

동영상 화질 개선을 위한 Constant Luminance 적용에 관한 연구

김진서*, 강병호*, 조맹섭*
*한국전자통신연구원 컬러이미징연구팀
e-mail : kjseo@etri.re.kr

A Study on Applying Constant Luminance for Quality Enhancement of Moving Images

Jin-Seo Kim*, Byoung-Ho Kang*, Maeng-Sub Cho*
*Color Imaging Research Team, CSRL/ETRI

요 약

휘도 신호만을 이용한 흑백 TV 에서부터 오늘날의 디지털 HDTV 에 이르기까지의 TV 시스템에서 사용되어 온 영상 신호의 생성, 전송 및 재생 방법은 HDTV, 디지털 시네마 등 영상 시스템의 획기적인 발전과 더불어, 보다 고선명, 고화질을 요구하게 되었다. 본 논문에서는 기존의 TV 시스템에서의 영상재생 결과와, constant luminance 방법에 의한 영상 재생 결과를 관찰자 평가 실험을 통해 비교 분석한 데이터를 제시한다.

1. 서론

휘도 신호의 정확한 재생 및 전송을 통해 원 영상 신호 정보를 왜곡하지 않고 사용자의 디지털 TV 시스템에 출력하는 것이 현재 디지털 HDTV 시스템이 추구하는 최종 목표라 할 수 있다. TV 시스템의 발명 이후 현재까지 사용되고 있는 영상 신호의 생성 방법으로 영상의 색차 신호를 계산하는 경우, 색차 신호간의 원하지 않는 간섭이 생기며, 이러한 간섭을 해소하기 위해 고안된 알고리즘이 constant luminance 알고리즘이다. 그림 1 및 그림 2 는 constant luminance 알고리즘을 이용한 encoding 및 decoding 방법을 나타낸다.

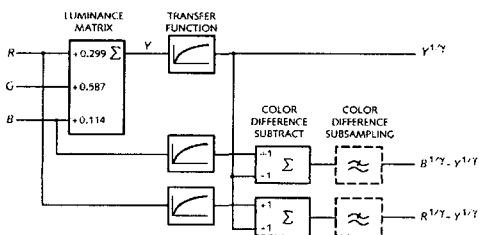


그림 1 Constant Luminance Encoding

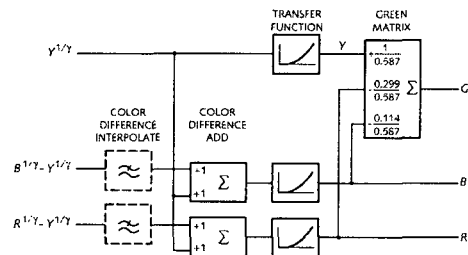


그림 2 Constant Luminance Decoding

본 논문에서는 constant luminance 알고리즘을 구현하고, 이를 이용한 관찰자 실험 환경을 구성하고, 정지영상 및 동영상에 대한 관찰자 실험을 수행하였다. 본 논문은 2001 년도에 발표되었던 “TV 영상에서의 Constant Luminance 효과에 관한 연구”의 후속 실험 및 연구 결과에 대하여 기술한다.

2. 관찰자 실험

실험 1 과 실험 2 라고 규정한 2 회에 걸친 관찰자 실험

험이 수행되었다. 각각의 실험에 대한 자세한 내용 및 실험 결과 분석에 대해 알아보면 다음과 같다.

2.1 실험 1

2.1.1 장비

이전에 수행했던 실험과 동일한 장비인 BARCO CRT 모니터를 본 실험의 디스플레이 장비로 사용하였다. 모니터에 대한 초기화 방법 및 특성화 작업은 이전 실험과 동일한 조건으로 이루어졌다.

2.1.2 실험 영상

본 실험에서는 "Ski", "IT8", "Color bar", 그리고 "Z20"의 총 4 가지 정지 영상이 사용되었다. Ski 와 IT8 영상은 정지 영상의 컬러 화질 평가에 표준으로 사용되는 영상이며, color bar 와 Z20 은 constant luminance 신호 처리의 효과를 알아보기 위해 제작된 영상이다[3].

2.1.3 관찰자

본 실험은 8 명의 정상적인 시력을 가진 사람을 대상으로 수행되었으며, 모든 관찰자들이 컬러 과학 및 컬러 특성에 숙련된 사람들로 실험이 진행되었다.

