

## 실시간 색역 사상 하드웨어의 성능 향상에 관한 연구

김 경 석<sup>○</sup>, 이 학 성, 한 동 일  
세종대학교 전자공학과

[kks-engi@hanmail.net](mailto:kks-engi@hanmail.net)<sup>○</sup>, [hslee@sejong.ac.kr](mailto:hslee@sejong.ac.kr), [dihan@sejong.ac.kr](mailto:dihan@sejong.ac.kr)

### A Study for Performance Improvement of Red Time Color Gamut Mapping Hardware .

Kyngseok Kim<sup>○</sup>, Haksung Lee Dongil Han  
Department of Electronics Engineering Sejong University, Seoul, Korea

#### 요 약

다양한 종류의 동영상을 출력하는 디스플레이 장치에 색역 사상 알고리즘이 적용이 되기 위해서는 약 10나노 초 정도의 처리 속도가 필요하기 때문에 실제로 구현하기가 매우 어렵다. 이러한 문제를 해결하기 위한 방법으로 특정 장치의 색역 사상 결과를 샘플링한 후 3차원 룩업 테이블에 저장하는 하드웨어 구조가 있는데, 본 논문에서는 이러한 해상도 절감 3차원 룩업 테이블을 이용한 색역 사상 하드웨어를 기술하고, 기존의 하드웨어의 구조를 보다 최적화할 수 있는 방법을 제시하고 성능 향상을 확인한다. 해상도 절감 3차원 룩업 테이블을 이용한 색역 사상 방법은 최종 사상 값을 출력하기 위하여 3차원 보간부를 필요로 하는데, 3차원 보간부는 실시간 하드웨어에서 큰 비중을 차지하고 있는 부분이다. 본 논문에서는 기존의 육면체 구조를 이용한 3차원 보간 방법에 비하여 연산 과정이 간단한 사면체 구조를 이용한 3차원 보간 방법으로 보간을 수행하는 새로운 하드웨어 구조를 제안하였고, 새로운 하드웨어가 기존의 방법보다 더 높은 성능을 기대할 수 있으면서 전체적인 하드웨어의 크기를 절감할 수 있음을 보인다.

#### 1. 서론

최근 다양한 종류의 디스플레이 디바이스들이 개발되고 활용됨에 따라 특정한 디바이스에서 생성된 칼라 영상이 다른 디바이스에서는 전혀 다른 칼라로 표현되는 현상이 빈번히 발생한다. 이렇게 동일한 입력 영상이 이종 디스플레이 디바이스에서 서로 다른 영상으로 출력되는 이유는 디스플레이 디바이스가 주위 조명 영향을 받고 장치가 가지는 비선형적 칼라 특성에 의해 제한된 범위의 색만을 표현할 수 있기 때문이다. 이렇게 디스플레이 디바이스 간에 필연적으로 발생하는 색역(Color Gamut)의 차이를 줄여서 인간의 시각에 의해 인지되는 출력 영상에서의 색차를 줄이기 위한 색역 사상(Color Gamut Mapping)이 필요하게 되었다.

기존의 색역 사상 연구는 주로 컬러 모니터와 컬러 프린터 간의 색 재현성의 차이를 보정하는 데에 많이 사용되어 왔다<sup>[1-3]</sup>. 일반적으로 모니터의 색역에 비해서 상대적으로 색역이 작은 프린터에서 색 재현성의 향상을 도모하기 위해서는 먼저 두 디바이스의 색 공간을 인간의 시각 특성에 기반을 둔 균형 색 공간인 CIE L\*a\*b\* 색 공간으로 변환 한 후 두 장치의 색역의 특성을 반영한 색역 사상을 수행한다. 이를 다시 프린터의 경우 CMYK 색 공간, 모니터의 경우 RGB 색 공간으로 변환하여 출력하는 과정을 소프트웨어로 처리하여 색 재현성의 향상을 도모하게 된다. 그러나 이러한 방법은 비선형적이며 복잡한 과정을 거치기 때문에 실시간으로 영상이 출력되는 디스플레이 디바이스에 적용하기에는

여러 가지 문제점들이 존재하게 된다.

