

논문 2007-44SP-2-2

3차원 보간 오차를 개선하기 위한 룩업 테이블의 최적화에 관한 연구

(Study on Optimization of Look-Up Table to Reduce Error of
Three-dimensional Interpolation)

김주영*, 이학성**, 한동일***

(Joo-Young Kim, Hak-Sung Lee, and Dongil Han)

요약

3차원 보간(three-dimensional interpolation)은 색역 사상(Color Gamut Mapping)등 컬러 신호 변환에 널리 사용되고 있다. 이러한 3차원 보간은 주어진 컬러 입력 신호에 대해 균등하게 샘플링된 표본 입력에 대해 미리 계산된 표본 출력을 저장하는 룩업 테이블(look-up table)에서 추출한 몇 개의 표본 출력을 이용하여 출력 신호를 근사적으로 산출하는 방식이다. 따라서 3차원 보간의 오차는 룩업 테이블에 저장되는 표본 출력의 값에 의해 심하게 결정된다. 본 논문에서는 최소 자승법(least square method)을 이용하여 고정된 크기의 룩업 테이블에 저장되는 표본 출력 값을 최적화함으로써 3차원 보간의 오차를 최소화하고자 한다. 제안된 방법은 기존의 룩업 테이블 구성 방법에 비해 개선된 오차 성능을 보인다.

Abstract

The three dimensional interpolation is widely used for many kinds of color signal transformation such as real-time color gamut mapping. Given input color signal, the output color signal is approximately calculated by the interpolation with the input point and extracted values from a lookup table which is constructed by storing the values of transformation at regularly packed sample points. Apparently, errors of the interpolated approximation heavily depend on the selection of the lookup table. In this paper, a least square method is applied to assigning values of the lookup table with fixed size in order to minimize error of three-dimensional interpolation. The experimental result shows that the proposed method has better interpolation performance.

Keywords : three-dimensional interpolation, look-up table, least square method

I. 서론

컬러 영상을 표현하는 컬러 신호는 디지털 미디어에 사용되는 목적에 따라 다양한 형태의 변환

(transformation)이 요구된다^[1-3]. 예를 들어 CIELAB, XYZ등과 같이 장치 독립적인 색 표현 방식으로 표시된 컬러 영상은 모니터 또는 컬러 프린터와 같은 컬러 디스플레이 장치에 표현되기 위해서는 RGB 또는 CMYK 등과 같이 각 장치에 적합한 색 표현 방식으로 변경되어야 한다. 이와 같은 컬러 신호의 변환 예로는 앞서 예 를 든 색 공간(color space) 또는 색 좌표(color coordinate) 변환^[5], white balance와 같은 색 조정(color adjustment), 디스플레이 장치간의 색차(color difference)를 보정하는 색역 사상(color gamut mapping)^[4]등을 들 수 있다. 한편 컬러 신호는 red, green, blue와 같이 세 가지 이상의 신호로 구성되어 지

* 정회원, 삼성 SDI
(Samsung SDI)

** 정회원, 세종대학교 전자공학과
(Dept. of Electronic Engineering, Sejong University)

*** 정회원, 세종대학교 컴퓨터공학과
(Dept. of Computer Engineering, Sejong University)

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

접수일자: 2006년9월22일, 수정완료일: 2007년2월21일

므로 컬러 신호의 변환은 일반적으로 3차원 이상의 다차원 공간에서 3차원 이상의 다차원 공간으로의 사상(mapping) 과정이라 할 수 있다. 예를 들어, XYZ 색공간 (X, Y, Z) 에서 CIELAB 색공간 (L^*, a^*, b^*) 으로의 변환은 아래 식과 같다^[5].

$$L^* = 116f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - 16 \quad (1)$$

$$a^* = 500\left[f\left(\frac{X}{X_n}\right) - f\left(\frac{Y}{Y_n}\right)\right] \quad (2)$$

$$b^* = 200\left[f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - f\left(\frac{Z}{Z_n}\right)\right] \quad (3)$$

여기서,

$$f(q) = \begin{cases} q^{1/3} & \text{if } q > 0.008856 \\ 7.787q + \frac{16}{116} & \text{if } q \leq 0.008657 \end{cases}$$

이고, X_n, Y_n, Z_n 은 기준 백색의 X, Y, Z 값을 나타낸다.