2.1.4 실험 방법

본 실험은 암실 환경 하에서 수행되었으며, 모든 장비들은 D65 의 색온도로 조정하여 실험에 사용되었다. 실험은 두 단계로 구성되어 있으며, 첫 번째 단계는 영상의 전반적인 *pleasantness* 에 대한 평가로 이루어지고, 두 번째 단계는 영상의 전반적인 품질과 각 컬러 영역별 *accuracy* 를 평가하게 된다. 첫번째 단계에서 원래 영상을 화면의 가운데에 10 초 동안 디스플레이 하고 잔상을 제거하기 위해 회색조의 *neutral* 영상을 5 초 동안 디스플레이 한다. 다음으로 화면의 한쪽은 *conventional* 방법으로 변환된 영상을 디스플레이 하고, 다른 쪽은 *constant luminance* 방법으로 변환된 영상을 디스플레이 한다. 관찰자들은 하나의 영상에 대하여 10 초 이내에 원하는 경우 원래 영상을 디스플레이 하여 알고리즘을 이용하여 변환한 영상과의 품질을 비교하여 *conventional* 방법과 *constant luminance* 방법 중 마음에 드는 화면(*pleasantness*)을 결정하게 된다. 두 번째 단계는 첫번째 단계에서와 같이 원래 영상을 10 초 동안 디스플레이 한 다음, *neutral* 영상을 5 초 동안 디스플레이 한 후 *constant luminance* 방법과 *conventional* 방법으로 변환된 영상을 화면의 양쪽에 디스플레이 하고 관찰자는 10 초 동안 원래 영상과 변환된 영상을 반복하여 디스플레이 하여 *conventional* 방법과 *constant luminance* 방법 중 어느쪽이 원래 영상과 더 가까운지 선택하게 된다.

2.1.5 실험 결과 분석

Conventional 방법과 *constant luminance* 방법으로 변환한 영상과 원래 영상과의 CIELAB 색차를 계산한 결과는 표 1 및 표 2 와 같다. 이상의 색차 계산은 원래 영상과 두 가지 알고리즘 방법으로 변환한 영상에 대한 정량적인 색차를 알아보기 위해 수행되었다. 표 1 및 표 2 에서 보면 전반적인 색차는 *constant luminance*

방법이 *conventional* 방법보다 적게 나타났다. 이 결과를 통해 알 수 있듯이 *chroma* 와 *hue* 에 대한 색차와 *luminance* 값의 차이보다 일반적으로 적게 나타났다.

표 1 원영상과 Conventional 방법의 CIELAB 색차

	ΔL^*	ΔC^*	ΔH^*	$\Delta E^*_{CMC(1,1)}$	ΔE^*_{ab}
COLOR BAR	0.41	0.02	0.02	0.32	0.41
IT8	0.50	1.13	1.02	1.20	1.81
SKI	1.50	2.50	1.75	2.47	3.87
Z20	3.81	5.95	4.55	7.16	9.86
sum	6.22	9.60	7.34	11.14	15.96

표 2 원영상과 Constant Luminance 방법의 CIELAB 색차

	ΔL^*	ΔC^*	ΔH^*	$\Delta E^*_{CMC(1,1)}$	ΔE^*_{ab}
COLOR BAR	0.37	0.02	0.01	0.30	0.37
IT8	0.47	1.04	0.93	1.10	1.67
SKI	1.28	2.17	1.44	2.13	3.30
Z20	2.87	4.67	3.60	5.65	7.67
sum	4.98	7.89	5.98	9.18	13.00

각각의 영상에 대한 델타 값에서 알 수 있듯이 CIELAB 색차는 비교적 적은 값으로 나타나며, 보통의 일반적인 관찰 환경하에서 일반적인 영상에 대해서는 그 차이를 눈으로 식별하기 힘들 정도의 수치이다. 하지만 *constant luminance* 방법에서 위에서 설명한 차이의 대부분이 영상의 edge 부분에 집중되어 있기 때문에 edge 부분을 관찰하면 그 차이를 눈으로 식별할 수 있다. 같은 이유로 edge 를 많이 포함하는 영상이 그렇지 않은 영상보다 큰 CIELAB 색차를 가지게 된다.

Thurstone's law of comparative judgement[4]방법을 바탕으로 영상의 *accuracy* 에 대한 z-score 를 계산하였으며, 그림 3 및 그림 4 에서 각 영상 및 각 컬러 영역에 대한 z-score 계산 결과를 보여준다.

