

HDR 영상 렌더링을 위한 적응적 표준 편차를 이용한 자동 레인지 고속 양방향 필터

정회원 배태욱*, 이성학*, 김병익*, 송규익*

An Auto-range Fast Bilateral Filter Using Adaptive Standard Deviation for HDR Image Rendering

Tae-Wuk Bae*, Sung-Hak Lee*, Byoung-Ik Kim*, Kyu-Ik Sohng* *Regular Members*

요약

본 논문에서는 iCAM06의 HDR (High Dynamic Range) 영상 렌더링을 위한 적응적 표준 편차를 이용한 자동 레인지 고속 양방향 필터 (auto-range fast bilateral filter, FBF)를 제안한다. 다양한 노출 시간으로 촬영한 여러 영상들은 전체 다이내믹 레인지를 포함한 한 장의 HDR 영상으로 만들어진다. HDR 영상 렌더링의 대표적인 알고리즘은 iCAM06이며, 이는 국부 백색 적응 (local white point adaptation), 색 순응 (color adaptation), 및 영상 처리 변환 (image processing transformation, IPT) 같은 iCAM 구조를 기초로 한다. iCAM06의 고속 양방향 필터는 레인지 필터에서 고정 표준 편차를 사용한다. 이는 넓고 낮은 분포를 가지는 고 자극치 영역에서 불필요한 고속 양방향 필터 계산의 원인이 된다. 이를 해결하기 위하여 XYZ 각 자극치 영상을 경계값에 의해 저 자극치 영상 및 고 자극치 영상으로 나눈 후, 각 자극치 영역에 대하여 히스토그램 분포에 기초한 가변 표준 편차를 이용한다. 실험 결과에서 제안한 방법이 기존의 고속 양방향 필터보다 계산 속도가 개선되었음을 확인하였다.

Key Words : HDR image, iCAM06, Fast bilateral filter

ABSTRACT

In this paper, we present an auto-range fast bilateral filter (FBF) for high-dynamic-range (HDR) images, which increases computation speed by using adaptive standard deviations for range filter (RF) of FBF in iCAM06. Many images that cover the entire dynamic range of the scene with different exposure times are fused into one High Dynamic Range (HDR) image. The representative algorithm for HDR image rendering is iCAM06, which is based on the iCAM framework, such as the local white point adaptation, chromatic adaptation, and the image processing transform (IPT) uniform color space. FBF in iCAM06 uses constant standard deviation in RF. So, it causes unnecessary FBF computation in high stimulus range with broad and low distribution. To solve this problem, the low stimulus image and high stimulus image of CIE tri-stimulus values (XYZ) divided by the threshold are respectively processed by adaptive standard deviation based on its histogram distribution. Experiment results show that the proposed method reduces computation time than the previous FBF.

* 경북대학교 전자전기컴퓨터공학부 오디오비디오 신호처리 및 자동차전자공학 연구실(fiendcorps@knu.ac.kr, shak2@ee.knu.ac.kr)
(^o: 교신저자)

논문번호 : KICS2009-11-573, 접수일자 : 2009년 11월 12일, 최종논문접수일자 : 2010년 3월 19일

I. 서 론

일반적으로 눈은 바라보는 장면 (scene)에 대해서 감각할 수 있는 휘도의 범위가 아주 넓지만, 일반적인 영상 저장 매체의 경우 휘도의 다이내믹 레인지 (dynamic range)는 아주 좁다. 예를 들어 카메라로 장면을 촬영하는 경우, 저장된 영상이 눈에 보는 장면과 비슷한 휘도 범위를 가지도록 만들기 위해서는 카메라의 휘도 다이내믹 레인지가 좁기 때문에 다양한 노출 값 (exposure value)을 가진 여러 사진을 합성하여 넓은 다이내믹 레인지를 가지는 하나의 파일로 만들어야 한다^[1]. 이렇게 만들어진 HDR 영상은 일반적으로 다이내믹 레인지가 9 log unit이 넘기 때문에, R, G, 및 B 각 8 bit씩 할당된 일반적인 디스플레이 혹은 TV에서는 정상적인 출력이 불가능하다. 따라서 다이내믹 레인지 압축 알고리즘 (compression algorithm)을 사용하여 우리가 눈으로 보는 다이내믹 레인지가 넓은 장면의 느낌과 최대한 유사하며, 일반적인 영상 매체에 출력이 가능한 영상을 만드는 것을 HDR 렌더링 (rendering) 알고리즘이라고 한다^[1].