컬러 신호의 변환을 수행하는데 있어 식(1)-(3)과 같이 주어진 변환에 대한 수학적 함수를 사용하는 것이 바람직하나, 변환에 대한 수학적 함수가 존재하지 않거나 고속 실시간 처리가 요구되는 컬러 신호의 변환의 경우, 3차원 보간(3-dimensional interpolation)을 이용하여 처리하는 경우가 일반적이다. 3차원 보간 기법은 표본 입력(sample input) 값들에 대한 변환 출력 값들을 미리 계산하여 저장하는 룩업 테이블(look-up table)을 채용하고 있으며, 주어진 입력 값에 대해 그 입력 값과 그 입력 값을 바탕으로 룩업 테이블로부터 추출되는 몇 개의 변환 출력 값들을 이용하여 주어진 입력 값에 대응하는 변환 출력 값을 근사적으로 계산하는 방법이다^[1-3].

이러한 3차원 보간기의 성능을 평가하는 주요한 요소인 보간 오차(interpolation error)는 룩업 테이블에 저장된 표본 값의 수에 의해 결정된다. 즉 일반적으로 룩업 테이블에 저장된 표본의 수가 많으면 정밀한 보간 결과를 기대할 수 있다. 그러나 3차원 보간기를 하드웨어 등으로 구현할 경우, 룩업 테이블의 크기는 구현된 보간기의 비용을 증대시키는 요인이므로, 오차 성능과 구현 비용 등을 감안하여 룩업 테이블의 크기를 적절하게 조절할 필요가 있다. 본 논문에서는 3차원 보간기의 오차 성능을 개선하기 위해, 미리 결정된 크기를 갖는 룩업 테이블의 표본 값을 최소 자승법(least square method)을 이용하여 결정하는 방법에 대해 제

안한다. 제안된 방법은 룩업 테이블의 크기를 유지하면서 오차 성능을 개선하는 장점이 있어서, 3차원 보간기를 구현하는 데 있어 비용을 유지하며 보간 오차 성능을 개선하는 방법이 된다.

II. 3차원 보간

3차원 보간 기법은 출력을 근사적으로 계산할 때 사용되는 보간식의 유형에 따라, 선형 보간과 비선형 보간으로 나눌 수 있다. 오차 정확성(accuracy) 측면에서 비선형 보간이 선형 보간보다 우수한 것으로 알려지고 있으나, 선형 보간은 그 연산이 매우 간단한 까닭에 고속 처리에 적합하다. 예를 들어, Han^[6-7]은 육면체 보간(trilinear interpolation)^[2-3]을 이용하여 매우 복잡한 연산이 요구되는 컬러 디스플레이용 색역 사상을 근사화하고 이를 수 픽셀 클럭 이내의 고속으로 처리하는 3차원 해상도 절감 룩업 테이블(3-D reduced resolution look-up table)을 제안한 바 있다(그림 1). Han이 사용한 육면체 보간은 선형 보간의 일종으로 균일하게 분포된 표본으로 구성된 룩업 테이블을 이용하여 간단한 정수형 연산으로 구현이 가능하다.

Han의 방법을 자세히 설명하면 다음과 같다^[6-7]. 먼저, 컬러 디스플레이 장치에서 컬러 신호를 구성하는 R, G, B 성분을 균등하게 N 등분하여 전체 3차원 색공간을 $N \times N \times N$ 개의 정육면체로 분할한다. 한편, 통상 디지털 미디어에서 각 R, G, B 성분을 표현하기 위해 8 bit를 사용하므로, N 등분된 구간(interval)의 길이, 즉 N^3 개로 분할된 정육면체의 한변의 길이는 $\Delta = 256/N$ 이 된다. 이 때, 임의의 입력 컬러 신호 $P_E = [R_E, G_E, B_E]$ 는 $N \times N \times N$ 개로 분할된 육면