그림에서 보면, color bar 영상에 대한 z(*accuracy*) score 가 다른 영상에 비해 상대적으로 적은 값을 가진다. 또한 영상에 있어서 각각의 컬러 영역에 대해 *constant luminance* 방법을 이용한 영상 변환 결과가 *conventional* 방법에 의해 변환된 영상보다 우수한 결과를 나타내었다.

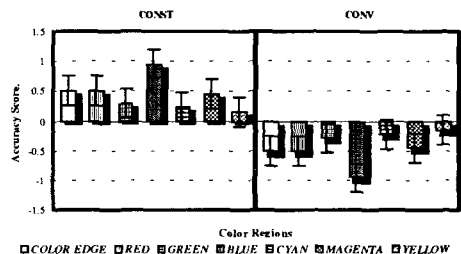


그림 3 색 영역별 Z(accuracy)-score

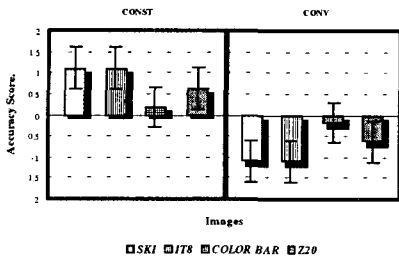


그림 4 영상별 Z(accuracy)-score

2.2 실험 2

2.2.1 장비

두 번째 실험에서는 EIZO FlexScan T962 21' CRT 모니터가 디스플레이 장비로 사용되었고, SONY DXC-H10 HD 카메라가 동영상 데이터를 생성하는데 사용되었다. 두 장비 모두 실험 1 에서와 동일한 초기 세팅값으로 조정된 후 실험을 수행하였다.

2.2.2 실험 영상

실험 2 에서는 총 12 개의 정지 영상과 2 개의 동영상 사용되었다. 본 실험에 사용된 영상은 conventional 방법과 constant luminance 방법과의 색차를 알아보기 위해 선택된 영상들로서, 녹색과 마젠타 영역에서 conventional 방법과 constant luminance 방법에 의한 색차가 가장 많이 나타난다고 알려져 있으며, 이를 규명하기 위해 녹색과 마젠타를 포함하는 영상들이 주로 선택되었다. 또한 고주파 성분을 많이 포함하고 있는 영상도 constant luminance 방법의 효과를 알아보기 위해 본 실험에 사용되었다.

2.2.3 관찰자

총 28 명의 관찰자가 본 실험에 참여하였으며, 관찰자의 평균 연령은 26.1 세이다. 모든 관찰자들은 색약 검사를 통과한 사람들로 구성되었으며, 6 명의 남성과 22 명의 여성으로 구성되었고, 연령 구성은 20 대가 19 명이고 30 대가 9 명으로 구성되었다.

2.2.4 실험 방법

실험 2 의 실험환경은 실험 1 과 동일하게 구성되었다. 실험은 정지영상 실험과 동영상 실험의 두 가지로 나뉘어 진행되었다. 먼저 원 영상을 EIZO 모니터에 디스플레이 한 후 conventional 방법과 constant luminance 방법으로 변환한 두 영상을 한 화면에 디스플레이 한다. 관찰자들은 10 초 동안 원 영상과 변환된 영상을 원하는 만큼 교대로 디스플레이 하면서 conventional 방법과 constant luminance 방법 중 어느 쪽이 원 영상과 더 가까운지를 선택하도록 하였다.(correctness test) 다음으로 5 초 동안 화면에 회색 영상을 디스플레이 하여 관찰자의 시각 간상을 제거하고, 두 번째 실험을 실시하였다. 두 번째 실험에서는 conventional 방법으로 변환된 영상과 constant luminance 방법으로 변환된 영상을 하나의 화면에 동시에 디스플레이 하면서 관찰

자에게 어느 쪽이 마음에 더 드는지를 10 초 이내에 선택하도록 하였다. 동영상에 대해서도 수행 이상과 같은 두 단계의 실험 방법을 사용하여 관찰자 실험을 수행하였다.

2.2.5 실험 결과 분석

12 개의 정지영상에 대하여 원 영상과 conventional 방법, 그리고 constant luminance 방법으로 변환된 영상 사이의 색차를 dEab 와 dEcmc(1:1)의 방법을 이용하여 구하였으며, 그 결과는 표 3 과 같다.

