

시각 선명도 감각 특성을 이용한 개선된 고명암 대비 영상 렌더링 기법

이근영*, 이성학°, 권혁주*, 송규익**

Enhanced High Contrast Image Rendering Method Using Visual Properties for Sharpness Perception

Geun-young Lee*, Sung-hak Lee°, Hyuk-ju Kwon*, Kyu-ik Sohng**

요 약

HDR (high dynamic range) 영상을 LDR (low dynamic range) 영상으로 변환할 때 톤 맵핑 (tone mapping) 과정은 필수적이다. 많은 TMO (tone mapping operator)는 인간 시각 시스템의 특성들을 모방하여 발달되어 왔고 그 중 가장 대표적인 시각 특성이 국부 순응 방식이다. 그러나 TMO는 밝기나 명암, 채도 등의 영상 정보들을 압축하여 LDR 영상으로 대응시키기 때문에 압축에 의한 화질 저하가 나타난다. 본 논문에서는 TMO에 의한 화질 저하 보상을 위해 인간 시각의 선명도 특성을 기저 및 세부 영상 분할 처리에 적용하여 휘도 적응적 에지 보존 함수를 제안했다. 또한, 인간 시각 시스템에서 공간 주파수와 대비 민감도 사이의 관계를 나타내는 CSF (contrast sensitivity function)를 이용하여 선명화 필터를 설계하고, 이를 배경 휘도에 따라 적응적으로 적용하였다.

Key Words : High dynamic range, Band Separation, Human visual system, Visual acuity, Contrast sensitivity function

ABSTRACT

When an image is converted from HDR (high dynamic range) to LDR (low dynamic range), a tone mapping process is the essential component. Many TMOs (tone mapping operators) have been motivated by human vision which has lower physical luminance range than that in real scene. The representative of human vision properties which motivate TMOs is the local adaptation. However, TMOs are ultimately compressing image information such as contrast, saturation, etc. and the compression causes defects in image quality. In this paper, in order to compensate the degradation of the image which is caused by TMOs, the visual acuity-based edge stop function is proposed for applying the property of human vision to base-detail separation. In addition, using CSF (contrast sensitivity function) which represents the relationship among spatial frequency, contrast sensitivity, and luminance, the sharpness filter is designed and adaptively applied to the detail layer in regard to surround luminance.

※ 이 논문은 2013년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단 기초연구사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (2012R1A1A2008362)

♦ 주저자 : 경북대학교 대학원 전자공학부, 오디오 비디오 신호처리 및 자동차 전자공학 연구실, g_y_lee@ee.knu.ac.kr, 학생회원

° 교신저자 : 경북대학교 IT대학 전자공학부, shak2@ee.knu.ac.kr, 정회원

* 경북대학교 대학원 전자공학부, 오디오 비디오 신호처리 및 자동차 전자공학 연구실, olin1223@ee.knu.ac.kr, 준회원

** 경북대학교 IT대학 전자공학부, 오디오 비디오 신호처리 및 자동차 전자공학 연구실, kisohng@ee.knu.ac.kr, 종신회원

논문번호 : KICS2013-05-221, 접수일자 : 2013년 5월 24일, 최종논문접수일자 : 2013년 8월 8일

I. 서 론

상대적으로 좁은 휘도 범위를 가지는 디스플레이 장치에서 휘도 범위가 넓은 현실과 유사한 영상을 재생하기 위해서는 HDR (high dynamic range) 이미징 (imaging) 기술이 필요하다. 디스플레이 장치와는 달리 카메라는 노출 시간과 조리개의 조절을 통해서, 실제 장면의 휘도 정보 대부분을 여러 장의 영상에 나누어 저장할 수 있다. HDR 이미징 기술은 나누어진 휘도 정보를 하나의 영상에 다시 합침으로써, 실제 장면과 비교하여 디스플레이 장치에 재생된 영상을 볼 때 어색함이 없도록 한다.

HDR 이미징 기술들은 공통적으로 TMO (tone mapping operator)를 가지고 있는데, 이 TMO를 통해 HDR 영상이 LDR (low dynamic range) 영상으로 변환된다. TMO의 종류에는 Histogram adjustment, Photographic reproduction, iCAM06^[1], Logarithmic mapping, Local eye adaptation 등 여러 방식들이 있다. 이와 같은 TMO들은 HDR 영상을 LDR 영상으로 만들기 위해 영상의 정보를 압축한다. 즉, 전반적인 밝기나 명암, 채도를 압축하여 일반적인 LDR 영상으로 맵핑하기 때문에 디스플레이 장치에서 재생할 수 있는 것이다. 그러나 압축을 통해 손실되는 정보들 때문에 영상에서 화질 저하가 필연적으로 따른다^[2].

상당수의 TMO들은 인간 시각 시스템을 모방해 왔다. 인간 시각은 실제 장면에서의 물리적인 휘도 범위보다 좁은 휘도 인지 범위를 가지고 있으며 국부적인 휘도 순응을 통해 넓은 휘도 범위의 사물들을 인식한다^[3]. 국부 순응 방식은 장면의 국부적인 밝기에 따라 개별 시세포들이 각각 이득을 조정하는 것으로 많은 TMO들이 국부 순응 방식을 적용하였다^[4]. 대표적으로 iCAM06 모델은 국부 백색 순응 (local white adaptation) 뿐만 아니라 톤 맵핑 (tone mapping)을 위한 광수용기 반응 함수 (photoreceptor response function)를 적용하였다. 또한, 바이래터럴 필터 (bilateral filter)를 이용하여 톤 맵핑이 적용된 기저 영상과 보존된 세부 영상이 다시 합쳐질 때 생기는 후광 효과를 줄였다^[1,5]. 그러나 기저 및 세부 영상 분할할 때, 세부 영상의 정보를 충분하게 하지 않으면 국부 영상의 채도와 대비가 왜곡된다. 이는 기저 영상에 남아 있는 색 정보와 대비 정보가 색 순응과 톤 맵핑을 거치면서 압축되어 왜곡된 이후 세부 영상과 합쳐지기 때문인데, 특히 채도와 대비가 감소되는 현상이 고휘도

영역에서 두드러진다^[6-8].