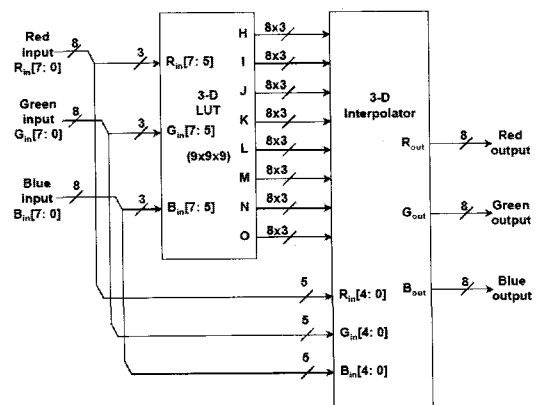


그림 1. 3차원 해상도 절감 룩업 테이블의 구조
Fig. 1. Architecture of Three-dimensional Reduced Resolution Look-up Table.

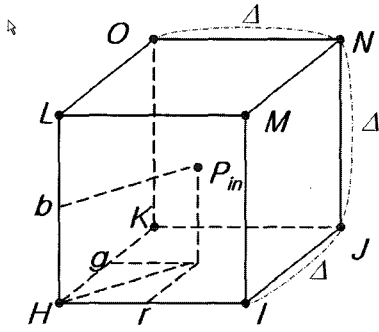


그림 2. 3차원 보간 방법

Fig. 2. The Three-dimensional Interpolation.

체 중의 하나에 속하게 되고, 이 입력 컬러 신호에 대응하는 출력 컬러 신호는 P_{\in} 을 포함하는 육면체의 8개의 꼭지점에 배정된 값들을 이용하여 계산된다(그림 2). 예를 들어 $P_{\in} = [n_r\Delta + r, n_g\Delta + g, n_b\Delta + b]$ 라 하면 이를 포함하는 육면체의 8개의 꼭지점은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 H &= [n_r\Delta, n_g\Delta, n_b\Delta] \\
 I &= [(n_r + 1)\Delta, n_g\Delta, n_b\Delta] \\
 J &= [(n_r + 1)\Delta, (n_g + 1)\Delta, n_b\Delta] \\
 K &= [n_r\Delta, (n_g + 1)\Delta, n_b\Delta] \\
 L &= [n_r\Delta, n_g\Delta, (n_b + 1)\Delta] \\
 M &= [(n_r + 1)\Delta, n_g\Delta, (n_b + 1)\Delta] \\
 N &= [(n_r + 1)\Delta, (n_g + 1)\Delta, (n_b + 1)\Delta] \\
 O &= [n_r\Delta, (n_g + 1)\Delta, (n_b + 1)\Delta]
 \end{aligned} \quad (4)$$

P_X 를 입력 $X (= H, I, \dots, O)$ 에 대응하는 출력 컬러 신호라 할 때, 입력 컬러 신호 P_{\in} 에 대응하는 출력 컬러 신호 P_{out} 은 다음과 같이 계산된다^[2-3].

$$P_{out} = c_H \cdot P_H + c_I \cdot P_I + \dots + c_O \cdot P_O \quad (5)$$

여기서, $c_X (X = H, I, \dots, O)$ 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 c_H &= (\Delta - r)(\Delta - g)(\Delta - b)/\Delta^3 \\
 c_I &= r(\Delta - g)(\Delta - b)/\Delta^3 \\
 c_J &= rg(\Delta - b)/\Delta^3 \\
 c_K &= (\Delta - r)g(\Delta - b)/\Delta^3 \\
 c_L &= (\Delta - r)(\Delta - g)b/\Delta^3 \\
 c_M &= r(\Delta - g)b/\Delta^3 \\
 c_N &= rgb/\Delta^3 \\
 c_O &= (\Delta - r)gb/\Delta^3
 \end{aligned} \quad (6)$$

