

Reflectance 값을 이용하여 Metamerism 문제를 극복하는 칼라 스캐너 특성화

윤창락*, 강병호, 김진서, 김홍기, 한규서, 조맹섭
컴퓨터/소프트웨어기술연구소, 휴민컴퓨팅연구부
한국전자통신연구원

Color Scanner Characterization to Overcome the Metamerism Problem by Using the Reflectance Values

Chang-rak Yoon, Byung-ho Kang, Jin-seo Kim, Hong-ki Kim, Kyu-seo Han, Maeng-sub Cho
Human Computing Dept.
CST Lab, ETRI

요 약

디지털 이미징(Digital Imaging) 분야에서 칼라 스캐너와 칼라 디지털 카메라와 같은 입력 장비들을 통하여 획득된 디지털 이미지는 장비 의존적인(Device Dependent) RGB 칼라값으로 표현된다. 이러한 장비 의존적인 디지털 칼라 이미지는 인간 시각 체계의 칼라 인지 능력과 일치하지 않으므로 왜곡된 칼라를 제공하게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 장비 의존적인 RGB 칼라값을 장비 독립적인(Device Independent) XYZ 칼라값으로 변환하는 다양한 연구가 수행중이다[1-3]. 그러나, 이러한 연구 방법들은 서로 다른 Reflectance 값을 가지는 두 칼라가 특정한 환경하에서 동일한 XYZ 칼라값을 가지고, 또 다른 환경하에서 서로 다른 XYZ 칼라값을 가지는 Metamerism 문제를 해결할 수 없다. 본 논문은 이러한 Metamerism 문제를 해결하기 위해 RGB 칼라값을 Reflectance 값으로 변환하였고, 기존의 연구 결과와 비교하였다.

1. 서론

디지털 이미징 분야에서 칼라 스캐너는 칼라 디지털 이미지를 획득하는 중요한 수단으로 사용된다. 그러나, 칼라 스캐너는 장비 의존적인 RGB 칼라값을 사용하므로 인간의 칼라 인지 능력과는 일치하지 않는 문제점을 가진다. 이러한 문제점은 칼라 디지털 이미지를 사용하는 여러 분야에서 심각한 오류를 발생시킬 수 있다[1].

따라서, 장비 의존적인 RGB 칼라값을 인간의 칼라 인지 능력과 일치시키기 위해 장비 독립적인 XYZ 칼라값으로 변환시키는 연구가 활발히 이루어지고 있다. 그러나, 이러한 기존의 연구 방법들은 서로 다른 Reflectance 값을 가지는 두 칼라가 특정한 환경하에서 동일한 XYZ 칼라값을 가지고, 또 다른 환경하에서 서로 다른 XYZ 칼라값을 가지는 Metamerism 문

제를 해결할 수는 없다. Metamerism 문제는 실제로는 다른 칼라이지만 임의의 환경하에서는 같은 칼라로 인식할 수 있으므로, 정확한 칼라를 판단하고 재생하는 데 심각한 오류를 발생시킬 수 있다[2].

본 논문에서는 칼라 스캐너의 장비 의존적인 RGB 칼라값을 장비 독립적인 Reflectance 값으로 변환시켜 Metamerism 문제를 해결한다. 또한, 본 논문에서는 기존의 XYZ 칼라값으로의 변환 방법과 본 논문에서 제안한 방법을 비교 분석한다.

2. Reflectance 값을 이용한 칼라 스캐너 특성화

본 논문에서는 칼라 스캐너 특성화를 위한 모델링 데이터로 ANSI IT8.7/2 chart를 사용하였고, 같은 칼라 샘플로 각 모델에 대한 평가

를 수행하였다.

본 논문에서는 RGB 칼라값을 XYZ 칼라값으로 변환시키는데 모델 1, 2, 3, 4를 사용하였다. 각 모델은 아래와 같다.

모델 1. 1st order polynomial mapping

$$\begin{aligned} X &= a_{11}R + a_{12}G + a_{13}B \\ Y &= a_{21}R + a_{22}G + a_{23}B \\ Z &= a_{31}R + a_{32}G + a_{33}B \end{aligned}$$

모델 2. 모델 1 + black term

$$\begin{aligned} X &= a_{11}R + a_{12}G + a_{13}B + k_1 \\ Y &= a_{21}R + a_{22}G + a_{23}B + k_2 \\ Z &= a_{31}R + a_{32}G + a_{33}B + k_3 \end{aligned}$$

모델 3. 2nd order polynomial mapping

$$\begin{aligned} X &= a_{11}R + a_{12}G + a_{13}B + a_{14}RG + a_{15}GB + a_{16}BR + \\ &+ a_{17}R^2 + a_{18}G^2 + a_{19}B^2 \\ Y &= a_{21}R + a_{22}G + a_{23}B + a_{24}RG + a_{25}GB + a_{26}BR + \\ &+ a_{27}R^2 + a_{28}G^2 + a_{29}B^2 \\ Z &= a_{31}R + a_{32}G + a_{33}B + a_{34}RG + a_{35}GB + a_{36}BR + \\ &+ a_{37}R^2 + a_{38}G^2 + a_{39}B^2 \end{aligned}$$