본 논문에서는 TMO에 의해 화질이 저하되는 문제를 분석하고, 이를 보상하기 위해 인간 시각의 visual acuity와 CSF (Contrast Sensitivity Function) 특성을 새롭게 도입하였다. 먼저, visual acuity 특성을 모델링하고 이를 적용하여 기저 및 세부 영상 분할 처리과정에서 휘도에 적응적으로 영상을 분리하는 방법을 제안하고, 다음, CSF를 기반으로 하여 선명화 필터를 설계하고 이를 세부 영상에 적용하여 선명도를 향상하는 방법을 제안하였다. 제안한 방식의 우수성을 확인하기 위해 iCAM06에 제안한 방식을 추가하여 기존 iCAM06의 결과 영상과 비교하였다. 비교 결과, 제안한 방식을 통한 결과 영상에서 채도와 선명도가 향상됨을 확인하였다. 이를 통해 인간 시각 특성인 visual acuity와 CSF를 이용하여 화질을 효과적으로 보상했음을 확인할 수 있었다.

II. 관련 연구

2.1. HDR 영상에서의 세부 정보 보존

일반적으로 TMO를 통해 영상의 전역 다이내믹 레인지를 압축할 때 국부 영상의 채도와 선명도가 저하되는 문제가 발생한다. 이와 같은 단점을 보상하기 위한 방식이 기저 및 세부 영상 분할 처리 방식이다. 이를 위한 두 가지 가정은 다음과 같다. (1) 인간 시각은 휘도보다 반사율에 더 민감하다, (2) 인간 시각은 영상의 전역 대비 보다 국부 대비에 더 민감하다. 이 때문에 TMO는 전역의 휘도 대비를 감소시키고 국부 대비는 보존하는 방식을 사용한다. 즉, 기저 영상에만 TMO를 적용하고 세부 영상은 보존하여 국부 영역의 세부 정보 손실을 최소화하는 기저 및 세부 영상 분할 처리 방식을 사용한다. 하지만 후광 효과와 노이즈 문제로 인하여 세부 영상에 국부 영역 정보를 무작정 많이 보존할 수 없다. iCAM06의 경우, 기존 iCAM에서 기저 및 세부 영상 분할 처리를 위해 사용한 단순 가우시안 필터를 에지 보존 필터인 바이래터럴 필터로 바꿔 기저 및 세부 영상 분할 처리를 가능하게 함과 동시에 후광 효과를 줄였다^[1]. iCAM06에서 에지 보존을 위해 사용한 바이래터럴 필터는 비선형 필터로 화소 사이의 공간적 근접성과 레벨 크기 차이에 따라 가우시안 블러링을 조절한다. 바이래터럴 필터는 공간적으로 인접하고 레벨 차이가 크지 않은 화소들을 같은 집단으로 인식하고 그 그룹들의 경계

를 예지로 인식한다. 그리고 예지를 제외한 나머지 영역들을 블러링 하는데, 이러한 방식을 통해 바이래터럴 필터는 예지 보존 기능을 수행한다. 이 때 입력 화소 위치 s 에 대해서 바이래터럴 필터의 결과 J_s 는

$$J_s(s, p, I_s, I_p) = \frac{1}{k(s)} \sum_{p \in all} f(p-s)g(I_p - I_s)I_p, \quad (1)$$

$$k(s) = \sum_{p \in all} f(p-s)g(I_p - I_s); \text{ normalization term } (2)$$

와 같다. 여기서 p 는 s 화소에 공간적으로 근접한 화소 위치를 나타내고, I 는 각 화소의 레벨 크기를 나타낸다. 또한 f 와 g 는 각각 공간 영역의 가우시안 함수, 레벨 영역에서의 가우시안 함수로 서로 다른 표준 편차를 가지고 있다^[1,5].

iCAM06은 기저 및 세부 영상 분리 시 이러한 바이래터럴 필터 특성을 이용하여 강한 예지 성분을 기저 영상에 포함시킴으로써 이후 톤 맵핑 처리된 기저 영상과 세부 영상 합성과정에서 발생하는 후광 효과를 줄일 수 있다^[1].

2.2. 인간 시각의 선명도 감각 특성

Visual acuity는 시각 시스템이 공간 주파수에 대해 얼마나 민감한지를 나타내는 척도이다. 일반적으로 Snellen 차트로 측정하는 Visual acuity, VA는 아래 수식과 같다.

$$VA = D / D \quad (3)$$

여기서 D 는 피 실험자와 Snellen 차트 사이의 기준 거리로 보통 6 m이다. 그리고 D 는 정상 시각을 가진 사람이 D 에서 피 실험자가 보는 문자의 크기와 동일한 크기를 볼 수 있는 거리이다. 이때, 정상 시각이란 6 m에서 문자를 볼 때, 시야각이 5분이 되는 것을 말한다^[9]. Visual acuity는 주변 휘도의 밝기에 따라 변화하는데, Shlaer^[10]의 연구는 visual acuity가 대수 휘도에 따라서 s자 형태의 함수로 변화한다는 것을 보여준다. 그림 1은 Shlaer^[10]의 실험 결과를 그린 그래프로, 주변 휘도의 대수 레벨과 인지 가능한 최대 공간 주파수 사이의 관계가 s자 형태임을 보여준다. 주변 휘도가 높아지면 visual acuity 역시 높아지며 영상의 세부 정보가 눈에 더 잘 인식된다.