III. 최소 자승법을 이용한 LUT의 최적화

식(5)와 같은 3차원 보간식이, N^3 개의 정육면체로 분할된 전체 3차원 색 공간에 적용되기 위해서는 $(N+1)^3$ 개의 표본 출력 컬러 신호가 룩업 테이블에 저장되어야 한다. 통상, 룩업 테이블에 저장되는 표본 출력 컬러 신호는 보간을 통해서 구현하고자 하는 변환을 이용하여 미리 계산되어지는 것이 일반적이다. 예를 들어, 보간을 통해 근사화 하고자 하는 변환이 $y = f(x)$ 로 정의된다고 할 때, 식 (5)의 P_X 의 값은 룩업 테이블에 저장되는 표본 출력 컬러 신호로 표본 입력 컬러 신호($X = H, I, \dots, O$)에 대해 변환 함수 f 를 이용하여 $P_X = f(X)$ 로 미리 계산되어진 후 룩업 테이블에 저장된다.

표기의 편의를 위해, $T = N + 1$ 이라 하고, 룩업 테이블에 저장되는 표본 변환 출력의 수를 N_{LUT} 로 표기하자. 즉, $N_{LUT} = T^3$ 이다. 이 때, 룩업 테이블이 다음과 같이 구성되어 있다고 가정 하자.

$$LUT = \begin{bmatrix} R^1 & G^1 & B^1 \\ R^2 & G^2 & B^2 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ R^{N_{LUT}} & G^{N_{LUT}} & B^{N_{LUT}} \end{bmatrix} \quad (7)$$

여기서, LUT 의 t 번째 행인 $[R^t, G^t, B^t]$ 는 t 번째 표본 컬러 입력에 대한 표본 출력 변환 값을 의미한다. 한편, N_{LUT} 개의 표본 컬러 입력은 N^3 개의 정육면체의 꼭지점을 나타내므로, LUT 에서 표본 컬러 입력을 지정하고 있는 행의 위치 t 는 입력 공간상에서의 정육면체의 하나의 꼭지점에 대응한다. 이러한 대응 관계는 무수히 많이 존재할 수 있으나, 본 논문에서는 t 번째 표본 컬러 입력이 $[n_r\Delta, n_g\Delta, n_b\Delta]$ 로 표시된다고 할 때, 다음과 같은 대응 관계를 가진다고 가정한다.

$$t = n_r T^2 + n_g T + n_b \quad (8)$$

여기서, $0 \leq n_r, n_g, n_b \leq T - 1 = N$ 이다. 예를 들어, R, G, B 성분이 8등분 되어 있다고 하면, LUT 의 347(4 · 9² + 2 · 9 + 5) 번째 행은 표본 컬러 입력 $[4\Delta, 2\Delta, 5\Delta]$ 에 대한 변환 출력을 나타낸다.

이제 임의의 컬러 입력 신호 $P_{\in} = [n_r^*\Delta + r, n_g^*\Delta + g, n_b^*\Delta + b]$ 에 대해 식(5)의 3차원 보간을 수행한다고 가정하자. 이 때,

$$t^* = n_r^* T^2 + n_g^* T + n_b^* \quad (9)$$

라 하면, 이 P_{\in} 을 포함하는 육면체의 8개의 꼭지점은 식(4)와 같이 정의되므로 식(5)의 $P_X (X=H, I, \dots, O)$ 는 식(9)의 t^* 를 이용하여 다음과 같다.

$$\begin{aligned} P_H &= LUT(t^*) \\ P_I &= LUT(t^* + T^2) \\ P_J &= LUT(t^* + T^2 + T) \\ P_K &= LUT(t^* + T) \\ P_L &= LUT(t^* + 1) \\ P_M &= LUT(t^* + T^2 + 1) \\ P_N &= LUT(t^* + T^2 + T + 1) \\ P_O &= LUT(t^* + T + 1) \end{aligned} \quad (10)$$

여기서, $LUT(t)$ 는 LUT 의 t 번째 행을 나타낸다. 식(10)를 식(5)에 적용하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} P_{out} &= c_H \cdot LUT(t^*) + c_I \cdot LUT(t^* + T^2) + \\ &\quad \dots + c_O \cdot LUT(t^* + T + 1) \\ &= [c_H \ c_I \ \dots \ c_O] \begin{bmatrix} LUT(t^*) \\ LUT(t^* + T^2) \\ \vdots \\ LUT(t^* + T + 1) \end{bmatrix} \\ &= A^* \cdot LUT \end{aligned} \quad (11)$$

