

## 색각 이상자들을 위한 실시간 색역폭 사상 구현에 관한 연구

김경석, 이학성, 한동일\*

세종대학교, 전자공학과, 컴퓨터공학과\*

### Implementation of Real Time Color Gamut Mapping for Color Blind

Kyoung-Seok Kim, Hak-Sung Lee and Dong-IL Han

Department of Electronics Engineering, Sejong University

**Abstract** - 색각 이상자는 특성 색상에 대한 판별이 떨어지므로 색 정보에 대한 판별 향상을 위해서는 색상의 적절한 변형이 필요하다. 본 논문은 전 세계의 1/12에 해당하는 색각 이상자를 위한 실시간 색역폭 사상 구현에 관한 것이다. 색각 이상자를 위한 실시간 색역폭 사상은 3차원 룩업 테이블과 이를 이용한 3차원 보간기로 구성이 되며, 여기서 3차원 룩업 테이블은 각각의 색각 이상자들의 특성을 고려한 보정 데이터를 사용한다. 제안된 방식은 DTV와 같이 고속의 영상 신호에 적용이 용이하고 또한 3차원 룩업 테이블의 변경에 따라 여러 유형의 색각 이상자에도 적용이 가능하다.

#### 1. 서 론

최근 세계는 디지털 기술과 인터넷 등 IT 기술의 급속한 발전을 하고 있다. 특히 새롭게 개발된 고 품질의 디스플레이 장치와 초고속의 인터넷을 통한 정보 전달이 활발하며 이 과정에서 색은 중요한 정보 전달의 매체가 된다. 하지만 색상이 정보 전달 매체로서 가진 순기능들은 색각 장애를 가진 사용자에게 오히려 역기능이 될 수 있다. 디지털 멀티미디어 시대에 색을 통한 정보의 전달이 증가하고 다양해지면서, 색각 장애를 가진 사용자는 시각적 정보의 의미가 그들에게 잘못 전달되는 역효과를 낳기도 한다. 이러한 색각 이상자가 정상인에 비해 떨어지는 멀티미디어 콘텐츠에 대한 접근성을 높이기 위한 방법으로 특수 안경이나 필터 등의 특수한 장비를 사용하여 색에 대한 구별을 하기도 하는데, 이러한 장비를 통한 보정은 원본 이미지 전체에 영향을 미쳐 식별이 가능한 부분을 왜곡을 하는 부작용이 있다. 따라서 부작용이 없는 보정을 위해서는 시각 장애자들의 특성에 따라 정상인과 다르게 보이는 영상 이미지에 대한 부분적인 보정이 필요하다.

본 연구는 색각 장애를 가진 사용자가 인지하는 색 특성을 파악하고 이 특징을 실시간 색역폭 변환 장치로 보정하여 그들의 시각 정보를 보다 정확히 인지할 수 있도록 하고자 한다. 특히 기존의 Christine과 Brettel의 데이터를 사면체 사상 기법으로 3D-LUT data를 생성하여 색역폭 변환에 적용하는 실험을 통해 실시간 변환 장치를 검증한다.

#### 2. 색각 이상과 기존의 보정 방식

인간의 색상인지는 망막에서 이루어지며, 망막에 있는 신경 세포에서 색을 느끼는 기능을 하는 세포는 원추세포와 간상세포가 있다. 특히 빛이 강할 때 주로 작용하는 원추 세포는 파장에 따라 민감도가 다르며, 파장의 최고 민감도에 따라 S(419nm), M(513nm), L(558nm)로 분류된다. 인간은 이 세 가지 원추세포가 빛에 따라 반응하는 신호의 비율에 따라 색상을 인지한다.

색각 이상은 이 원추세포 중 일부가 없거나 정상적이지 못한 상태를 말한다. 색각 이상의 분류는 적색과 녹색을 식별하는 능력이 없는 적록 색맹 그리고 청색과 황색이 느껴지지 않는 청황색맹이 있다. 특히 가장 많이 존재하는 적록색맹은 적색이 아주 어둡게 보여 갈색에 가깝거나 회색기미의 황색으로 보이는 적색맹과 녹색이 황색으로 보이며, 저채도의 녹색은 회색에 가깝게 보이는 녹색맹으로 분류된다. 색약의 경우 그 정도 색맹에 비해 다소 약한 색각 이상자들을 말하는데, 색약자 가운데 가장 많은 적록색약은 적색과 녹색은 약간 볼 수 있으나, 정도에 따라 심한 경우 적록색맹과 다름없을 정도로 아주 약한 경우까지 있다.