게다가 인간의 눈이 물체나 영상을 인식할 때 중요한 한 가지는 윤곽을 인식하는 것이다. 윤곽을 인

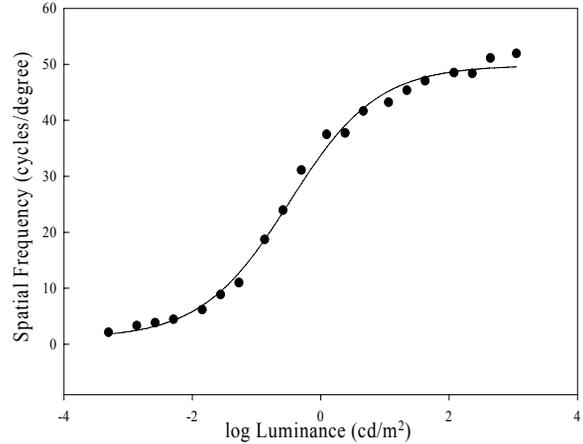


그림 1. 주변 휘도에 따른 정상 시각에 대한 visual acuity 곡선^[10]
Fig. 1. The visual acuity curve as a function of the background luminance^[10]

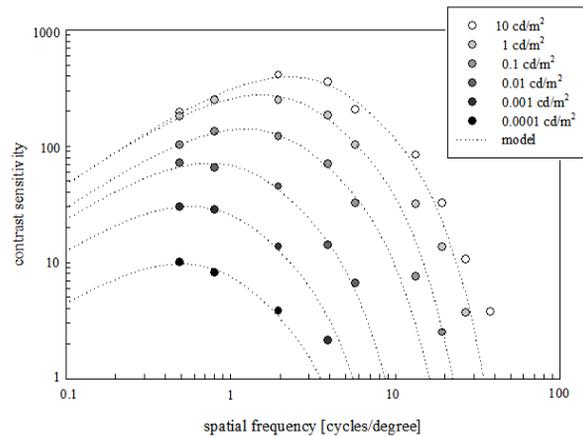


그림 2. van Meeteren and Vos^[12]의 CSF 실험 데이터
Fig. 2. The CSF graph based on the experiment by van Meeteren and Vos^[12]

식한다는 것은 한 물체와 또 다른 물체 또는 한 물체와 배경간의 차이 (contrast)를 인식한다는 것으로 인간 시각 시스템에서 영상의 대비를 인식할 때 여러 가지 환경적인 요인으로 인해서 대비를 더 잘 느끼느냐 못 느끼느냐, 즉 민감도의 차이가 발생한다^[11]. 이러한 민감도 차이를 나타내기 위해, 특정 공간 주파수의 식별 가능한 대비 한계치를 측정하고 이 값의 역수를 대비 민감도로 정의한다. 이때, 공간주파수와 대비 민감도간의 상관관계가 CSF이다. van Meeteren and Vos^[12]의 실험은 그림 2에서 처럼 평균 휘도가 증가함에 따라 대비 민감도가 상승하고, 이때 최대 민감도 공간주파수가 증가함을 볼 수 있다. 그림 2에서 살펴볼 수 있듯이, 평균 휘도가 높아질수록 CSF의 최댓값은 증가하고 그 형태는 대역통과필터 (band-pass filter)를 따른다. 또한 휘도가 감소함에 따라 CSF는 점점 완만해지고,

대비 민감도가 최댓값을 가지는 주파수는 좀 더 낮은 주파수로 이동함을 알 수 있다.

이러한 CSF의 특성을 이용하기 위해서는 CSF의 모델링 식이 필요한데, Barten^[11]은 이러한 실험 데이터를 모델링 하여 함수로 아래와 같이 나타내었다^[12,13].

$$CSF(L, f) = a(L, f) f e^{-b(L)f} (1 + 0.06 e^{b(L)f})^{0.5} \quad (4)$$

$$a(L, f) = \frac{[540(1 + 0.7/L)^{-0.2}]}{[1 + 12(1 + f/3)^{-2}/w]} \quad (5)$$

$$b(L) = 0.3(1 + 100/L)^{0.15} \quad (6)$$

여기서 f 는 자극의 공간 주파수이고, w 는 자극의 크기를 시야각으로 나타낸 것이다. 그리고 L 은 자극의 평균 휘도를 단위로 나타낸 것이다. 식 (4)는 van Meeteren and Vos^[12]의 실험 데이터를 기반으로 했고, 자극의 크기가 일정하다면 CSF가 휘도에 따라 변화하는 폭은 주변 휘도가 낮을 때는 크고 휘도가 높아질수록 작아진다. 특히 휘도가 500 cd/m² 이상일 경우, CSF는 포화되어 휘도에 따라 변화하는 폭이 매우 작다.

III. 제안한 방법

3.1. Visual acuity 기반의 에지 보존 함수

국부 대비를 향상을 위해 기저 및 세부 영상 분할 처리를 적용했지만 여전히 iCAM06의 결과는 밝은 영역에서 채도 감소와 국부 대비의 감소가 발생된다. 이러한 문제점은 기저 및 세부 영상 분할 처리를 위해 기저 영상과 세부 영상으로 분리할 때 휘도 영역에 상관없이 단순하게 분리하기 때문에 발생하는데, 톤 맵핑을 거치게 되면서 RGB 화소값 사이의 차이가 감소하기 때문에 특히 압축이 많이 되는 밝은 영역에서 더 심해진다. iCAM06에서 기저 및 세부 영상 분할 처리는, 먼저, 바이래터럴 필터를 입력 영상에 적용하여 기저 영상을 구하고, 다음으로, 입력 영상과 기저 영상의 차로써 세부 영상을 구한다. 이와 같이, 영상을 휘도에 상관없이 단순히 분리하였기 때문에, 기저 영상에 톤 맵핑을 적용한 이후 다시 세부 영상과 합쳐져도 기저 영상에 남아 있던 밝은 영역의 색 정보가 감소하여 톤 맵핑 전 만큼의 채도가 나오지 않게 된다. 앞서 그림 1을 통해 나타난 주변 휘도와 visual acuity 사이 관계에 따르면, 인간 시각 시스템은 밝은 영역에서 세부 정보에 민감하기 때문에 이 영역에서의 화질

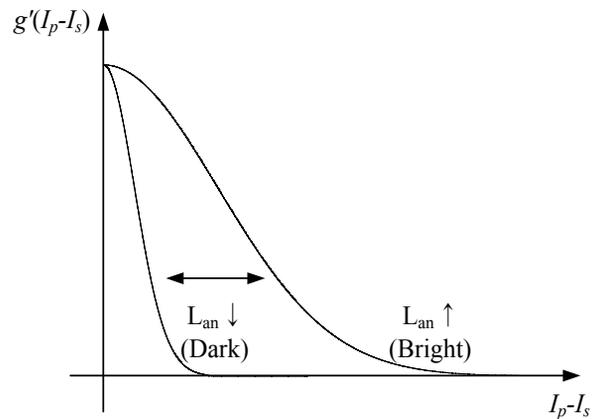


그림 3. 배경 밝기에 따른 visual acuity 기반의 에지 보존 함수
Fig. 3. The visual acuity-based edge stop function with the illuminant adaptive σ_r .