HDR 영상 렌더링의 대표적인 알고리즘은 iCAM06^[11] 알고리즘이다. 이 알고리즘은 국부 백색 적응, 색 순응 및 영상 처리 변환 같은 iCAM^[2-3] 및 CIECAM02^[4-6]를 토대로 만들어졌으며, 기존 iCAM 모델에서는 제대로 고려하지 못한 공간 필터링 (spatial filtering) 부분과 여러 시각 현상을 고려한 알고리즘이다. 고려된 시각 현상은 Hunt 효과, Steven 효과 및 Bartleson-Breneman 효과이다^[2]. Hunt 및 Steven 효과는 영상의 휘도가 높을수록 각각 컬러풀니스 (colorfulness) 및 대조비 (contrast)가 증가하는 효과이고, Bartleson-Breneman 효과는 영상 주위의 휘도가 높을수록 영상의 대조비가 증가하는 효과이다. iCAM06의 입력값인 XYZ 3 자극치^[7]는 고속 양방향 필터^[8]에 의해 베이스 층 (base layer) 및 디테일 층 (detail layer)으로 나뉜다. 색 순응 및 톤 압축 (tone-compression) 처리는 베이스 층에만 적용되기 때문에 입력 영상의 디테일은 보존된다. 기본적인 양방향 필터 (Bilateral filter)^[9]는 에지 구조를 보존하는 반면에 잡음을 몽롱하게 한다. 고속 양방향 필터는 명암도 영역 (intensity domain)에서의 개별 선형 근사화 (Piecewise-linear approximation) 및 부표본화 (subsampling)를 이용함으로써 기존 양방향 필터의 속도를 증가시킨 필터이다. 그러나 iCAM06에서 고속 양방향 필터는 입력 영상의 XYZ 3 자극치 분포에 대한 고려없이 고속 양방향 필터의 레인지 필터에서 항상 고정된 표준 편차를

사용한다. 이것은 넓고 낮은 분포를 가지는 XYZ 각각의 고 자극치 영역에서 불필요한 계산의 원인이 된다.

본 논문에서는 경계값에 의해 나누어진 XYZ 3 자극치 각각의 저 자극치 영상 및 고 자극치 영상의 히스토그램 분포에 기초하여 레인지 필터의 표준 편차를 가변시킴으로써 iCAM06 알고리즘을 위한 자동 레인지 고속 양방향 필터를 제안한다. 계산 속도를 비교하기 위하여 제안한 알고리즘은 iCAM06에서 기존 고속 양방향 필터와 비교 실험을 수행하였다.

II. 양방향 필터 (Bilateral filter) 및 고속 양방향 필터 (Fast bilateral filter)

1998년 Tomasi 및 Manduchi가 제안한 양방향 필터^[9]는 에지 구조를 보존하는 반면 잡음을 몽롱하게 하는 비선형 필터이다. 어떤 화소 s 의 양방향 필터 출력은 다음과 같다.

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

여기에서 Ω 는 전체 영상이고, $k(s)$ 는 정규화 항이며 다음과 같다.

$$k(s) = \sum_{p \in \Omega} f(p-s)g(I_p - I_s) \quad (2)$$

양방향 필터는 공간 영역 (spatial domain)의 f 가우시안 (Gaussian) 함수 및 명암도 정의역의 g 가우시안 함수를 사용한다. 이들은 각각 도메인 필터 (domain filter) 및 레인지 필터 (range filter)라고 불려진다. 도메인 필터는 화소 s 에 공간적으로 가까운 화소에 높은 가중치를 주고, 레인지 필터는 화소 s 와 명암도 값이 비슷한 화소에 높은 가중치를 준다. 그래서 화소 s 의 양방향 필터 출력은 공간적으로 s 와 가깝고, s 와 비슷한 명암도를 가지는 화소에 큰 영향을 받는다.