색각 이상자를 위한 연구는 두 가지 과정으로 접근하는데, 웹 설계나 문서를 작성할 때 정상인에게 작성된 문서를 색각 이상자들이 어떻게 보는지 모사하여 보여줌으로써 영상 정보에 대해 색각 이상자가 경험하는 혼란을 미리 검사하여 회피하도록 하는데 도움을 주는 것과, 각각의 색각 이상자들의 특성에 맞는 보정을 통한 영상이나 그래픽에 대한 색각 이상자들의 접근성을 높이는 과정이다. 모사에 대한 연구는 그린버그의 연구 결과를 수정하여 구현한 프로그램인 Vischeck[8]와 망막 좌표계인 LMS 공간에 색의 특성을 규정하고, 원래의 주어진 영상의 R, G, B 값을 대입하여 색맹을 모사하는 R, G, B 값을 계산하는 Brettel의 연구[7], 그리고 웹에서 사용되는 표준 팔레트 색상에 대하여 제 1색맹, 제 2색맹, 제 3색맹을 모사하기 위한 216개의 팔레트 색상을 정의한 Christine의 연구가 있다.[5]

Christine의 경우 적록 색맹에게 적용할 수 있는 팔레트를 제안했는데, 이 팔레트는 웹 제작자가 권고 수칙을 따라서 제작할 때만 그 효과가 나오는 한계가 있다.[5] 그밖에 색각 이상자를 위한 연구로는 Holly G. Atkinson 등은 프로그램을 통해 컴퓨터상에서 색각 이상 검사를 하여 색각 이상에 대응되는 팔레트를 제공하는 특허를 제시하였다.[6] 하지만 그 변환 방식에 대한 설명은 없다. 그리고 영국의 BTextac Technologies에서 웹 디자인에 관련된 상업적인 색맹 관련 서비스와 컨설팅을 업무로 하고 있고,[13] Vischeck에서 TV 등 비디오 현시 장치에 대한 컨설팅 및 특허 판매를 하고 있는데 이시하라 시험을 통과하지는 못하지만 그림을 구별가능 하게 한다.[8] 하지만, 분석에 많은 시간이 소요되어 실시간 변환이 어렵다. 국내의 연구로는 청주대에서 발표한 "전자 문서용 색각 장애 보정 소프트웨어 개발"이 있는데, 크리스틴이 제안한 216 팔레트를 보완한 256 팔레트를 윈도우 팔레트에 적용함으로써 윈도우에서 다중 창에 적용이 가능한 소프트웨어를 개발하였다. 하지만 256팔레트에서만 적용 가능하다는 한계가 존재한다.[1] 그리고 삼성 PDP TV와 모니터에 적용이 되고 있는 기술로 MPEG-21을 기반으로 한국전자통신연구원(ETRI)와 인터넷정보가 개발한 변환 기술이 실제로 적용되고 있는 사례로 들 수 있다.[14]

### 3. 실시간 색역폭 변환 장치

### 4. LUT data 생성

색역폭 변환에 있어 입력되는 각각의 RGB에 대하여 출력되는 RGB 값을 저장 후 대응시켜 디스플레이 장치로 하여금 원하는 색 재현성을 나타내도록 하는 방법이 이론적으로 가장 완벽한 방법이나 실제 구현에 있어서는 256×256×256×3 바이트의 저장 공간이 필요하며 이를 ASIC으로 구현 시 약 5억 개의이트의 하드웨어를 필요로 하기 때문에 구현이 불가능하다. 따라서 하드웨어의 양을 대폭 줄이기 위한 방법으로 3차원 룩업테이블을 이용한 방법을 사용한다.