저하는 더욱 치명적이다. 또한, 단순히 밝은 영역의 채도를 증가시키기 위해 세부 색 정보를 증가시킬 경우, 어두운 영역에서 노이즈가 증가하는 결과가 나타난다. 이 때문에 세부 영상 정보를 밝기에 따라 달리 보존시켜야 한다. 이를 위해 주변 휘도와 visual acuity 사이의 관계를 이용하여 바이래터럴 필터의 내부 가우시안 함수를 수정하였다.

바이래터럴 필터에서 레벨 영역 가우시안 함수인 에지 보존 함수 g 의 표준편차 σ_r 에 따라 기저 영상의 블러양이 변화하고, 세부 영상은 원본 영상과 기저 영상의 차이이기 때문에, σ_r 에 의해 세부 영상에 저장되는 세부 정보량이 변화한다. σ_r 이 커질수록 기저 영상이 더 많이 블러링 되고, 반대로 세부 영상은 더 많은 세부 정보를 가지게 된다. 결론적으로 색 순응과 톤 압축을 거치면서 발생하는 색 정보와 국부 대비 정보의 손실을 σ_r 조절을 통해서 방지할 수 있다. σ_r 조절을 위해 그림 1에 나타난 주변 휘도와 visual acuity 사이의 관계를 모델링 하여 적용하였다. 제안한 함수 σ_r 는 아래와 같다.

$$\sigma_r(L_{an}) = \frac{0.70}{1.0 + \exp(\frac{0.50 - L_{an}}{0.079})} + 0.099 \quad (7)$$

여기서 L_{an} 은 가우시안 저역 통과 필터를 통해 백색 영상의 최댓값에 대해 정규화한 값을 나타낸다. 식 (7)은 sigmoid 함수를 이용하여 L_{an} 에 따라 표준편차 σ_r 이 s자 형태로 나타나게 하였다. 그림 3에서 나타난 visual acuity 기반의 새로운 에지 보존 함수 $g'(I_p - I_s)$ 은 식 (1)에 나타난 바이래터럴 함

수 내부의 레벨 영역 가우시안 함수 g 에 제안한 표준 편차 함수인 식 (7)을 적용한 것이다. 제안한 표준 편차 함수를 이용한 $g'(I_p - I_s)$ 은 높은 L_{an} 영역에서 σ_r 이 커지기 때문에 밝은 영역의 픽셀들이 레벨 영역에서 상당한 차이가 있더라도 예지로 인지하지 못한다. 결국 밝은 영역에서 기저 영상의 블러양이 증가하여 이 영역에서의 세부 정보가 세부 영상을 통해 더 많이 보존되고, 이 후 색 순응과 톤 압축 과정을 거친 기저 영상과 세부 영상이 다시 합쳐질 때, 밝은 영역에서 색 정보와 대비 정보가 보존되어 채도와 대비가 향상된다.

3.2. CSF 기반의 세부 영상 개선

본 논문에서는 visual acuity 기반의 예지 보존 함수를 이용한 세부 정보 보존과 더불어 시각의 휘도에 대한 선명도 감각 특성을 이용한 세부 정보의 개선 방법을 제안하였다. 이를 위해 평균 휘도의 변화에 따라 각 주파수에서의 대비 민감도 변화를 나타내는 CSF 특성을 이용하여 선명화 필터를 설계하고, 세부 영상에 적용하여 톤 맵핑에 의해 저해되는 고휘도 영역 선명도를 보상하였다. 제안한 필터는 최소 휘도 레벨을 기준으로 하여 휘도에 따라 선명도 향상 정도를 달리하였다. 먼저, Barten^[11]의 식 (4)를 이용하여 각 휘도 레벨의 $CSF(L, f)$ 와 최소 휘도 레벨 $L_{reference}$ 에서의 $CSF(L_{reference}, f)$ 사이의 차이인 $\Delta CSF(L, f)$ 를 구하였다. $\Delta CSF(L, f)$ 는 비대칭 대역통과필터 형태를 가지며, 휘도가 커질수록 최댓값이 커지는 특성을 가진다. 제안한 선명화 필터, $H_{sharpening}(L, f)$ 는 이를

모델링한 것으로 다음 식과 같다.

$$H_{sharpening}(L, f) = 1 + (A(L) - 1)H_{bp}(f) \quad (8)$$

$$A(L) = \frac{\max(\Delta CSF(L, f))}{\max(\Delta CSF(L_{reference}, f))} \quad (9)$$

$$H_{bp}(f) = \exp\left(-\frac{(f-f_0)^2}{2\sigma^2}\right) \text{ with } \begin{cases} \sigma = \sigma_L & \text{if } f \leq f_0 \\ \sigma = \sigma_R & \text{if } f > f_0 \end{cases} \quad (10)$$

여기서 $A(L)$ 는 휘도 L 에 따른 진폭 이득으로 휘도 변화에 따라 대비 민감도가 변화하는 특성을 반영하기 위한 것으로, 휘도가 높을수록 대역통과필터의 이득을 증가시켜 선명도를 높이는 역할을 한다. 식 (9)와 같이, 진폭 이득 $A(L)$ 은 휘도 레벨 L 에서 $\Delta CSF(L, f)$ 의 최댓값을 기준 레벨 $L_{reference}$ 에서의 $\Delta CSF(L_{reference}, f)$ 의 최댓값으로 나눈 값으로 정의하고, 이 때, 휘도 레벨 범위는 $5 \text{ cd/m}^2 \sim 2000 \text{ cd/m}^2$ 사이로 가정하였다. 그리고 $H_{bp}(f)$ 는 대역통과필터로 주파수에 따라 대비 민감도가 변화하는 특성을 반영하기 위한 함수이며 $\Delta CSF(L, f)$ 으로부터 비대칭 가우시안 함수를 이용하여 모델링하였다. σ_L 은 좌측 가우시안 필터의 폭을 σ_R 은 우측 가우시안 필터의 폭을 나타낸다. 그리고 f_0 는 필터의 중심축이 되는 지점의 주파수를 나타낸다.