표 3 CIELAB 색차

Image Name	Conv. Vs Const.		Original vs Const		Original vs Conv.	
	ΔE_{ab}	$\Delta E_{cmc(1:1)}$	ΔE_{ab}	$\Delta E_{cmc(1:1)}$	ΔE_{ab}	$\Delta E_{cmc(1:1)}$
IT8	0.46	0.37	3.70	4.12	3.79	4.20
Flower	0.49	0.42	6.52	6.76	6.49	6.76
Color bar	0.85	0.60	1.01	0.67	1.31	0.92
Fruit	0.55	0.61	2.92	3.74	2.94	3.75
Bicycle	0.77	0.70	3.09	3.08	3.11	3.11
Musician	1.42	1.31	4.69	4.33	4.70	4.34
Candle	1.23	1.42	5.80	6.67	5.79	6.68
Cafeteria	1.58	1.64	6.07	6.56	6.12	6.61
Orchid	2.08	2.52	6.73	8.12	6.81	7.97
Doll	3.50	2.58	6.85	4.73	7.28	5.18
Z20	4.33	3.27	7.65	4.83	8.69	6.57
Tulip	4.76	4.65	11.08	10.09	11.51	10.48

Flower 와 candle 영상을 제외한 대부분의 영상에서 constant luminance 방법이 conventional 방법보다 적은 색차를 보였으며, Tulip 영상이 가장 큰 색차를 나타냈다. 그림 5 에서 그림 7 은 Bicycle 과 Doll 영상에 대한 ΔE_{ab} 대 L^* , ΔE_{ab} 대 C^* , 그리고 ΔE_{ab} 대 h 를 나타낸 그래프이다. 그림에서 알 수 있듯이 Bicycle 영상이 lightness, chroma, 그리고 hue 속성에서 작은 색차를 나타냈었고, Doll 영상에서는 상대적으로 큰 색차를 나타내었다. Bicycle 영상과 Doll 영상을 포함한 대부분의 영상에 대한 정량적인 평가 결과, lightness 에 대한 색차가 chroma 나 hue 에 대한 색차보다 그리 작지 않은 것으로 나타났다. 이것은 constant luminance 방법이 관찰자에게 큰 영상의 차이를 보이지 않음을 의미한다.

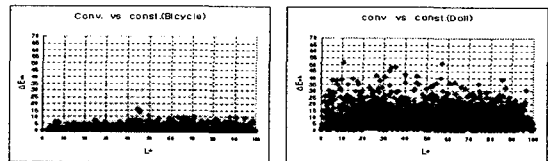


그림 5 Bicycle 과 Doll 영상에 대한 E_{ab} 대 L^*

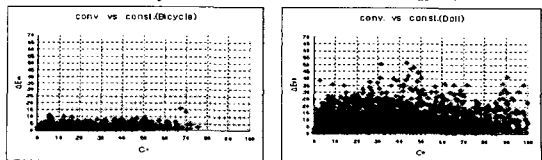


그림 6 Bicycle 과 Doll 영상에 대한 ΔE_{ab} 대 C^*

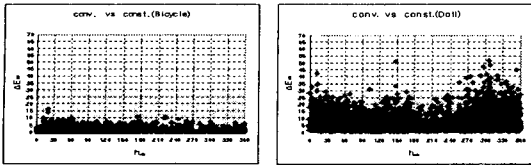


그림 7 Bicycle 과 Doll 영상에 대한 ΔE_{ab} vs h

정지 영상 및 동영상 평가에 대한 Z-score 값을 계산하였으며 그림 8 과 그림 9 에서 conventional 방법과 constant luminance 방법으로 변환된 각각의 정지 영상에 대한 Z-score (accuracy)값과 각 색 영역별 Z-score (accuracy) 값을 나타낸다.

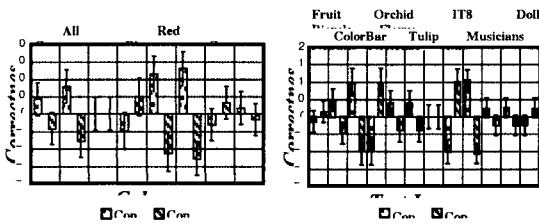


그림 8 정지 영상에 대한 Z(accuracy)-score

그림 8 에서 보면, blue 와 yellow 색 영역을 제외한 모든 영역에서 constant luminance 방법이 conventional 방법 보다 우수한 결과를 나타냈다. 또한 Fruit, Tulip, Candle, 그리고 Z20 영상을 제외한 대부분의 영상에서도 constant luminance 방법이 conventional 방법 보다 우수한 결과를 나타내었다.