2002년에 Durand 및 Dorsey는 기존 양방향 필터를 가속시키기 위하여 개별 선형 근사화 및 부표본화를 이용한 고속 양방향 필터^[8]를 제안하였다. iCAM06에서 사용되어지는 고속 양방향 필터는 개별 선형 양방향 필터 (piecewise-linear bilateral filter)라고 불려진다. 양방향 필터 출력인 수식 (1)은 고정된 화소 s 에 대해 f 에 의한 함수 $H^f: p \rightarrow g(I_p - I_s)I_p$ 의 컨벌루션과 등가이고, 정규화 항 (2)는 커널 f 에 의해 $G^f: p \rightarrow g(I_p - I_s)$ 의 컨벌루션과 등가이다. 즉 화소

s와 관련된 변수는 단지 g 가우시안 함수의 I_s뿐이다. 따라서 입력 영상의 명암도 범위를 NB_SEGMENTS 값 {i^j}로 이산화하고, 그 값에 대해 선형 필터링한다.

$$J_s^j = \frac{1}{k^j(s)} \sum_{p \in \Omega} f(p-s)g(I_p - I)I_p \tag{3}$$

$$= \frac{1}{k^j(s)} \sum_{p \in \Omega} f(p-s)H_p^j$$

$$K^j(s) = \sum_{p \in \Omega} f(p-s)g(I_p - I) \tag{4}$$

$$= \sum_{p \in \Omega} f(p-s)G^j(p)$$

화소 s에 대한 필터의 최종 출력은 I_s의 가장 가까운 값 i^j의 출력 J_s^j사이의 선형 보간을 의미한다. 이런 선형 보간은 기본적인 양방향 필터의 개별 선형 근사화와 일치한다. 이산화 변수는 NB_SEGMENTS=(max(I)-min(I))/σ_r을 사용한다. σ_r는 고속 양방향 필터에서 레인지 필터의 표준 편차이며, NB_SEGMENTS의 수를 결정한다. 고속 양방향 필터의 의사 코드는 그림 1과 같다. 코드에서 I는 각 XYZ 자극치 영상의 로그 영상 (Log-image)를 의미한다. 즉, σ_r은 고속 양방향 필터 X, Y 및 Z 영상의 log 값의 최소 및 최대 자극치 사이의 증가값이다. 그러나 iCAM06에서 고속 양방향 필터는 입력 영상에 관계없이 항상 고정된 σ_r=0.35를 사용한다. 이것은 XYZ의 자극치 분포가 공간적으로 일정하다고 가정한 것이다. 그러나 실제 XYZ의 자극치 분포는 균일하지 않다. 실제로 X, Y 및 Z 각각의 저 자극치 영역은 좁고 높은 분포를 가지고, 고 자극치 영역은 넓고 낮은 분포를 가진다. 이러한 이유는 HDR 영상은 다양한 노출 값의 영상을 합성하여 만들어졌기 때문에 XYZ 자극치 범위 (0~20000)가 넓지만, 실제로 눈이 부실 정도의 주위 배경 휘도 하에서 노출 값을 조절하며 사진을 찍는 경우는 거의 없으므로 고 자극치 영역이 저 자극치 영역 보다 넓은 분포를 가진다.