이 문제점들을 해결하는 방법 중 하나가 기존의 우수한 색역 사상 결과를 룩업테이블에 저장한 후 특정 입력 영상에 대하여 사상된 결과를 출력하는 방법이 있다. 하지만 모든 R, G, B 입력에 대한 사상 결과를 룩업테이블에 저장할 수 있는 하드웨어를 구현하기가 어렵기 때문에 일정 간격으로 샘플링된 특정 결과만을 룩업테이블에 저장한 후 나머지 부분에서의 색역 사상 결과는 3차원 보간 방법으로 계산하는 해상도 절감 3차원 룩업테이블을 이용한 실시간 색역 사상 하드웨어가 제안되었다<sup>[4]</sup>.

본 논문에서는 해상도 절감 3차원 룩업 테이블의 구조를 이용하면서 기존의 실시간 색역 사상 하드웨어를 좀 더 효과적으로 개선하기 위하여 새로운 3차원 보간 방법을 도입하고 이 방법을 실제로 구현하기 위한 새로운 하드웨어 구조를 제시한다. 그리고 이러한 새로운 하드웨어의 타당성을 검증하고 실험 결과를 제공하며 이를 통해서 기존의 방법 보다 성능을 향상시키면서 필요한 하드웨어의 양을 절감할 수 있음을 확인한다.

## 2. 3차원 보간

본 논문에서는 실시간 색역 사상 하드웨어의 성능을 향상하기 위한 방법으로 기존의 해상도 절감 3차원 룩업테이블 구조를 도입하였다. 입력 영상  $R_{in}$ ,  $G_{in}$ ,  $B_{in}$  값을 장치의 특성에 따라 색역 사상한 결과인  $R_{out}$ ,  $G_{out}$ ,  $B_{out}$  값을 1:1로 룩업테이블에 저장하기 위해서는  $256 \times 256 \times 256$ 의 게이트가 필요하기 때문에 하드웨어로 구현이 사실상 불가능하다. 이 문제를 해결하기 위해서 3차원 룩업테이블에는 입력 영상의  $R_{in}[7:5]$ ,  $G_{in}[7:5]$ ,  $B_{in}[7:5]$ 에 대응하는 색역 사상 값만을 저장하는 해상도 절감 3차원 룩업테이블 사용하고 나머지 입력 영상에서 색역 사상 값은 3차원 보간을 통하여 계산한다.

기존의 실시간 색역 사상 하드웨어 구조에서는 3차원 보간 방법으로 그림 1과 같이 최종 사상 값을 포함하고 있는 육면체의 형태의 8개 꼭짓점에서 색역 사상 값을 이용하는 방법을 사용하였다. 이때 8개의 육면체 꼭짓점에 해당하는 색역 사상 값은 입력 영상의  $R_{in}[7:5]$ ,  $G_{in}[7:5]$ ,  $B_{in}[7:5]$ 에 따라 결정이 되며, 이 8개 값과  $R_{in}[4:0]$ ,  $G_{in}[4:0]$ ,  $B_{in}[4:0]$  값을 이용하여 해당 위치에서의 색역 사상 값을 보간 방법으로 계산한다.

그림 1에서처럼 H점과 I점에서의 Red 성분의 룩업 테이블 값  $R_H$ ,  $R_I$ 와  $R_{in}[4:0]=r$  값을 이용하여 HI점에서의 색역 사상 값을 계산할 수 있으며,

$$R_{HI} = (R_H \times (32 - r) + R_I \times r) / 32 \quad (1)$$

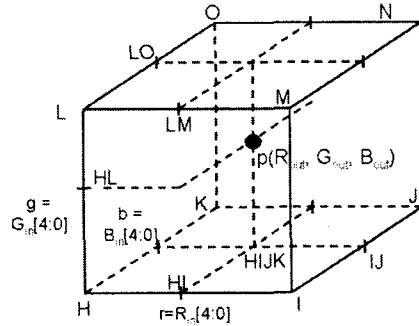


그림 1. 육면체를 이용한 3차원 보간 방법  
Fig. 1. Three-dimensional interpolation method by hexahedrons

마찬가지 방법으로 J점과 K점에 대해서도  $R_{in}[4:0]$  값을 이용하여 JK점에서의 사상 값을 계산해 낼 수 있다.