그림 4(a)에서 $H_{bp}(f)$ 를 나타내었고, 최종적으로 진폭 이득 $A(L)$ 과 비대칭 대역통과필터 $H_{bp}(f)$ 를 이용한 제안한 CSF기반의 휘도 적응적 선명화 필터 $H_{sharpening}(L, f)$ 를 그림 4(b)에 나타냈다.

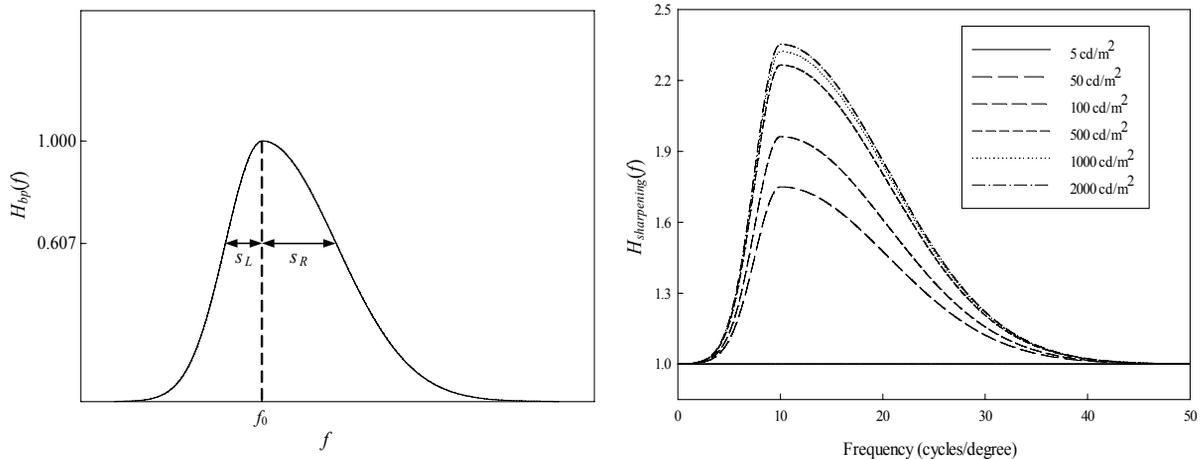


그림 4. (a) 대역 통과 필터 및 (b) 제안한 선명화 필터 $H_{sharpening}$ 그래프

Fig. 4. (a) The graph of asymmetric gaussian function, H_{bp} and (b) the designed sharpening filter, $H_{sharpening}$

표 1. 각 tap에 대한 상수 a 및 b
Table 1. Coefficients a and b for each tap

| | a | b |
|-------|---------|--------|
| tap 1 | -0.0983 | 0.0494 |
| tap 2 | -0.0603 | 0.302 |
| tap 3 | -0.295 | 1.48 |
| tap 4 | -0.0997 | 0.499 |
| tap 5 | 1.93 | 30.6 |

그림 4(b)에 나타난 $H_{sharpening}(L, f)$ 는 주파수 영역 (cycles/degree) 필터로서 영상 적용을 위해서는 FIR 필터로의 변환이 필요하다. 이를 위해서는 먼저 주파수 영역을 샘플링 주파수 영역으로 변환해야 하는데, 이때 영상 시청 환경에 대한 가정이 필요하다. 일반적으로 HDTV 시청 환경 기준으로부터 풀 HD 디스플레이 (1920 x 1080)를 시야각 30°으로 시청하였을 때, 시야각 1° 당 주파수는 32 cycles/degree 이 된다. 이를 샘플링 주파수로 매칭하고, 그에 따라 필터의 폭과 주파수 중심축을 이동시키기 위해, 대역통과필터 $H_{bp}(f)$ 의 설정 값들을 $\sigma_L = 4$, $\sigma_R = 12$, 그리고 $f_0 = 8$ cycles/degree로 정의했다. 다음으로 제안한 선명화 필터 함수의 주파수 영역을 샘플링 주파수 영역으로의 변환한 후 MATLAB 내부 함수 firpm를 이용하여 FIR 필터를 설계하였다.

설계된 FIR 필터 계수들은 세부 영상과 mask 연산을 통해 휘도 영역별로 차등적으로 선명도를 향상 시킨다. 제안한 선명화 필터는 휘도 레벨에 따라 적응적으로 형태가 변화하기 때문에, 국부 휘도에

따라 FIR 필터 계수를 달리 계산해야 한다. 따라서 먼저 5 단계의 휘도 레벨에 대하여 FIR 필터 계수를 계산하고, 다음 정규화된 휘도 (L_{an})에 따른 FIR 필터 계수 생성 함수를 만들었다. 모델링을 위한 대표함수는 다음과 같다.

$$F(L_{an}) = \frac{aL_{an} + b}{L_{an} + 35.2} \quad (11)$$

FIR 필터는 대칭 형태이므로, 9 tap FIR 필터의 경우, 총 5개의 함수 (tap 1 ~ tap 5)가 필요하고, 식 (11)을 이용하여 모델링 하였다. 결과 상수인 a, b를 표 1에 나타냈다.