고속 양방향 필터는 자극치 분포가 공간적으로 균일하지 않을 때 좀 더 가속화될 수 있다. 즉, 자극치 분포가 높은 영역 (저 자극치 영역)에서는 낮은 σ_r로, 자극치 분포가 낮은 영역 (고 자극치 영역)에서는 높은 σ_r로 설정한다. 이럴 경우 저 자극치 영역보다 고 자극치 영역의 분포가 넓기 때문에, 고 자극치 영역의 NB_SEGMENTS를 줄일 수 있다. 이 문제는 이전 논문^[8]에서 토의된 문제점이지만 아직 구현되지 못했다.

```

Fast Bilateral Filter
(Image I, spatial kernel fσs, intensity influence gσr,
downsampling factor z)
J = 0 /*set the full-scale output to zero*/
Id = downsample(I, z)
f'σs/z = downsample(fσs, z)
for j=0...NB_SEGMENTS
    ij = min I + j×(max(I) - min(I)) / NB_SEGMENTS
    Gj = gσr(Id - ij) /* evaluate gσr at each pixel */
    Kj = Gj ⊗ f'σs/z /* normalization factor */
    Hj = Gj × Id /* compute H for each pixel */
    H*j = Hj ⊗ f'σs/z
    Jj = H*j / Kj /*normalize*/
J = upsample(Jj, z)
J = J + Jj × InterpolationWeight(I, ij)
    
```

그림 1. 고속 양방향 필터의 의사코드

이 문제를 해결하기 위하여 먼저 XYZ 각각의 영상을 서브 영상으로 나누고, 각 서브 영상에 적응적 σ_r를 사용한다면 NB_SEGMENTS의 수를 줄일 수 있다. 그래서 각 서브 영상에 대하여 가변 σ_r을 적용할 수 있는 메커니즘이 필요하다. 이는 좁고 높은 분포를 가지는 저 자극치 영상에는 작은 σ_r를 사용하고, 넓고 낮은 분포를 가지는 고 자극치 영상에는 높은 σ_r를 사용해야 함을 의미한다.

III. iCAM06을 위한 제안한 양방향 필터

적응적 표준 편차를 이용한 제안한 자동 레인지 고속 양방향 필터 방법은 그림 2와 같다. iCAM06의 입력 값은 XYZ 3 자극치 영상이다. HDR 영상은 다양한 노출 값을 가진 영상들의 합성이기 때문에 XYZ 3 자극치 영상의 히스토그램은 그림 3에서와 같이 넓은 자극치 분포를 가진다. 그래서 XYZ 3 자극치 영상은 특정한 경계값에 의해 저 자극치 및 고 자극치 영상으로 분리될 수 있다. XYZ 3 자극치 분포는 일반적인 영상의 제한된 파장영역에서는 분포 특성이 다르지만 HDR 영상의 경우 아주 넓은 파장 영역을 가지므로 XYZ의 각 자극치 분포는 거의 같은 분포 특성을 가진

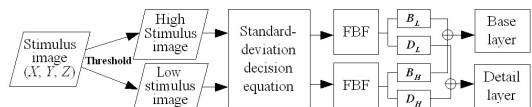


그림 2. 적응적 표준 편차를 이용한 제안한 자동 레인지 고속 양방향 필터

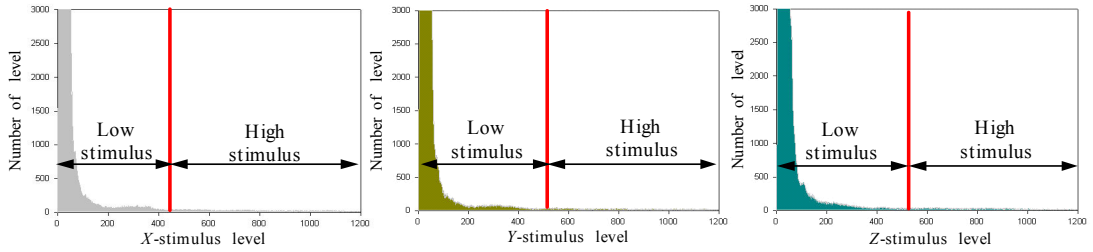


그림 3. XYZ 3 자극치 영상의 히스토그램 분포

다. 따라서 XYZ 3 자극치 영상에서 X, Y 및 Z 각각의 자극치는 거의 같은 히스토그램 분포를 가지기 때문에 Y 자극치 영상의 경계값은 X 및 Z 영상에도 또한 적용될 수 있다.