3차원 룩업 테이블은 실제 하드웨어로 구현 시 8개의 1차원 룩업테이블에 입력된 R, G, B에 대응하는 점들이 저장되며, 8개의 1차원 룩업 테이블 각각은 3차원 입방체의 하나의 꼭지점 데이터를 제공하게 되어 육면체 보간에 사용된다. 그림 1을 통해서 알 수 있듯이 3차원 룩업 테이블의 경우는 R, G, B 값에 대해서 색 변환 데이터를 저장하는 용도로 사용되는데, 이때 모든 입력 신호에 대한 변환 값을 저장하지 않고 입력 신호의 레벨을 적절히 샘플링하여 한정된 대표 좌표의 변환 값만을 저장하게 된다.[10] 3차원 룩업 테이블을 구성하기 위하여 컬러 신호의 32레벨 단위의 샘플링 된 부분에서 색 변환 값을 저장하는 경우 컬러 신호의 상위 3비트를 이용하여 색 변환 값을 저장하게 되며, 그 표현은 Rin, Gin, Bin의 입력 신호와 색 변환 함수 GMcomponent(.)으로 표현될 수 있다.

$$\text{Rout}[7:0] = \text{GMred}(\text{Rin}[7:5], \text{Gin}[7:5], \text{Bin}[7:5]) \quad (1)$$

$$\text{Gout}[7:0] = \text{GMgreen}(\text{Rin}[7:5], \text{Gin}[7:5], \text{Bin}[7:5]) \quad (2)$$

$$\text{Bout}[7:0] = \text{GMblue}(\text{Rin}[7:5], \text{Gin}[7:5], \text{Bin}[7:5]) \quad (3)$$

이러한 구조를 이용한 변환의 경우 다양한 색 변환의 수행을 통해서, 변환 규칙을 저장하기 위하여 R, G, B 각각의 신호에 대해서 8비트나 10비트의 전체 영상 정보를 저장할 필요가 없으며 전체적인 하드웨어 구현 비용을 대폭 절감할 수 있다.[10]

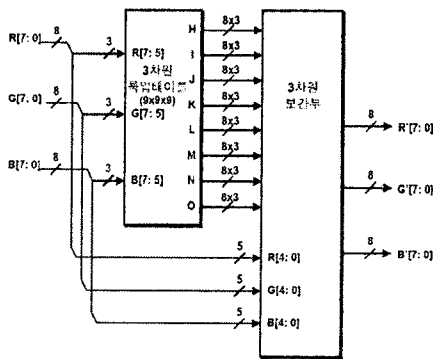


그림 1. 3차원 색역폭 변환 장치

3차원 룩업테이블을 하드웨어로 구현할 때 8개의 1차원 룩업 테이블과, 각각의 R, G, B 입력 값에 대해서 대응하는 데이터가 저장된 위치를 계산해 내는 역할을 수행하는 어드레스 디코더와 8개의 룩업 테이블에서 제공하는 데이터들을 8개의 꼭지점 위치로 변환시켜 주는 데이터 스위치부로 구성이 되어 있다. 그리고 3차원 보간부는 입력되는 8개의 꼭지점에서의 색변환 값과 입력 영상이 LSB 부분의 영상 데이터를 이용하여 입력 영상에 해당하는 차분 색 변환 값을 출력하는 역할을 한다.

이러한 하드웨어 구조를 통해 실시간 색역폭 변환과 함께 비용 감소라는 장점을 가져오게 되는데, 이 3차원 룩업 테이블에 색각 이상자를 위한 변환 데이터를 저장함으로써 색각 이상자를 위한 실시간 변환 장치를 개발할 수 있게 된다.

#### 4.1 사면체 보간을 통한 LUT DATA 생성

본 연구는 디스플레이 장치가 재현하는 컬러 영상의 색 재현성을 실시간으로 향상시키는 장치에 관한 것으로, 3차원 룩업 테이블을 이용하여 입력 영상의 컬러를 특정 색각 이상자에 맞게 실시간으로 보정하기 때문에 사용자인 색각 이상자에게 적용할 수 있는 보정 데이터가 필요하다.

영국의 Christine은 웹에서 사용되는 표준 팔레트 색상에 대하여 제 1색맹, 제 2색맹과 제 3색맹을 모사하기 위한 216개의 팔레트 색상을 정의 하였다. 그리고 또한 2000년 7월 웹에서 적록 색맹에게 적용할 수 있는 216개의 팔레트 색상을 표준으로 제안하였다.[2] 이 팔레트를 이용하여 LUT data를 생성하면, 색각 이상자들의 시각에서 보여주는 모사가 가능하고 또한, 적록 색맹의 보정 팔레트를 이용하면 적록 색맹이 영상에 대한 접근성을 높일 수 있게 된다.