식(11)에서 A^* 는 식(10)에서 정의된 행의 위치에 해당하는 열에 대해서만 식(6)에서 정의된 $c_X (X=H, I, \dots, O)$ 의 값을 갖고 다른 열에서는 모두 0인 $1 \times N_{LUT}$ 행벡터이다. 식(11)의 P_{out} 은 컬러 입력 P_{\in} 에 대해, 식(7)의 룩업 테이블을 이용하여 3차원 공간에 의해 계산된 출력 컬러 신호이다.

컬러 입력 P_{\in} 에 대한 정확한 변환 컬러 출력 값을 Y^* 라 하면, 보간 오차는 $E^* = Y^* - A^* \cdot LUT$ 가 된다. 이제 N_s 개의 컬러 입력에 대해 보간 오차를 벡터 형태로 표시하면 다음과 같다.

$$E = Y - A \cdot LUT \quad (12)$$

여기서, Y 는 N_s 개의 정확한 변환 컬러 출력들로 구성된 $N_s \times 3$ 행렬이고, A 는 N_s 개의 컬러 입력에 대한 식(11)에 사용되는 보간 계수들로 구성된 $N_s \times N_{LUT}$ 행렬이다. 식(12)에서 정의된 보간 오차 E 는 LUT 에 의해 결정된다. 만약 Y 를 알고 있다고 하고 $A^T A$ 가

nonsingular하면, 보간 오차 E 를 최소 자승(least square) 관점에서 최소화하는 LUT^{opt} 는 다음에 통해 구할 수 있다.

$$LUT^{opt} = (A^T A)^{-1} A^T Y \quad (13)$$

본 논문에서는 식(13)을 이용한 룩업 테이블의 구성 방법을 제안한다. 앞서 기술한 바와 같이, 기존의 룩업 테이블 구성 방식은 전체 입력 공간을 분할한 N^3 개의 정육면체의 $(N+1)^3$ 개의 꼭지점들을 표본 입력 컬러 신호로 하고 이에 대한 각 변환 출력을 근사화하고자 하는 변환 함수를 이용하여 계산하여 식(7)에서와 같이 룩업 테이블에 직접 저장하는 방식이다. 이와 달리 본 논문에서 제안하는 방식은 전체 입력 공간에 대해 고르게 분포된 표본 컬러 입력들의 집합을 구하고, 근사화하고자 하는 변환 함수를 이용하여 각 표본 컬러 입력에 대응하는 변환 출력을 계산 후에 식(13)을 이용하여 조정된 표본 출력 컬러 신호를 룩업 테이블에 저장하는 방식으로 구성된다. 제안된 방식은 식(12)에 정의된 보간 오차를 최소 자승 관점에서 최소화하는 장점이 있다. 따라서 식(12)에서 정의된 보간 오차가 전체 입력 공간에 정의되도록 한다면, 즉 제안된 방식에서 사용되는 표본 입력 컬러 신호가 전체 입력 공간에 충분히 조밀하고 고르게 분포되어 있다고 하면, 제안된 방식은 전체 입력 공간에 대하여 보간 오차를 최소 자승 관점에서 최소화하는 룩업 테이블 구성 방식이라 할 수 있다.

그러나 이와 같이 표본 입력 컬러 신호가 전체 입력 공간에 대해 충분히 조밀하고 고르게 분포되기 위해서는 제안된 방식에서 사용되는 표본 입력 컬러 신호의 수 N_s 가 룩업 테이블의 크기 N_{LUT} 보다 매우 커야 한다. 즉, 제안된 방식은 설계하고자 하는 룩업 테이블의 크기보다 많은 수의 표본 컬러 입출력을 사용한다. 따라서 기존의 룩업 테이블을 구성하는 방식에 비해 제안된 방식이 더 많은 표본 입력에 대한 출력을 계산해야 하는 불리한 점이 있으나, 이는 룩업 테이블을 구성할 때 요구되는 사전 계산에 해당하는 부분으로 실제 보간을 수행하는 데 있어서는 별다른 계산상의 차이는 없다. 3차원 보간기를 하드웨어등으로 구현하게 되는 경우, 룩업 테이블의 크기는 하드웨어의 비용에 큰 영향을 미치게 되는데, 본 논문에서 제안된 방식은 비용의 증대 없이 보간 오차 성능을 개선하는 장점이 있다.