3.3. 제안한 HDR 영상 처리 구조

제안한 방식의 최종 처리 과정은 다음과 같다. 바이레터럴 필터 내부의 에지 보존 함수에 visual acuity 기반의 에지 보존 함수, σ_r 을 적용하여 휘도 (White)에 따라 적응적으로 기저 영상을 블러링하고, 밝은 영역의 세부 영상 정보를 더 많이 보존시킨다. 이후 세부 영상에 앞서 설계한 CSF 기반 선명화 필터를 사용하여 마스크 연산을 하였다. 이때 선명화 필터링에 의해 어두운 영역에서 노이즈가 증폭되는 것을 방지하기 위해 전처리 모듈을 통해 어두운 영역에는 필터링을 적용하지 않았다. 그림 5는 제안한 방식의 최종 시스템 블록도를 나타낸다.

IV. 실험 및 결과

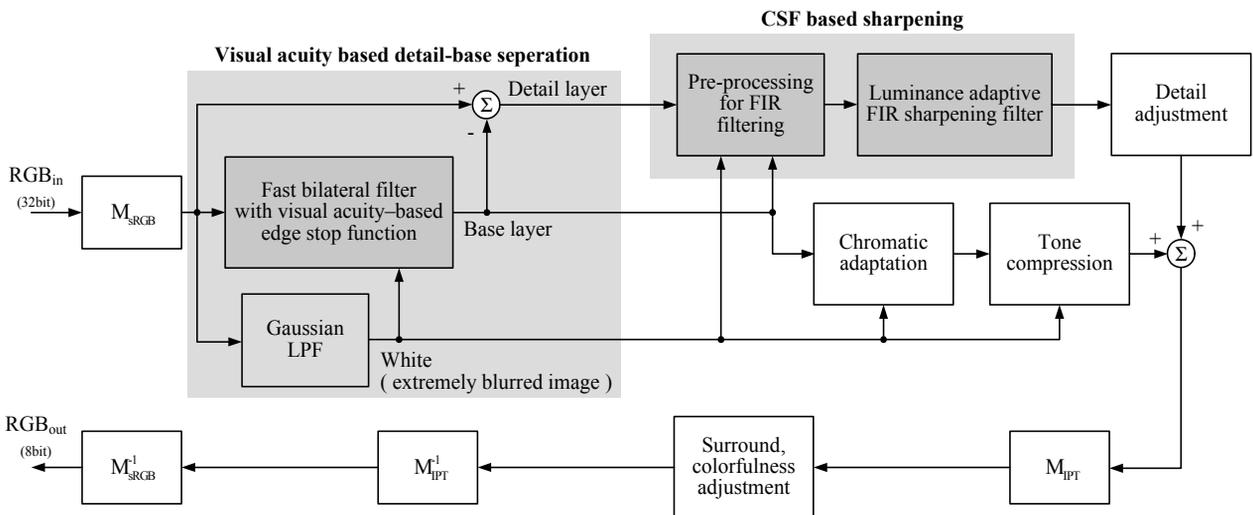


그림 5. 제안한 방식의 최종 시스템 블록도
Fig. 5. The block diagram of the proposed method

표 2. 기존 iCAM06의 결과 영상과 visual acuity만 적용한 결과 영상 그리고 제안한 방법의 결과 영상들에 대한 VCM Table 2. The VCM data of result images by iCAM06, visual acuity only, and proposed method

| Test images: top → bottom, left → right | VCM | | |
|---|--------|--------------------|-----------------|
| | iCAM06 | visual acuity only | proposed method |
| (a) | 40.50 | 38.51 | 48.24 |
| (b) | 35.76 | 40.08 | 56.55 |
| (c) | 37.08 | 37.08 | 50.42 |
| (d) | 45.61 | 46.93 | 48.98 |
| (e) | 49.89 | 49.89 | 67.81 |
| (f) | 51.54 | 53.50 | 74.79 |
| (g) | 41.85 | 43.06 | 59.17 |
| (h) | 47.10 | 53.21 | 63.21 |
| (i) | 47.17 | 47.37 | 52.73 |
| Average | 44.06 | 45.51 | 57.99 |

객관적인 영상 평가를 위해 대비 향상을 나타내는 지표인 VCM (Visual Contrast Measure)을 사용하였다¹⁴⁾. 지표 수식은 아래와 같다.

$$VCM = 100R_v / R_t \quad (12)$$

여기서 영상을 R_t 개의 영역으로 나누고, 각 영역의 표준 편차가 특정 문턱치 이상인 영역의 총 개수를 R_v 라 한다. 이때 VCM이 100에 가까울수록 대비가 높은 영상임을 나타낸다.

표 2은 기존의 iCAM06과 제안한 방법의 결과 영상을 VCM으로 나타낸 것으로 그림 6, 7의 영상들이 사용되었다. 표 2에 나타낸 visual acuity만 적용한 영상은 본 논문에 나타내지 않고 VCM만 계산하였다. 표에서 iCAM06 결과 영상의 VCM값에 비해 제안 방식의 VCM값이 더 높은 것을 알 수 있다. 오직 VA만 적용한 영상의 VCM 결과 역시 iCAM06보다 전반적으로 높게 나타났다.

V. 결 론

본 논문에서는 디스플레이의 LDR 특성으로 손실되는 정보를 보상하기 위해 인간 시각 시스템의 휘도에 따라 변화하는 visual acuity 특성과 변화하는 주파수 응답을 나타내는 CSF 특성을 이용하였다. 제안한 방식은 휘도에 따른 visual acuity 변화를 이용

하여 전 처리 과정인 바이레터럴 필터를 수정하였다. 이는 톤 맵핑 전에 세부 정보를 보존하는 양을 영상의 휘도에 따라 달리하여 밝은 영역의 정보 손실을 줄였다. 또한, CSF를 모델링하여 휘도에 따른 선명화 필터를 설계하고, 이를 밝은 영역의 세부 영상 영상에 밝기에 적응적으로 적용하여 노이즈의 증폭 없이 선명도를 향상시켰다. 이는 시각의 감각 특성에 맞게 영상의 화질을 향상한 것으로, 기존 iCAM06 결과 영상과의 비교를 통해 콘트라스트와 특히 선명도 부분에서 많은 향상이 있음을 확인할 수 있었다.