경계값을 구하는 절차는 다음과 같다. 계산 속도를 고려하여 Y 자극치 영상에 대하여 1/2 공간적 서브 샘플링 하고, 명암도를 1/100로 줄여서 y 영상을 만들었다. yM 은 y 영상의 최고 화소값을 의미한다. 레벨 i의 화소 수를 n_i 라고 하면, y 영상 전체의 화소 수는 $N=n_1+n_2+\dots+n_{yM}$ 이다. 레벨 i의 확률 밀도는 $p_i=n_i/N$ 이 된다.

이제 y 영상은 경계값 th_y 에 의해 저 자극치 영상 및 고 자극치 영상, 즉 C_0 및 C_1 로 나뉜다고 가정한다. C_0 는 레벨 $[1, \dots, th_y]$ 로 이루어진 저 자극치 영상을 의미하고, C_1 는 레벨 $[th_y+1, \dots, yM]$ 로 이루어진 고 자극치 영상을 의미한다. C_0 의 발생 확률 및 전체 평균 레벨은 각각 다음과 같이 주어진다.

$$w_0 = \Pr(C_0) = \sum_{i=1}^{th_y} p_i = w(th_y) \quad (5)$$

$$\mu_y = \mu(yM) = \sum_{i=1}^{yM} ip_i \quad (6)$$

th_y 번째 레벨까지 히스토그램의 누적 모멘트는 다음과 같이 주어진다.

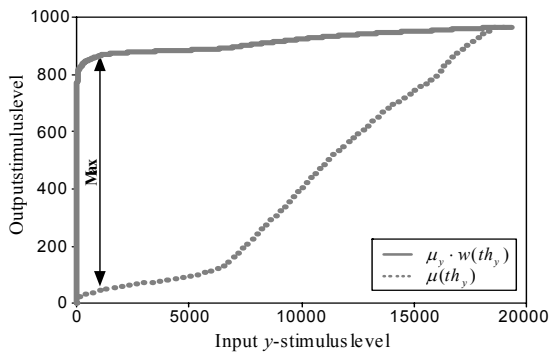
$$\mu(th_y) = \sum_{i=1}^{th_y} ip_i \quad (7)$$

최적 경계값 th_y^* 는 다음과 같이 주어진다.

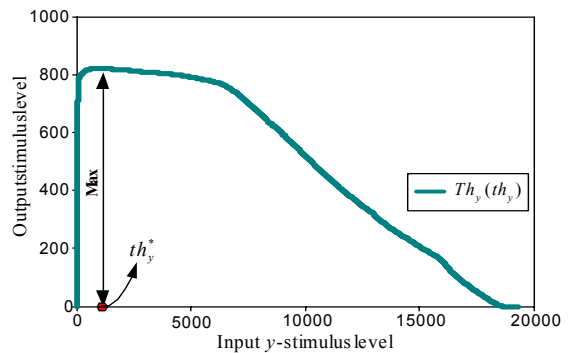
$$Th_y(th_y) = \mu_y \times w(th_y) - \mu(th_y) \quad (8)$$

$$th_y^* = \max Th_y(th_y) \quad (1 \leq th_y < yM) \quad (9)$$

여기에서 $\mu_y \times w(th_y)$ 는 전체 평균 레벨에 의한 스케일링된 발생 확률이다. 앞에서 언급한 XYZ 3 자극치 영상의 히스토그램 분포 특성은 저 자극치 영역의 밀도가 높기 때문에 스케일링된 발생 확률 $\mu_y \times w(th_y)$ 은 그림 4(a)에서처럼 급격한 상승 곡선을 가진다. 누적 모멘트 $\mu(th_y)$ 는 그림 4(b)에서처럼 단조 상승 곡선이다. 그래서 이 곡선들의 차이값이 최대가 되는 자극치 값은 저 자극치 및 고 자극치를 구



(a)



(b)