본 연구에서 실시간 색역폭 변환을 위해 R, G, B 값의 상위 3비트를 이용한 3차원 색역폭 변환 장치를 구현하게 되는데, 이 경우 각각의 컬러 입력 값은 8개의 구간으로 나누어지고 보간을 위해서 각 컬러 입력 채널당 9개의 색 변환 값이 필요하다. 따라서 9×9×9 = 729개의 변환 데이터가 필요하다. Christine이 제안한 팔레트 데이터는 216개이므로 이 데이터를 이용하여서 729개의 데이터를 생성해주어야 한다. 이 데이터를 생성하는 것은 사면체 보간 방법을 사용하였는데, 사면체 보간 방법은 수행이 다른 방법보다 쉽고, 4개의 사면체 평면이 평평해서 임의의 칼라 값이 그 사면체에 속하는 지의 유무를 쉽게 판단할 수 있다. 또한 기존의 다른 보간 방법들에 비해 네 개의 꼭지점 값만으로 보간이 수행됨으로써, 보간의 정확도를 유지하면서 계산 량이 감소하는 장점이 있기 때문에 사면체 보간 방식을 이용하였다.[12]

색 공간을 사면체로 나눈 방법은 그림 2의 Po-Chieh Hung이 인용한 방법으로 색 공간을 나누었다.[11] 보간 단계는 먼저 보간 할 점을 포함하고 있는 육면체를 구하고 난 뒤, 6개의 사면체로 분할을 한다.

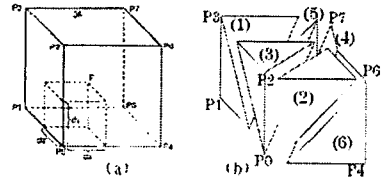


그림 2. 한개의 육면체에서 사면체 분할

그리고 그림3의 상태식으로 보간할 점을 포함하고 있는 사면체를 육면체 속에서 구한다. 사면체 보간은 육면체 보간에 비해 간단한 연산 과정이 이루어지는데 일반적인 사면체의 보간 식은 아래의 식 (4)와 같다.

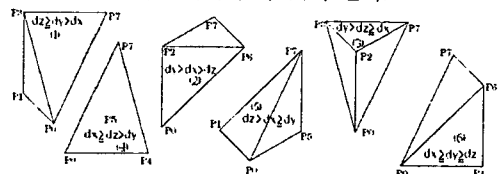


그림 3. 6개의 사면체와 그 상태를 나타내는 식

$$V = (h_0V_0 + h_1V_1 + h_2V_2 + h_3V_3)/32 \quad (4)$$

예로, (1)의 사면체의 경우  $dz > dy > dx$ 인 사면체이고,  
 $h_0=32-dz, h_1=dy-dz, h_2=dz-dy, h_3=dx$  (5)

$$V_0=P_0, V_1=P_3, V_2=P_1, V_3=P_7, \quad (6)$$

를 일반식에 적용하는 과정을 통해서 보간이 수행된다.

#### 4.2 Brettel의 색맹 모사

Brettel은 망막 좌표계인 LMS 공간에 색맹의 특성을 규정하고, 원래의 주어진 영상의 R, G, B 값을 대입하여 CRT 화면에 나타나는 규정된 색맹을 모사하는 R, G, B 값을 계산하는 연구 결과를 발표하였다.[7]

R, G, B에서 L, M, S로 변환과 그 역 변환은 아래의 식과 같이 되는데, Brettel이 CRT에서 얻은 결과이다.

$$\begin{bmatrix} L \\ M \\ S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.1992 & 0.41112 & 0.0742 \\ 0.0353 & 0.2226 & 0.0574 \\ 0.0185 & 0.1231 & 1.3550 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (7)$$

그리고 LMS 영역에서 모사 알고리즘은 아래의 표와 같이 적, 녹, 청 색맹에 대한 모사식을 제안하였다.

표 1. Brettel의 색각 이상자에 대한 모사 식

적 색맹 모사	녹 색맹 모사	상수 값
$L_{Q'} = -(bM_Q + cS_Q)/b$	$L_{Q'} = L_Q$	$a = M_E S_A - S_E M_A$
$M_{Q'} = M_Q$	$M_{Q'} = -(aL_Q + cS_Q)/b$	$b = S_E L_A - L_E S_A$
$S_{Q'} = S_Q$	$S_{Q'} = S_Q$	$c = L_E M_A - M_E L_A$

Brettel의 논문의 경우 색각 이상에 대한 모사를 수학적 방법으로 접근하였으며, 여러 연구와 구현에서 그 근거가 되고 있다. 본 연구에서 Brettel이 제안한 모사식을 이용하여 729 LUT data를 계산하였고, 그 data를 LUT에 실시간 변환 장치에 적용하였다.