$$R_{KJ} = (R_K \times (32 - r) + R_J \times r) / 32 \quad (2)$$

그 이후 HI점과 JK점에서의 사상 값과  $B_{in}[4:0]$  값을 이용하여 HIJK 점에서의 사상 값을 계산해 낼 수 있다. 동일한 방법으로 구한 LMNO 점에서 사상 값과 HIJK 점에서의 사상 값을 계산할 수 있다.

$$R_{HIJK} = (R_{HI} \times (32 - g) + R_{KJ} \times g) / 32 \quad (3)$$

$$R_{LMNO} = (R_{LM} \times (32 - g) + R_{NO} \times g) / 32 \quad (4)$$

그리고 HIJK 점과 LMNO점,  $G_{in}[4:0]$  값을 이용하여 Red 성분에서 최종 사상  $R_p$  값을 구할 수 있다.

$$R_p = (R_{HIJK} \times (32 - b) + R_{LMNO} \times b) / 32 \quad (5)$$

Red 성분과 동일한 방법으로 Green과 Blue 신호에서 최종 사상 값을 구하면,

$$G_F = (G_{HIJK} \times (32 - b) + G_{LMNO} \times b) / 32 \quad (6)$$

$$B_F = (B_{HIJK} \times (32 - b) + B_{LMNO} \times b) / 32 \quad (7)$$

과 같고 각각의 Red, Green, Blue 성분의 사상 값을 구하는 과정을 병렬로 수행이 된다.

실시간 색역 사상 하드웨어 구조는 먼저 3차원 룩업 테이블에 데이터를 저장하고 출력하는 과정과 위에서 설명한 3차원 보간 과정으로 구성된다. 이때 3차원 보간이 수행되는 과정은 실제 하드웨어에서 큰 비중을 차지하고 있기 때문에 보간 과정을 좀 더 간단한 방법으로

수행하면 전체 하드웨어의 크기를 절감하면서 성능향상도 가져올 수 있다.

본 논문에서는 기존에서 사용한 육면체 구조를 이용한 3차원 보간 방법보다 연산이 간단한 사면체 구조를 이용한 3차원 보간 방법을 이용하였다<sup>[5]</sup>. 이 방법은 사면체의 체적을 이용한 방법으로 4개의 사상 데이터 A, B, C, D 중 X를 제외한 세 점과 최종 사상 점 p로 구성된 사면체의 체적을  $V_x$ , ABCD로 구성된 전체 사면체의 체적을  $V$ 라 할 때 사상 값 p를 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$p = \frac{1}{V} (V_A \cdot A + V_B \cdot B + V_C \cdot C + V_D \cdot D) \quad (8)$$

이때 두 사면체의 밀변이 같을 때 체적은 사면체의 높이에 비례한다는 정의를 이용하면 식(8)을 단순하게 정리할 수 있다. A, B, C, D 중 X를 제외한 세 점으로 구성된 밀변과 p까지의 높이를  $H_x$ , 또 이 밀변과 X까지의 높이를  $\Delta$ 라 할 때 최종 사상 값은

$$p = (H_A \cdot A + H_B \cdot B + H_C \cdot C + H_D \cdot D) / \Delta \quad (9)$$

과 같이 단순한 연산으로 계산이 된다. 식(5)과 식(9)에서 알 수 있듯이 기존의 육면체 구조를 이용한 3차원 보간의 경우 3번의 연산 과정이 순차적으로 수행되어야 하기 때문에 그만큼의 시간 지연이 발생하지만, 사면체 구조를 이용한 3차원 보간의 경우 한 번에 사상 결과가 출력되는 연산이면서 연산 과정이 단순하기 때문에 색역 사상의 연산 속도를 향상시키며 하드웨어의 양을 절감할 수가 있다.

### 3. 실시간 색역 사상 하드웨어 구조

본 논문에서 제안한 실시간 색역 사상 하드웨어의 구조를 그림 3에 상세히 나타내었다. 그림에서처럼 실시간 색역 사상 하드웨어는 크게 해상도 절감 3차원 룩업 테이블부와 사면체 구조를 이용한 3차원 보간부, 그리고 3차원 보간을 보다 빠르게 수행하기 위해서 사면체 위치를 찾고 높이를 계산하는 사면체 계산부로 구성되어 있다.