IV. 모의 실험

색역 사상은 컬러 디스플레이 장치의 색역 차이로 인한 색재현성 문제를 극복하기 위한 하나의 방법으로 2개의 비선형 색 공간 변환을 포함하는 복잡한 컬러 신호 처리과정이다^{[4][8]}. 따라서 LCD, PDP와 같이 고속 실시간 처리가 요구되는 컬러 디스플레이 장치에서는 이와 같이 복잡한 색역 사상의 과정을 직접 구현하기 보다는 3차원 보간을 통해 처리하는 것이 일반적이다. Han은 3차원 보간기법을 활용하여 색역 사상을 실시간으로 수행하기 위한 하드웨어 기법을 제안한 바 있다^[6-7]. 이 경우 룩업 테이블의 크기는 보간의 정밀도와 하드웨어의 비용을 결정짓는 중요한 요소로 이 두 가지 지표를 적절히 고려하여 룩업 테이블의 크기가 결정된다.

본 논문에서는 제안된 방식을 이용하여 PDP 장치용 색역 사상을 수행하기 위한 3차원 보간기의 룩업 테이블을 구성하였다. 그림 3.은 본 논문에서 사용된 3차원인 색역 사상 규칙을 Red, Green, Blue의 각 성분별로 분리하여 보여주고 있다. 그림 3.의 각 성분별 1차원 색역 사상 규칙은 다른 2개의 채널을 고정 시킨 상태에서 구한 결과이다. 먼저 $\Delta = 64$ 로 하여, 룩업 테이블의 크기를 125(5x5x5)로 고정하였다. 제안된 방식으로 룩업 테이블을 구성하기 위해 각 Red, Green, Blue의 성분을 8등분한 후 729개의 교차점을 표본 컬러 입력으로 하여 이에 대한 변환 출력을 산출하였다. 산출된 729의 표본 입력 신호를 식(13)에 적용하여 제안된 방식의 룩업 테이블을 구하였다. 비교를 위해 이중 $\Delta = 64$ 로 하였을 경우에 해당하는 125개의 표본 컬러 입력에 대한 변

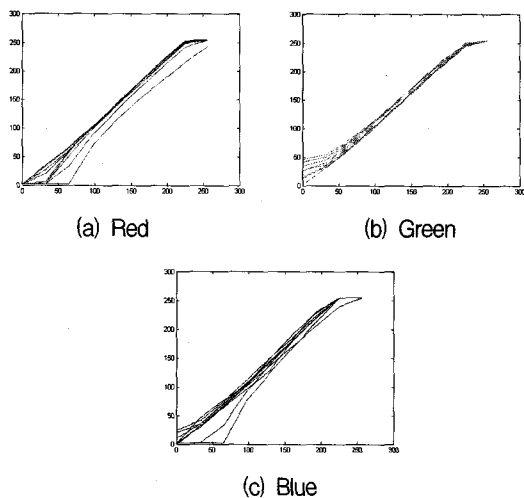


그림 3. 1차원 색역 사상 규칙
Fig. 3. One-dimensional Gamut Mapping Rule

환 출력을 모아 기존의 방식으로 룩업 테이블을 구성하였다.

표 1.은 제안된 방식과 기존의 방식으로 구성된 룩업 테이블간의 비교를 보여주고 있다. 표 1.에서 나타난 바와 같이 제안된 방식으로 구성된 룩업 테이블과 기존의

표 1. 룩업 테이블간의 비교
Table 1. Comparison of Lookup Tables.