#### 5. 실험 결과

본 연구에서 제안한 실시간 색역폭 변환 장치에 대한 실험은 Christine이 제안한 모사 팔레트와 Brettel이 제안한 모사 식을 이용한 모사 데이터를 적용하는 과정을 통해서 검증하였다.

그림 3의 (b)는 Christine이 자체 실험한 제 1색맹 모사 이미지이고 (c)는 Christine의 제 1색맹 모사 데이터를 사면체 보간을 통한 3D-LUT data를 생성한 후 실시간 변환 장치에 적용한 이미지이다. 두 이미지를 비교할 때 크게 차이가 나지 않음을 알 수 있다.



(a) The original image (b) After applying the protan palette (c) After applying the protan palette by 3D-interpolation

그림 3. Christine 모사 palette에 관한 실험결과

그리고 아래의 그림4는 Brettel의 모사 식을 적용한 실험 결과로서 (a)의 이미지는 Brettel이 자체 실험한 이미지로 웹에서 가져온 이미지이고 (b)의 이미지는 Brettel이 제안한 모사 식을 사용하여 계산한 LUT data를 3차원 보간기에 적용한 이미지이다.



(a) A simulation of protanopia by Brettel (b) The Applying image with Brettel's theory by 3D-interpolation

그림 4. Brettel 모사 식을 적용한 실험 결과

Christine과 Brettel의 색각 이상 모사에 대한 두 결과를 볼때 사람의 육안으로는 그 이미지들의 차이를 구별하기

힘들다는 것을 알 수 있었다.

#### 6. 결론

본 논문은 색각 이상자들을 위한 실시간 색역폭 변환을 위한 하드웨어 구현과 그 방법, 그리고 실험 결과를 소개하였다. 모의실험을 통해 제안된 방식의 유용성을 밝혔다. 또한 제안된 방식은 실시간 처리가 가능하므로 정지 영상뿐만 아니라 DTV와 같은 고속의 동영상에도 적용이 가능하다.

#### 감사의 글

본 연구는 한국과학재단 특정기초연구(R01-2003-000-1078 5)지원으로 수행되었음.

#### [참고 문헌]

- [1] 장영건, "색각 장애자를 위한 색각 보정 시스템의 설계 및 구현", 한국 정보과학회 2002 가을 학술 발표 논문집, 29권, pp181-183, 2002
- [2] Christine Rigden, "Now You See It, Now You Don't", IEEE Computer, Vol 35, NO. 7, pp104-105, 2002
- [3] 남명화, 손무식, "선천성 색각 이상자 100명에 있어서 Nagel 씨 Anomaloscope에 의한 색각 이상의 분류", 한국안과학회지, 제 21권, pp511-515, 1980
- [4] 양승지, "MPEG-21 디지털 아이템 적용변환을 위한 시각 장애 서술자에 관한 연구", 방송공학회논문지, 제8권 제4호, pp351-364
- [5] Christine Rigden, "The Eye of the Beholde-Designinig for Colour-Vlind Users," British Telecommunications Engineering, Vol.17, pp291-295, Jan., 1999.
- [6] Holly G. Atkinson, Bridgewater, Conn, "Method and Sustum for Color Vision Deficiency Correction," United Satates Patent, Dec., 1996.
- [7] H. Brettel, F. vienot & J. D. Mollon, "Computrized simulation of color appearance for dichromats," journal of the Optical Society of America A, Vol.14, No.10, pp2647-2655, 1997.
- [8] <http://www.vischenck.com/>.
- [9] 김민섭, 논문남, 이진, 위원량, 이진학, 서한전사화 색각 검사(1): "전산화된 색각 검사의 개발 및 시험 연구", 대한 안과학회지, 제 41권 제 1호, pp205-214, 2000
- [10] 한동일, "색역폭 매핑을 이용한 디지털 TV 디스플레이 장치의 화질 개선", 대한전기공학회 하계종합 학술 대회, 제26권 제 1호, pp1779-1782, 2003.
- [11] 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
- [12] 조양호, 김윤태, 이철희, 하영호, "휘도 대비와 채도 향상을 위한 색 공간 분할 색역 사상" 대한 전자공학회 논문지, 제 39권 제 5호, pp37-45, 2002
- [13] <http://www.btexact.com>
- [14] <http://www.movain.com/>