먼저 해상도 절감 3차원 룩업 테이블부는 그림 4와 같은 구조를 가지는데, 샘플링된 색역 사상 값을 저장하기 위하여  $8 \times 3$ 의 크기를 저장할 수 있는 256개의 메모리를 가지는 4개의 일차원 룩업 테이블부와 이 룩업 테이블에 사상 값을 저장하고 출력하는 위치를 계산하는 어드레스 디코더부, 그리고 입력 영상에 따라 위치가 바뀌는 사면체의 꼭짓점의 자리를 바르게 잡아주는

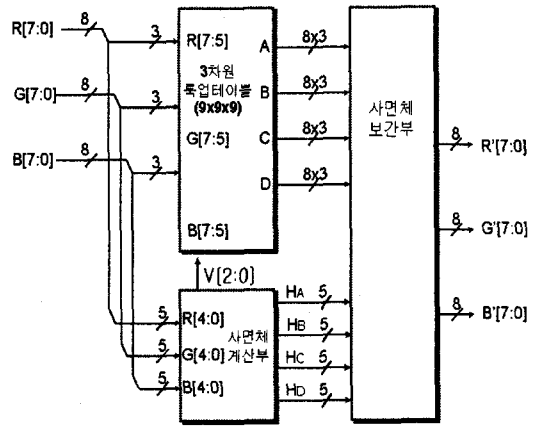


그림 2 실시간 색역 사상 하드웨어 구조  
Fig. 2. The real time gamut mapping hardware architecture.

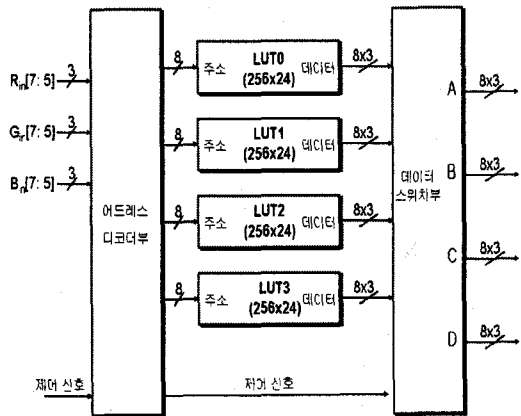


그림 3. 4개의 일차원 LUT로 재현된 3차원 LUT  
Fig. 3. The one-dimensional decomposed architecture of 3-D look-up table

데이터 스위치부로 구성이 되어있다.

어드레스 디코더부에서는 4개의 룩업테이블에 저장되고, 룩업테이블에서 출력되는 사상 값의 어드레스 계산을 하는데, 이때 어드레스 계산을 단순화시켜 하드웨어의 크기를 대폭 줄이기 위한 방법으로 그림 4와 같이 룩업 테이블을 배치시켰다. 3차원 보간을 수행하는 과정에서 필요한 사면체의 4 꼭짓점 위치에 해당하는 사상 값이 저장된 룩업테이블의 종류와 어드레스를 쉽게 계산하기 위해서  $R_{in}[7:5]=8$ 인 경우에는 하나의 룩업 테이블이 하나의 어드레스만 독점하도록 룩업 테이블을 구성한다.