그림 4. 경계값 검출. (a) 스케일링 발생 확률 곡선과 누적 모멘트 곡선 및 (b) 경계값 검출 곡선

분하는 경계값으로 사용한다. 이 경계값 th_y^* 는 스케일 다운되었기 때문에 $th = 100 \times th_y^*$ 로 다시 계산된다. th 에 의해 L (저 자극치 영상) 및 H (고 자극치 영상)로 나뉜다. L 은 th 보다 작은 화소들의 집합 영상이고, H 는 th 보다 큰 화소들의 집합 영상이다. L 및 H 에 대한 σ_r 의 결정은 다음과 같이 계산된다.

$$\sigma_r = 0.3 \times e^{\left(-\frac{h}{N}\right)} + 0.35 \quad (10)$$

여기에서 h 는 L 및 H 에 속해있는 C_0 및 C_1 의 화소 수를 의미한다. 0.3 및 0.35는 각각 σ_r 의 차이값 (최대값-최소값) 및 σ_r 의 최소값이다. σ_r 의 최대값은 0.65이다. L 의 베이스 층 B_L 및 디테일 층 D_L 은 H 의 B_H 및 D_H 에 합해진다. X 및 Z 자극치 영상 또한 th 를 이용하여 위 절차와 같이 처리된다.

IV. 실험 및 고찰

제안한 방법은 iCAM06에서 기존 고속 양방향 필터의 계산 시간과 비교하였다. 실험을 위하여 2개의 HDR 영상, Macbeth 및 Pecklake를 사용하였다. Macbeth는 1000X747의 제작된 실험 영상이고 및 Pecklake^[11]는 697X443의 iCAM06의 기본 실험 영상이다. 그림 5는 iCAM06에서 기존 고속 양방향 필터 및 제안한 방법에 의한 iCAM06의 실험 결과를 보여준다. 그림 5(a) 및 5(e)는 Macbeth 및 Pecklake의 Y 영상에 대한 히스토그램 분포와 th 값을 보여준다.

Macbeth 및 Pecklake의 Log-Y 영상은 각각 -0.03~4.30 및 -4.00~4.30의 휘도 범위를 가진다. 그림 5(b) 및 5(f)에서 보이는 것처럼, NB_SEGMENTS는 Macbeth의 Log-Y 영상에 대해 12에서 9로, Pecklake의 Log-Y 영상에 대해서는 24에서 17로 줄어 들었다. 제안한 방법은 Macbeth의 Y 영상에 대해 L 에서 $\sigma_r = 0.473$, H 에서 $\sigma_r = 0.619$ 이고, Pecklake의 Y 영상에 대해서는 L 에서 $\sigma_r = 0.471$, H 에서 $\sigma_r = 0.617$ 이었다. iCAM06의 기존 고속 양방향 필터의 경우 고정된 $\sigma_r = 0.35$ 이 사용되기 때문에 NB_SEGMENTS는 선형적으로 증가한다. 그림 5(c), 5(d), 5(g) 및 5(h)는 Macbeth 및 Pecklake에 대한 기존 고속 양방향 필터 및 제안한 방법에 의한 iCAM06 렌더링 결과이다. 렌더링 결과에서 σ_r 이 HDR 영상의 색에 영향을 미치는 요소임을 알 수 있다. 그림 5(c) 및 5(d)를 살펴보면, 고 자극치 영역 (중앙의 컬러 체크)에서 작은 σ_r 은 색 농도를 감소시키고, 큰 σ_r 은 색 농도를 증가시킨다. 이 현상은 앞에서 언급한 계산 시간 감소를 위한 적응적 σ_r 의 목적과도 일치한다. 또한 특정의 고 자극치 영역을 제외하면 전체 영상 영역에서 기존 고속 양방향 필터 및 제안한 방법에 의한 iCAM06 렌더링 결과는 거의 비슷함을 알 수 있다.