Input			Conventional			Proposed		
red	green	blue	red	green	blue	red	green	blue
0	0	0	2	27	0	5	24	9
0	0	64	2	17	64	4	15	66
0	0	128	2	18	128	0	16	135
0	0	192	2	27	219	0	24	226
0	0	255	2	36	255	0	33	255
0	64	0	2	64	8	1	61	10
...
255	255	255	243	255	255	247	255	255

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

		red	green	blue	all
Conventional	RMS	8.4	4.8	10.0	13.9
	MAX	40.0	15.9	62.8	66.5
Proposed	RMS	7.8	4.3	8.9	12.5
	MAX	37.9	13.5	43.9	48.1

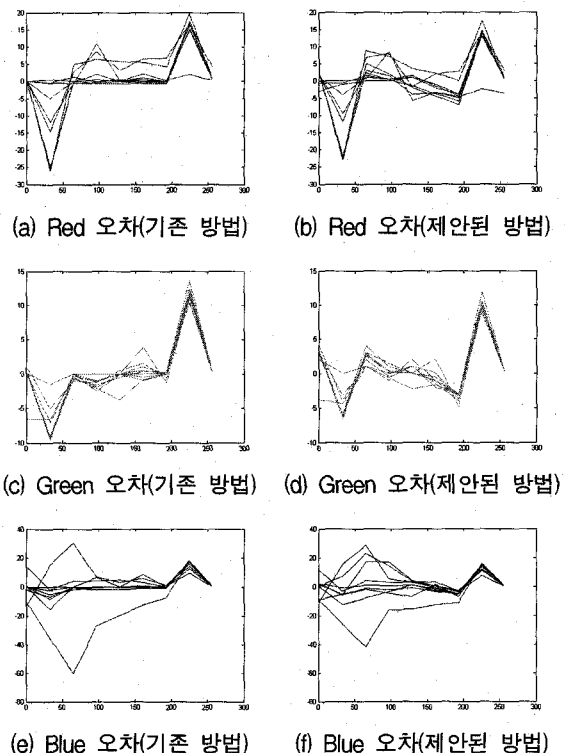


그림 4. 보간 오차의 비교
Fig. 4. Comparison of Interpolation Error.

방식으로 구성된 룩업 테이블은 저장되어 있는 출력 변환 값이 서로 차이를 보이고 있으나, 전체적인 경향은 서로 일치하고 있다. 표 2와 그림 4는 기존의 방식과 제안된 방식간의 보간 오차를 비교하고 있다. 오차는 729개의 표본 입력 위치에서 대해 계산하였다. 표 2에 의하면 제안된 방식이 보간 오차 면에서 기존의 방식보다 우수함을 보여주며 특히 Blue 신호의 경우 제안된 방식의 보간 오차가 크게 개선된 것을 알 수 있다.

V. 결 론

3차원 보간 방법은 룩업 테이블에 저장되어 있는 표본 출력 값들을 이용하여 실시간으로 처리되기 어려운 컬러 신호의 변환을 근사적으로 계산하는 방식이다. 특히, 컬러 디스플레이 장치와 같이 고속 실시간 연산이 요구되는 경우, 3차원 보간기의 성능은 보간 오차 뿐만 아니라, 고속 처리를 위한 연산의 간편성, 룩업 테이블의 구조 및 크기 등이 중요한 요소가 된다. 본 논문에서는 3차원 보간기의 룩업 테이블이 일정한 크기를 가지게 될 경우, 3차원 보간 오차가 최소 자승 관점에서 최소화되는 룩업 테이블 구성 방법을 제안하였다.