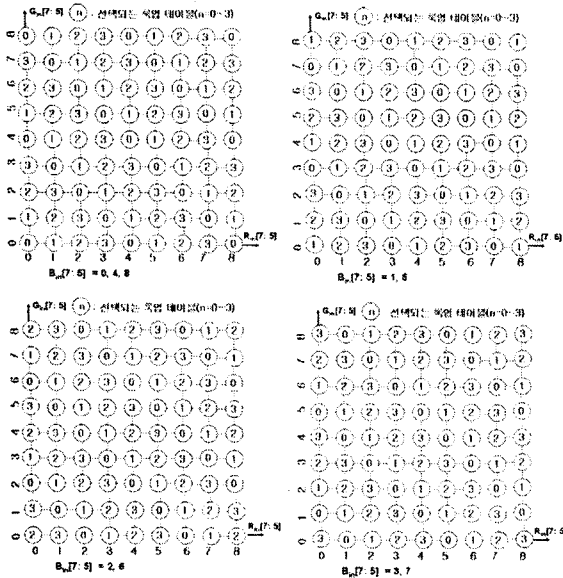


그림 4. 입력 R, G, B에 따른 룩업테이블의 배치  
Fig. 4. Disposition of LUT by input R, G, B

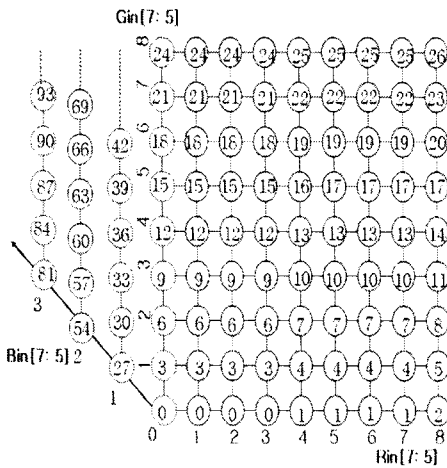


그림 5. 룩업테이블 어드레스  
Fig. 5. LUT address decoder

그림 5에서 입력 영상 값에 따라 어드레스가 규칙적으로 증가함을 알 수 있는데, 이러한 규칙을 통해서 어드레스가 간단한 식으로 계산이 되며 아래 식(10)을 통해 룩업테이블에 저장될 어드레스가 계산된다.

$$Adrees = Bin[7:5] \cdot 27 + Gin[7:5] \cdot 3 + Rin[7] \quad (10)$$

그리고 사면체 계산부에서 최종 사상 값을 포함하고 있는 사면체의 위치를 계산하여 어드레스 디코더부에서 4개의 룩업테이블 데이터를 동시에 출력할 수 있도록 도와주는 사면체 위치 계산부가 있으며, 이때 분할되는 사면체의 위치는 입력 Rin[4:0], Gin[4:0], Bin[4:0] 값의 크기 비교로 판단할 수가 있다<sup>[6]</sup>. 또한 룩업테이블부와 병렬 구조로 되어 있으면서 사면체 높이를 계산하여 3차원 보간부로 보내는 사면체 높이 계산부가 있으며, 이 부분을 통해서 하드웨어의 성능을 향상할 수 있다.

마지막으로 3차원 보간부는 최종 색역 사상 값 p를 구하기 위해 룩업테이블부에서 출력되는 4개의 사상 값과 사면체 계산부에서 출력되는 높이 값을 가지고 사면체 보간을 수행한다.

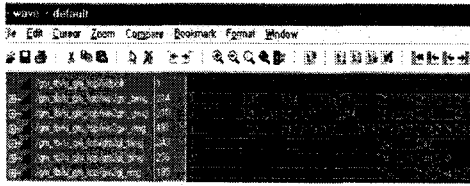
이와 같은 하드웨어 구조로 새로운 사상 값을 Red, Green, Blue 성분 각각에 대해서 계산하는 과정은 매 화소마다 반복적으로 수행함으로써 인가되는 Rin, Gin, Bin 화소 데이터에 대해서 색역 사상 된 화소 값 Rout, Gout, Bout 값을 실시간으로 계산해 낼 수 있게 된다.

#### 4. 실험 결과

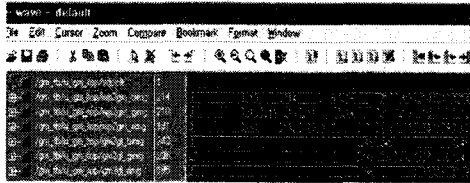
앞에서 제안된 하드웨어 구조의 타당성을 검증하기 위하여 먼저 Matlab을 통한 simulation을 수행한 결과, 해상도 절감 3차원 룩업 테이블과 사면체 구조를 이용한 3차원 보간 방법이 기존의 결과에서 영상의 해상도를 저하시키기 않음을 확인할 수 있었다. 또한 제안된 하드웨어 구조는 먼저 VHDL로 구현하였고 이때 나온 결과는 Matlab을 이용한 simulation 결과와 동일하였으며, 하드웨어 동작을 프로그램을 통하여 확인한 결과 기존의 방법에 비해 수행 속도가 향상됨을 확인할 수 있었고 그 결과를 그림 6과 같이 나타내었다.