Table I은 HDR 실험 영상의 XYZ 3 자극치 영상을 베이스 층 및 디테일 층으로 나누기 위하여 기존 고속 양방향 필터 및 제안한 방법에 의한 평균 NB_SEGMENTS 및 계산 시간을 보여준다. 시뮬레이션은 2.31 GHz Triple-Core CPU 및 3GB 램에서 수행하였다. Table 1(b)에서와 같이, 제안한 방법은 XYZ

표 1. iCAM06에서 기존 방법 및 제안한 방법의 성능 비교

(a) NB_SEGMENTS 비교

Image	Method	NB_SEGMENTS values for log-Y image
Macbeth	Conventional FBF	-0.03, 0.33, 0.69, 1.05, 1.41, 1.76, 2.14, 2.50, 2.86, 3.22, 3.58, 3.94, 4.30
	Proposed method	-0.03, 0.41, 0.85, 1.29, 1.73, 2.17, 2.61, 3.05, 3.67, 4.30
Pecklake	Conventional FBF	-4, -3.65, -3.31, -2.96, -2.62, -2.27, -1.93, -1.58, -1.23, -0.89, -0.54, -0.20, 0.15, 0.50, 0.84, 1.19, 1.53, 1.88, 2.23, 2.57, 2.92, 3.26, 3.61, 3.95, 4.30
	Proposed method	-4, -3.52, -3.03, -2.55, -2.07, -1.59, -1.10, -0.62, -0.14, 0.35, 0.83, 1.31, 1.79, 2.28, 2.76, 3.24, 3.72, 4.30

(b) 양방향 필터의 계산 시간 비교

Image	Method	Average NB_SEGMENTS for XYZ	Threshold computation time	Computation time of XYZ decomposition
Macbeth	Conventional FBF	12	.	18.16
	Proposed method	9	0.30	13.91
Pecklake	Conventional FBF	24	.	18.20
	Proposed method	17	0.39	13.28