모델 4. 모델 3 + black term

$$\begin{aligned} X &= a_{11}R + a_{12}G + a_{13}B + a_{14}RG + a_{15}GB + a_{16}BR + \\ &+ a_{17}R^2 + a_{18}G^2 + a_{19}B^2 + k_1 \\ Y &= a_{21}R + a_{22}G + a_{23}B + a_{24}RG + a_{25}GB + a_{26}BR + \\ &+ a_{27}R^2 + a_{28}G^2 + a_{29}B^2 + k_2 \\ Z &= a_{31}R + a_{32}G + a_{33}B + a_{34}RG + a_{35}GB + a_{36}BR + \\ &+ a_{37}R^2 + a_{38}G^2 + a_{39}B^2 - k_3 \end{aligned}$$

각 모델의 파라미터들은 polynomial mapping 방법을 이용하여 획득하였다.

본 논문에서 제안하는 RGB 칼라값을 Reflectance 값으로 변환하는 모델은 아래와 같다.

모델 5. 1st order polynomial mapping

$$\begin{aligned} R(\lambda_1) &= a_{11}R + a_{12}G + a_{13}B \\ R(\lambda_2) &= a_{21}R + a_{22}G + a_{23}B \\ &: \\ R(\lambda_N) &= a_{N1}R + a_{N2}G + a_{N3}B \end{aligned}$$

모델 6. 모델 5 + black term

$$\begin{aligned} R(\lambda_1) &= a_{11}R + a_{12}G + a_{13}B + k_1 \\ R(\lambda_2) &= a_{21}R + a_{22}G + a_{23}B + k_2 \\ &: \\ R(\lambda_N) &= a_{N1}R + a_{N2}G + a_{N3}B + k_N \end{aligned}$$

모델 7. 2nd order polynomial mapping

$$\begin{aligned} R(\lambda_1) &= a_{11}R + a_{12}G + a_{13}B + a_{14}RG + a_{15}GB + a_{16}BR + \\ &+ a_{17}R^2 + a_{18}G^2 + a_{19}B^2 \\ R(\lambda_2) &= a_{21}R + a_{22}G + a_{23}B + a_{24}RG + a_{25}GB + a_{26}BR \end{aligned}$$

$$+ a_{27}R^2 + a_{28}G^2 + a_{29}B^2$$

:

$$R(\lambda_N) = a_{N1}R + a_{N2}G + a_{N3}B + a_{N4}RG + a_{N5}GB + a_{N6}BR + a_{N7}R^2 + a_{N8}G^2 + a_{N9}B^2$$

모델 8. 모델 7 + black term

$$\begin{aligned} R(\lambda_1) &= a_{11}R + a_{12}G + a_{13}B + a_{14}RG + a_{15}GB + a_{16}BR + \\ &+ a_{17}R^2 + a_{18}G^2 + a_{19}B^2 + k_1 \\ R(\lambda_2) &= a_{21}R + a_{22}G + a_{23}B + a_{24}RG + a_{25}GB + a_{26}BR + \\ &+ a_{27}R^2 + a_{28}G^2 + a_{29}B^2 + k_2 \end{aligned}$$

:

$$R(\lambda_N) = a_{N1}R + a_{N2}G + a_{N3}B + a_{N4}RG + a_{N5}GB + a_{N6}BR + a_{N7}R^2 + a_{N8}G^2 + a_{N9}B^2 + k_N$$

3. 실험 및 결과분석

본 논문에서 제안한 RGB-to-Reflectance 변환 모델은 Reflectance 값을 이용하므로 다양한 광원에 대하여 다른 파라미터값들을 이용하여 XYZ 칼라값으로 변환할 수 있다. [식 1]은 Reflectance 값을 임의의 광원에 대하여 XYZ 칼라값으로 변환하는 식이다

$$\begin{aligned} X &= \sum_{360}^{780} W_x(\lambda) R(\lambda) \Delta\lambda \\ Y &= \sum_{360}^{780} W_y(\lambda) R(\lambda) \Delta\lambda \\ Z &= \sum_{360}^{780} W_z(\lambda) R(\lambda) \Delta\lambda \end{aligned} \quad \text{[식 1]}$$

본 논문에서는 기존의 RGB-to-XYZ 변환 모델과 본 논문에서 제안한 RGB-to-Reflectance 변환 모델을 비교하기 위해 각 모델의 결과값을 균등 칼라 값인 CIE L*a*b* 칼라값으로 변환한다. 변환식은 [식 2]와 같다.