최종적으로 본 논문에서 제안한 하드웨어 구조는 Xilinx의 XC2V600을 이용하여 FPGA로 구현하였다. 이렇게 구현된 색역 사상 장치는 기존의 육면체 구조를 이용한 하드웨어보다 게이트 수가 약 6%정도 절감되었고 색역 사상 속도 또한 더 빠르게 결과를 출력하였다.

제안한 하드웨어 구조는 색역 사상 알고리즘의 종류와 무관하게 사용할 수 있다는 기존의 장점을 가지고 왔기 때문에 다양한 디스플레이 장치의 색역 사상에 적용될 수 있다. 본 논문에서는 CRT와 PDP 간의 색역 확장 알고리즘<sup>[7]</sup>을 사용한 색역 사상 결과를 제안된 하드웨어에 적용하여 PDP의 색 재현성을 확장한 결과 그림 7에서 처럼 청색 성분의 색상이 원 영상에 비해서 보다 자연색에 가까운 색이 재현되는 결과를 얻었다.



(a) Hexahedral Interpolation



(b) Tetrahedral Interpolation

그림 6. Vhdl simulation 비교

Fig 6. The result of Vhdl simulation



(a) 원 영상 (b) 색역 사상된 영상

(a) original image (b) gamut mapped image

그림 7. 실시간 색역 사상 결과 예

Fig 7. An example of real-time color gamut mapping

## 5. 결론

본 논문에서는 실시간 색역 사상 하드웨어의 성능을 향상시키기 위한 사면체 구조를 이용한 3차원 보간 방법과 이 방법을 실제 하드웨어로 구현하기 위한 방법을 제시하고 이의 타당성을 확인하였다. 해상도 절감 3차원 룩업 테이블의 장점은 그대로 유지하면서 하드웨어 구현 비용을 감축하였으며, 기존의 결과와 동일한 결과를 제공함을 확인하였다. 또한 해상도 절감 3차원 룩업 테이블을 이용한 색역 사상 방법에서 복잡도가 높은 3

차원 보간부를 단순화함으로써 하드웨어의 절감 효과와 더불어 고속 동작에 보다 적합한 하드웨어를 구현하였다.

또한 본 논문에서 제안한 하드웨어 구조는 다양한 색역 사상 알고리즘의 적용이 가능하며 다양한 디스플레이 디바이스에 적용이 가능하다는 장점이 있다.

## 감사의 글

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

## 참고 문헌

- [1] Raja Bala, Ricardo deQueiroz, Reiner Eschach and Wencheng Wu, "Gamut Mapping to Preserve Spatial Luminance Variations," Journal of image Science and Technology, Vol. 45, no. 5, pp.436-443, September/October 2001
- [2] Chae-Soo Lee, Yang-Woo Park, Seok-Je Cho and Yeong-Ho Ha, "Gamut Mapping Algorithm Using Lightness Mapping and Multiple Anchor Points for Linear Rone and Maximum Chroma Reproduction," Journal of Image Science and Technology, Vol. 45, no. 3, pp.209-223, May/June 2001.
- [3] Hung-Shing Chen and Hiroaki Kotera, "Three-dimensional Gamut Mapping Method Based on the Concept of Image Dependence," Journal of Image Science and Technology, Vol. 45, no. 9, pp44-52, January/February 2002
- [4] Dongil Han, "Real-Time Color Gamut Mapping Method for Digital TV Display Quality Enhancement," IEEE Trans. on Consumer Electronics, vol. 50, no. 2, pp. 691-669, 2004
- [5] Henry R. Kang, "COLOR: Technology for Electronic Imaging Devices", SPIE Optical Engineering Press, 1997.
- [6] P. C. Hung, "Colorimetric calibration in electronic imaging devices using a look-up table model and interpolation," Journal of Electronic imaging, Vol. 36, No. 1, pp. 53-61, Jan. 1993
- [7] Byoung-Ho Kang, Jan Mrovic, M. Ronnier Lu, and Maeng-sub Cho, "Gamut Compression and Extension Algorithms Based on Observer Experimental Data," ETRI Journal, Vol. 25, no.3 pp.156-170, 2003