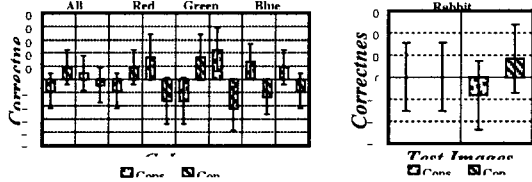


그림 9 동영상에 대한 Z(accuracy)-score

동영상의 경우 그림 9 에서 알 수 있듯이 정지 영상의 경우와는 반대로, conventional 방법이 대부분의 색 영역과 영상에 있어서 constant luminance 방법보다 우수한 결과를 나타내었다.

3. 결론 및 향후 연구 방향

3.1 결론

본 논문에서는 constant luminance 신호처리 방법을 구현하였고, 그 결과를 conventional 방법과 비교하여 2 회에 걸친 관찰자 실험을 수행하였다. 첫 번째 실험에 참여한 관찰자는 모두가 컬러 과학 및 컬러 속성에 익숙한 사람들로 구성되었고, 두 번째 실험에 참여한 관찰자는 모두가 컬러 과학 및 컬러 속성에 대한 지식이 없는 사람들로 구성되었다. 실험 결과에 대한 정량적인 분석(CIELAB 색차 분석)과 정성적인 분석(Z-score 분석)결과 사이에는 상당한 차이를 보였다. 예를

들면, IT8 영상의 경우, 실험 1 에서는 가장 큰 Z-score 값의 차이를 보인 반면, 실험 2 에서는 Bicycle 이 가장 큰 Z-score 값의 차이를 보였고, IT8 은 평균 이하의 차이를 보였다. 또한 실험 1 에서는 blue 색 영역이 가장 큰 Z-score 값의 차이를 보인 반면 실험 2 에서는 magenta 색 영역이 가장 큰 차이를 보였다.

그 이유를 알아보면, 실험 1 에서는 모든 관찰자가 색에 대한 전문가들이었고, 실험의 내용 및 constant luminance 방법에 대한 지식이 있는 사람들이어서, 영상의 어떤 부분에서 constant luminance 방법과 conventional 방법의 차이가 나타나는지 알고 있는 상태에서 실험이 진행되었다. 반면에 실험 2 에서는 색에 대한 지식이나 constant luminance 방법에 대한 지식이 없는 일반인들을 대상으로 실험이 진행되었다. 따라서 실험 1 과 실험 2 의 분석 결과가 다르게 나타나게 되었다. 그러나, 두 실험에서 나타난 공통적인 결과는, 고주파 성분이 많이 포함된 영상이나, blue, magenta 또는 cyan 색 영역을 많이 포함하는 영상, 또는 채도가 높은 영상일수록 constant luminance 방법에 의한 효과가 크게 나타남을 알 수 있다. 그러나 일반적인 TV 시청 환경에서는 constant luminance 방법에 대한 지식이 없이는 그 차이를 눈으로 확실하게 분간하기는 어려운 정도였다.

3.2 향후 연구 방향

본 논문에서는 변환된 영상과 원본 영상과의 정확도(correctness)에 대한 실험 및 분석만 수행되었으며, 실험 결과가 기존에 발표된 논문이나 자료와는 상반되는 결과를 보였다. 이는 관찰자 수의 부족과 다양한 실험 영상의 부족으로 충분한 실험이 수행되지 못했으며, 동영상에 대해서는 두 가지 영상에 대한 실험이 수행되어 보다 많은 동영상에 대한 실험이 필요하다. 향후 연구에서는 다양한 동영상에 포함한 보다 많은 실험 영상에 대하여 constant luminance 방법의 효과를 검증하기 위한 repeatability test 와 pleasantness test 등의 다양한 실험을 수행할 계획이다.

참고문헌

- [1] Charles A. Poynton, "A Technical Introduction to Digital Video", Wiley (1996)
- [2] Mark D. Fairchild, "Color Appearance Models", Addison Wesley (1998)
- [3] Bruck, G. "A Comparison between the Luminance Compensation Method and other Color Picture Transmission Systems" IEEE Transactions on Consumer Electronics Vol.36, No 4, 922-932 (1990)
- [4] Thurstone, L. L., "A law of comparative judgement, Psychology Review" 34:273-286 (1927)
- [5] James J. Gibson, "On Constant luminance, gamma correction, and digitization of color space", IEEE International Conference of Consumer Electronics. Digest of Technical Papers, 178-179 (1995)