것을 알 수 있다. 따라서 사면체 사상식은 식(5)로 고정 시키고, 사면체의 분할 조건에 따라 다른 계수들이 결정되도록 보간 방식을 설정하였다. 표 1의 dx , dy , dz 를 각각, r, g, b 로 대응시키고 그림 3의 P_0 - P_7 을 그림 2의 $H \sim O$ 의 꼭지점에 대응 시키면, 식(5)의 P_I , P_{II} 는 H, J 에 대응되고 식 5의 다른 계수들은 표 2와 같이 정리 된다.

표 2. 사면체 분할 조건에 따른 식(5)의 계수 값

	h_0	h_1	h_2	h_3	P_{II}	P_{III}
$b \geq g > r$	$\Delta - b$	$g - r$	$b - g$	r	O	L
$g > r > b$	$\Delta - g$	$r - b$	$g - r$	b	J	K
$g > b \geq r$	$\Delta - g$	$b - r$	$g - b$	r	O	K
$r \geq b > g$	$\Delta - r$	$b - g$	$r - b$	g	M	I
$b > r \geq g$	$\Delta - b$	$r - g$	$b - r$	r	M	L
$r \geq g \geq b$	$\Delta - r$	$g - b$	$r - g$	b	J	I

그림5은 사면체 보간을 이용한 실시간 색역폭 사상의 구조도이다. 그림3의 3차원 룩업 테이블의 예서는 입력 RGB 신호의 상위 3bit 정보를 활용하여 보간에 사용될 $P_I, P_{II}, P_{III}, P_{IV}$ 를 추출한다. weight 계산기에서는 입력 RGB 신호의 하위 5bit 정보를 활용하여 표2와 같이 식(5)의 사면체 사상에 사용될 계수를 산출한다. 마지막으로 3차원 보간기에서는 식(5)의 사면체 보간을 수행한다.

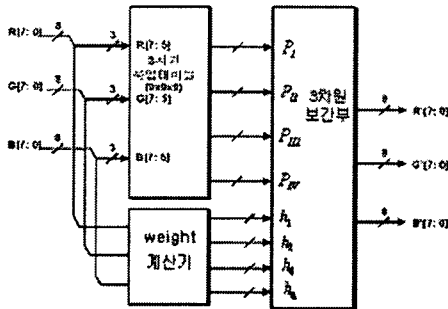


그림 5. 사면체 사상을 이용한 실시간 색역폭 사상의 구조

4. 결 론

본 논문에서는 사면체 보간 기법을 이용하여 실시간 색역폭 사상을 구현하는 것을 제안하였다. 제안된 방식은 3차원 Look-up table을 바탕으로 입력 RGB 신호에 따라 4개의 보간 데이터를 추출하고 또 사면체 보간을 위한 계수를 산출하도록 되어 있다. 제안된 방식은 기존의 육면체 사상 방법에 비해 연산이 매우 간단하므로 이를 하드웨어로 구현했을 때 처리 속도 향상 및 비용 절감을 기대할 수 있다. 또한 제안된 방식은 3차원 Look-up table의 저장 값을 변경함에 따라 다양한 색역폭 사상의 수행 효과를 볼 수 있으므로 다양한 종류의 컬러 디스플레이 장치에 적용이 가능한 장점이 있다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 특정기초연구(R01-2003-000-10785)지원으로 수행되었음.

[참 고 문 헌]

[1] R. Bala, R. deQueiroz, R. Eschach and W. Wu, "Gamut Mapping to Preserve Spatial Luminance Variations," Journal of IS & T, Vol. 45, no. 5, pp.436-443, 2001.
 [2] C.-S. Lee, Y.-W. Park, S.-J. Cho and Y.-H. Ha, "Gamut Mapping Algorithm Using Lightness Mapping and Multiple Anchor Points for Linear Tone and Maximum Chroma Reproduction," J. of IS & T, Vol. 45, no. 3,

pp.209-223, 2001.

[3] H. Chen, H. Kotera, "3-dimensional Gamut Mapping Method Based on the Concept of Image Dependence", J. of IS & T, Vol. 46, no. 1, pp44-52, 2002.
 [4] B. H. Kang, M. S. Cho, J. Morovic and M. R. Luo, "Gamut Compression Algorithm Development on the Basis of Observer Experimental Data", in Proc. 8th IS&T/SID Color Imaging Conf., IS&T, Springfield, VA 1999, pp. 268-272
 [5] 한동일, "색역폭 매핑을 이용한 디지털 TV 디스플레이 장치의 화질 개선", 대한전자공학회 하계종합학술대회, 제26권 제1호, pp1779-1782, 2003
 [6] D.Han, "Digital TV Display quality Enhancement Method Based on the color gamut mapping", Proceedings of IEEE summer conference 2003, Vol. 26, No. 1, pp. 1779-1782, 2003.