제안된 방법은 룩업 테이블의 크기(N_{LUT})보다 많은 수의 표본 입출력 신호가 필요하다. 이는 제안된 방식이 표본 입력이 정의되는 위치에서의 오차를 개선하기 때문에 전체 입력 공간에서의 오차 성능을 개선하기 위해서 세밀하고 고르게 분포된 많은 수의 표본 입출력이 요구되기 때문이다. 또 다른 한편으로는 식 (13)이 정의되기 위해서는 행렬 $A^T A$ 의 rank가 N_{LUT} 이어야 하는데, 이를 충족시키기 위해서는 우선 $N_s \geq N_{LUT}$ 이 요구된다. 따라서 제안된 방식은 기존의 방식에 비해 룩업 테이블을 구성하기 위해 더 많은 수의 표본 입출력을 사전에 계산해야 하는 불리함이 있으나 제안된 방식은 3차원 보간기의 룩업 테이블의 크기를 증대시키지 않으면서 보간 오차를 개선하는 방법으로, 3차원 보간기가 하드웨어등으로 구현될 경우 하드웨어 비용을 줄이는 하나의 방법으로 활용될 수 있다. 또한 제시된 방식은 trilinear interpolation 뿐 만 아니라, PRISM interpolation, tetrahedral interpolation^{[1][9]}등 다른 선형 보간 기법에도 적용이 가능하다.

본 논문에서는 3차원 보간 오차를 red, green, blue로 구성된 컬러 신호 공간에서의 최소 좌승 관점에서 최소화하는 문제를 다루고 있으나, 향후 인간의 색인지 특

성을 감안한 보간 오차 성능을 개선하는 방식에 대한 연구가 요구된다.

참 고 문 헌

- [1] H. S. Chen and H. Koreta, "Color Correction Technique for Hard Copies by 4-Neighbors Interpolation Method," *Journal of Imaging Science and Technology*, Vol. 36, pp. 73-80, 1992.
- [2] J. M. Kasson, W. Plouffe and S. I. Nim, "A tetrahedral interpolation technique for color space conversion", *Proceedings of SPIE--the international society for optical engineering*. Vol. 1909, pp. 127-138, 1993.
- [3] J. M. Kasson, S. I. Nim, W. Plouffe and J. L. Hafner, "Performing color space conversions with three-dimensional linear interpolation", *Journal of Electronic Imaging*, Vol. 4, pp. 226--250 1995.
- [4] 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.
- [5] P. Green, "Colorimetry and Colour difference," *Colour Engineering, Achieving Device Independent Colour*, John Wiley & Sons, pp. 49-77, 2002.
- [6] 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.
- [7] Dongil Han, "A Cost Effective Color Gamut Mapping Architecture for Digital TV Color Reproduction Enhancement," *IEEE Trans. on Consumer Electronics*, vol. 51, no. 1, pp. 168-174, 2005.
- [8] 권도형, 이학성, 김경석, 한동일, "이종 디스플레이 장치간의 색역폭 사상," *전자공학회 하계종합학술대회 논문집II*, 제29권 제1호,691~692쪽, 2006년 6월
- [9] 김경석, 이학성, 권도형, 한동일, "사면체 보간 방법과 3차원 룩업 테이블을 이용한 실시간 색역폭 매핑," *전자공학회 하계종합학술대회 논문집II*, 제 29권 제1호,693~694쪽, 2006년 6월

저 자 소 개



김 주 영(정회원)
 2004년 세종대학교 정보통신 공학과 학사졸업.
 2006년 세종대학교 전자공학과 석사졸업.
 현 재 삼성 SDI(주) PDP 사업부 개발팀 전임연구원

<주관심분야 : 실시간 색역사상, Digital Display 화질 개선, PDP구동회로>



이 학 성(정회원)
 1989년 KAIST 전기및전자공학과 학사졸업.
 1991년 KAIST 전기및전자공학과 석사졸업.
 1996년 KAIST 전기및전자공학과 박사졸업

1996년~1998년 LG 종합 기술원
 1999년~2000년 LG 정밀
 현 세종대학교 전자공학과 부교수
 <주관심분야 : 지능제어, 색역사상, 신호처리>



한 동 일(정회원)
 1988년 고려대학교 전자전산 공학과 학사졸업
 1990년 KAIST 전기 및 전자 공학과 석사졸업
 1995년 KAIST 전기 및 전자 공학과 박사졸업

1995년~2003년 LG전자 디지털 TV 연구소
 현재 세종대학교 컴퓨터공학과 부교수
 <주관심분야 : 영상 처리, 컴퓨터 비전, 디지털 TV, 시스템 온 칩>