$$\begin{aligned} L^* &= 116(Y/Y_0)^{1/3} - 16 \quad \text{for } Y/Y_0 > 0.008856 \\ L^* &= 903(Y/Y_0) \quad \text{for } Y/Y_0 \leq 0.008856 \\ a^* &= 500[(X/X_0)^{1/3} - (Y/Y_0)^{1/3}] \\ b^* &= 200[(Y/Y_0)^{1/3} - (Z/Z_0)^{1/3}] \end{aligned} \quad \text{[식 2]}$$

본 논문에서는 각 모델의 성능을 평가하기 위해 모델의 결과 칼라값과 측정된 칼라값들간의 칼라 차이를 CIE L*C*h* 칼라값들간의 차이인 CMC(1c)를 계산하여 구한다. [식 3]은 CIE L*a*b* 칼라값을 CIE L*C*h* 칼라값으로 변환하는 식이다.

$$C^* = [(a^*)^2 + (b^*)^2]^{1/2}$$

$h^* = \tan^{-1}(b^*/a^*)$ [식 3]

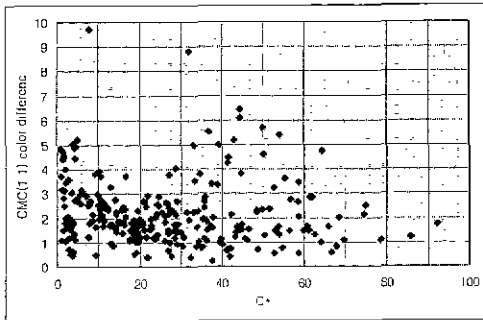
본 논문에서 제안한 각 모델의 성능은 [표 1]과 같다.

[표 1] 모델의 성능 분석표

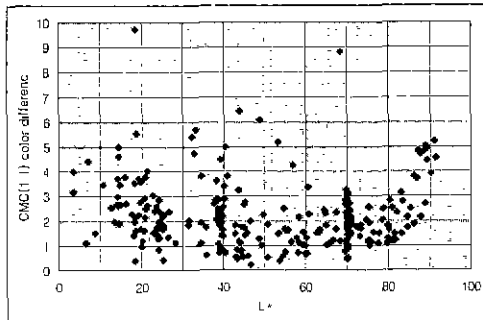
CMC(1) color difference		Average	Maximum	Median
RGB to XYZ 변환	모델 1	3.14	10.55	2.86
	모델 2	3.94	23.52	2.51
	모델 3	2.96	10.96	2.48
	모델 4	2.73	10.46	2.26
RGB to Reflectance 변환	모델 5	3.18	10.84	3.05
	모델 6	3.63	11.42	3.58
	모델 7	2.51	8.90	2.16
	모델 8	2.20	9.71	1.87

[표 1]에서 기존의 RGB-to-XYZ 변환 모델보다 본 논문에서 제안한 RGB-to-Reflectance 변환 모델이 더 나은 성능을 보인다

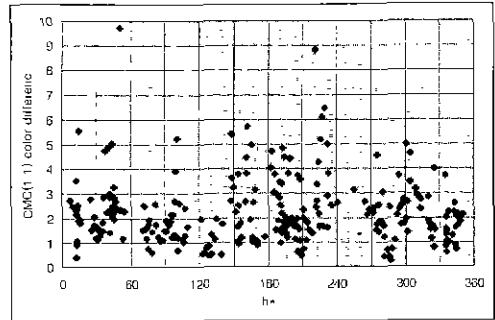
아래의 그림들은 모델 8의 실험 결과의 칼라 차이와 CIE L*C*h* 값들간의 분포도이다. 각 그림들을 이용하여 모델 8이 가지는 특성을 파악할 수 있다



[그림 1] CIE L* 값의 칼라차이 분포도



[그림 2] CIE C* 값의 칼라차이 분포도



[그림 3] CIE h* 값과 칼라차이 분포도

4. 결론

본 논문에서는 RGB-to-XYZ 변환을 사용하는 칼라 스캐너 특성화 방법이 해결하지 못하는 Metamerism 문제를 해결하기 위해 RGB-to-Reflectance 변환을 이용한 칼라 스캐너 특성화 방법을 제안하였다.

본 논문에서 제안한 RGB-to-Reflectance 변환 방법을 이용한 칼라 스캐너 특성화의 결과는 기존의 RGB-to-XYZ 변환을 이용한 칼라 스캐너 특성화의 결과보다 더 나은 결과를 보이며, Metamerism 문제를 해결할 수 있다.

본 논문에서는 4가지의 RGB-to-Reflectance 변환 모델을 사용하였으나, 다양한 변환 모델을 개발하고 적용시켜 성능을 향상시킬 수 있다.

참고문헌

- [1] T. Johnson, "Methods for characterising colour scanners and digital cameras," Displays, Vol 16, No 4, 1996
- [2] R. W G Hunt, The Reproduction of colour, Fifth Ed., Fountain Press 1995
- [3] H R Kang, "Color Scanner Calibration." Journal of Imaging Science and Technology, Vol. 36, No. 2, 1992.