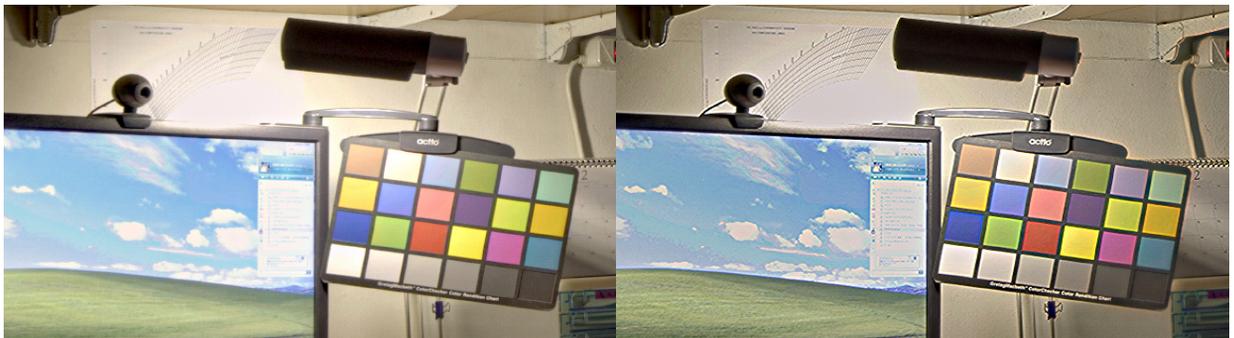
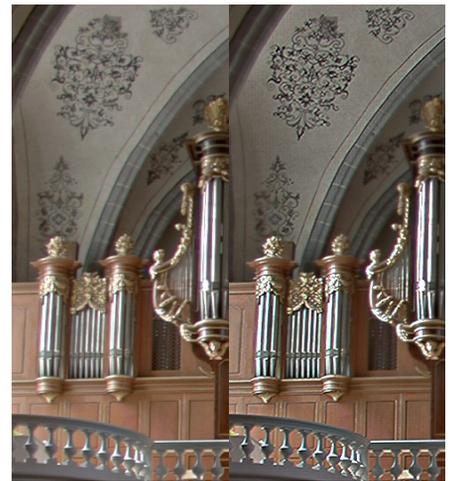


그림 6. iCAM06의 결과 영상 (좌측) 및 제안한 방법의 결과 영상 (우측)
Fig. 6. The result images of iCAM06 (left) and the result images of proposed method (right)

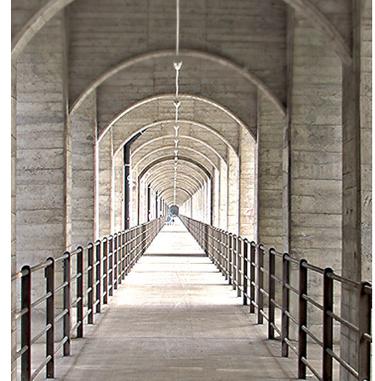
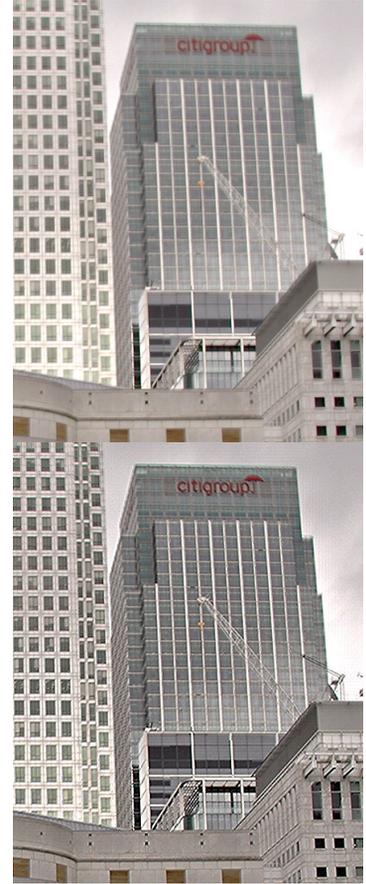
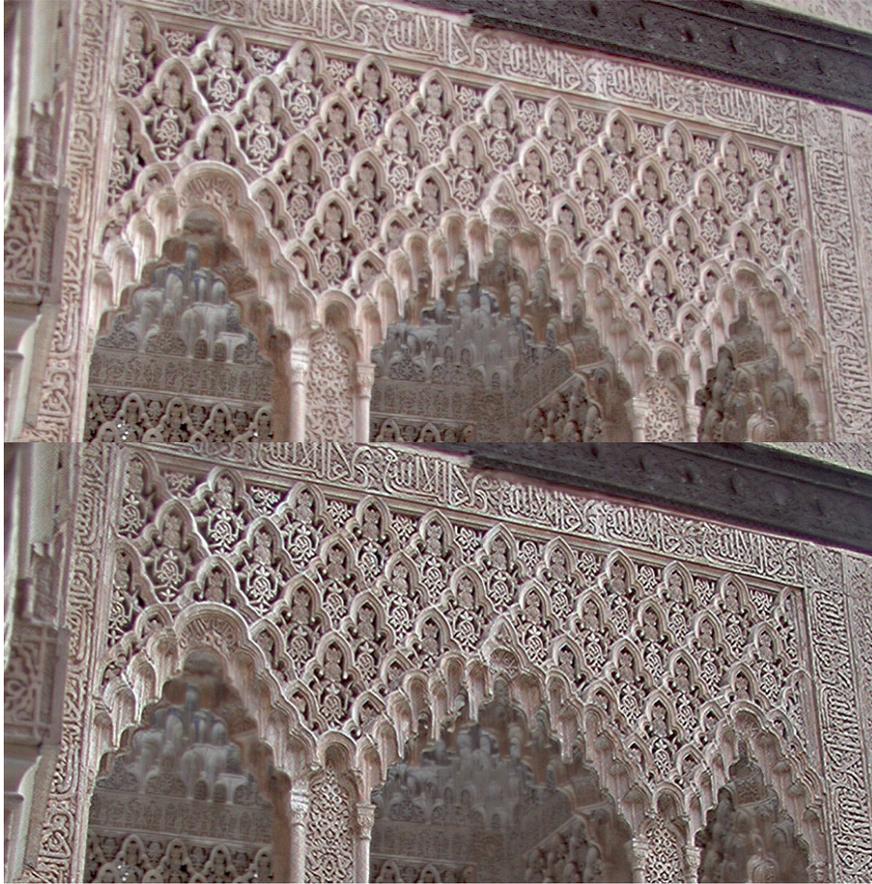


그림 7. iCAM06의 결과 영상 (위) 및 제안한 방법의 결과 영상 (아래)
Fig. 7. The result images of iCAM06 (top) and the result images of proposed method (bottom)

References

- [1] J. Kuang, G. Johnson, and M. Fairchild, "iCAM06: a refined image appearance model for HDR image rendering," *J. Visual Commun. Image Representation*, vol. 18, no. 5, pp. 406-414, June 2007.
- [2] P. Ledda, A. Chalmers, T. Troscianko, and H. Seetzen, "Evaluation of tone mapping operators using a high dynamic range display," *ACM Trans. Graphics*, vol. 24, no. 3, pp. 640-648, July 2005.
- [3] E. Reinhard, G. Ward, S. Pattanaik, and P. Debevec, *High Dynamic range imaging : acquisition, display and Image-Based Lighting*, Morgan Kaufmann, 2005.
- [4] M. Fairchild, *Color Appearance Model*, 2nd Ed., John Wiley&Sons, Ltd, 2005.
- [5] F. Durand and J. Dorsey, "Fast bilateral filtering for the display of high-dynamic-range images," *ACM Trans. Graphics*, vol. 21, no. 3, pp. 257-266, July 2002.
- [6] H. G. Kim, S. H. Lee, T. W. Bae, and K. I. Sohng, "Color saturation compensation in iCAM06 for high-chroma HDR imaging," *IEICE Trans. Fundam. Electron., Commun., Comput. Sci.*, vol. E94-A, no. 11, pp. 2353-2357, Nov. 2011.
- [7] S. M. Chae, S. H. Lee, H. J. Kwon, and K. I. Sohng, "A tone compression model for the compensation of white point shift generated from HDR rendering," *IEICE Trans. Fundam. Electron. Commun. Comput. Sci.*, vol. E95-A, no. 8, pp. 1297-1301, Aug. 2012.
- [8] H. J. Kwon, S. H. Lee, S. C. Chae, and K. I. Sohng, "Multi scale tone mapping model using visual brightness functions for HDR image compress," *J. Commun. Networks (JCN)*, vol. 37A, no. 12, pp. 1054-1064, Dec. 2012.
- [9] J. A. Ferwerda, S. N. Pattanaik, P. Shirley, and D. P. Greenberg, "A model of visual adaptation for realistic image synthesis," in *Proc. 23rd Annu. Conf. Comput. Graphics Interactive Techniques (SIGGRAPH '96)*, pp. 249-258, New Orleans, U.S.A., Aug. 1996.
- [10] S. Shaler, "The relation between visual acuity and illumination," *J. General Physiology*, vol. 21, no. 2, pp. 165-188, Nov. 1937.
- [11] P. G. J. Barten, *Contrast sensitivity of the human eye and its effects on image quality*, SPIE Optical Engineering Press, 1999.
- [12] A. van Meeteren and J. J. Vos, "Resolution and contrast sensitivity at low luminance levels," *Vision Research*, vol. 12, no. 5, pp. 825-833, May 1972.
- [13] S. Westland, H. Owens, V. Cheung, and I. Paterson-Stephens, "Model of luminance contrast-sensitivity function for application to image assessment," *Color Research Applicat.*, vol. 31, no. 4, pp. 315-319, Aug. 2006.
- [14] D. J. Jobson, Z. Rahman, G. A. Woodell, and G. D. Hines, "A comparison of visual statistics for the image enhancement of FORESITE aerial images with those of major image classes," *Proc. SPIE, Visual Inform. Process. XV*, vol. 6246, Article no. 624601, May 2006.

이근영 (Geun-young Lee)



2011년 2월 경북대학교 IT
대학 전자공학부 공학사
2013년 2월 경북대학교 전자
전기컴퓨터학부 대학원 공학
석사
2013년 3월~현재 경북대학교
대학원 전자공학부 공학박사

과정 재학

<관심분야> Color Image Processing, Color
Management, HDR 영상처리

권혁주 (Hyuk-ju Kwon)



2010년 2월 경북대학교 전자
전기컴퓨터학부 공학사
2012년 2월 경북대학교 전자
전기컴퓨터학부 대학원 공학
석사
2012년 3월~현재 경북대학교
전자전기컴퓨터학부 대학원

공학박사과정 재학

<관심분야> Color Image Processing, Color
Management, HDR 영상처리

이성학 (Sung-hak Lee)



1997년 2월 경북대학교 전자
공학과 공학사
1999년 2월 경북대학교 전자
공학과 공학석사
1999년 2월~2004년 6월 LG
전자 영상제품연구소 선임연
구원

2008년 2월 경북대학교 전자공학과 공학박사

2008년 2월~현재 경북대학교 IT대학 전자공학부
초빙교수

<관심분야> Color Image Processing, Color
Management, HDR 영상처리, DTV 신호처리

송규익 (Kyu-ik Sohng)



1975년 2월 경북대학교 전자
공학과 공학사
1977년 2월 경북대학교 전자
공학과 공학석사
1977년~1982년 국방과학연
구소 연구원
1990년 3월 일본 동북대학교

전자학과 공학박사

1983년 3월~현재 경북대학교 IT대학 전자공학부
교수

<관심분야> 비디오 공학, 음향 공학, 자동차 전자공
학