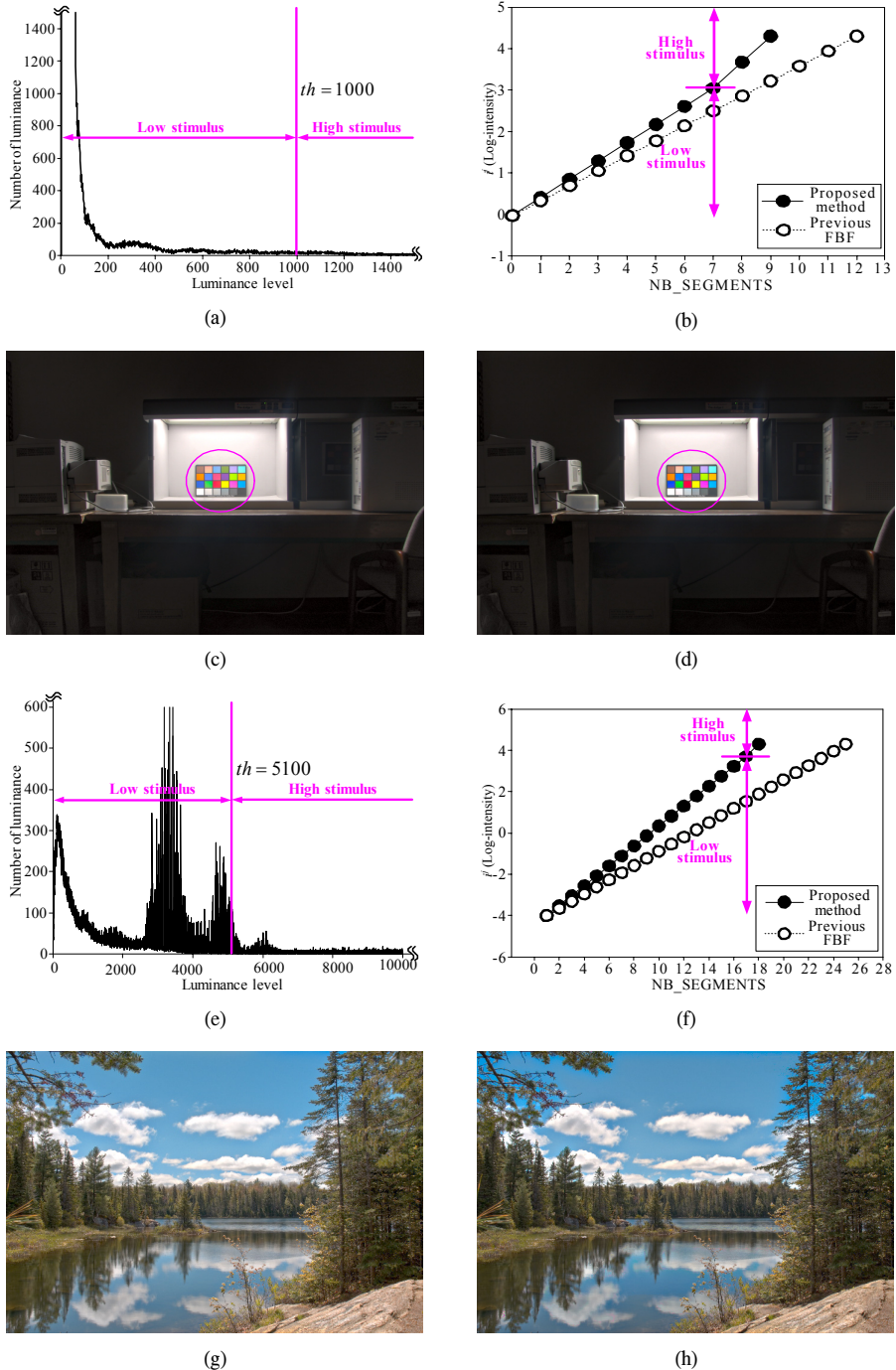


그림 5. (a), (e) Macbeth 및 Pecklake 영상에 대한 히스토그램 분포 및 경계값; (b), (f) Macbeth 및 Pecklake 영상의 로그 영상에 대한 NB_SEGMENTS; (c), (g) iCAM06에서 기존 고속 양방향 필터에 의한 렌더링 결과; (d), (h) iCAM06에서 제안한 양방향 필터에 의한 렌더링 결과

분해 시간에서 기존 고속 양방향 필터와 비교하여 Macbeth 영상에서는 4.25 sec, Pecklake 영상에서는

4.92 sec 감소하였다. 제안한 방법은 경계값 σ_r 을 계산하기 위한 부가 시간을 필요로 하지만, 그 부가 시

간 (평균 0.35 sec)은 1 NB_SEGMENTS에 대한 고속 양방향 필터의 계산 시간보다 훨씬 작다. 부가 시간 또한 제안한 방법의 계산 시간에 포함되었다.

V. 결 론

본 논문은 iCAM06의 고속 양방향 필터에서 라인 지 필터의 표준 편차를 영상 적응적으로 가변시킴으로써 기존 고속 양방향 필터의 계산 속도를 향상시켰다. iCAM06의 고속 양방향 필터 계산 시 경계값에 의해 나뉜 저 자극치 영상 및 고 자극치 영상은 각 자극치 영상의 히스토그램 분포에 기초한 적응적 가변 표준 편차를 이용하여 베이스 층 및 디테일 층으로 나뉜다. 실험 결과는 제안한 방법이 기존의 고속 양방향 필터보다 계산 속도를 향상시키고, 영상의 고 자극치 영역에서 색 농도를 증가시킴을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] J. Kuang, G. M. Johnson, and M. D. Fairchild, "iCAM06: A refined image appearance model for HDR image rendering," *Journal of Visual Communication*, Vol.18, No.5. pp.406-414, 2007.
- [2] M. D. Fairchild, *Color Appearance Models*, 2nd ed., Addison-Wesley, Reading, Massachusetts, 2005.
- [3] R. W. G Hunt, *The reproduction of colour*, 5th ed., Fountain Press, 1995.
- [4] N. Moroney, M. D. Fairchild, R. W. G. Hunt, C. J. Li, M. R. Luo, and T. Newman, "The CIECAM02 color appearance model," *IS&T/SID 10th Color Imaging Conf., Scottsdale*, pp.23-27, 2002.
- [5] C. Li, M. R. Luo, and R. W. G. Hunt, "The performance of CIECAM02," *IS&T/SID 10th Color Imaging Conf., Scottsdale*, pp.28-32, 2002.
- [6] F. Ebner and M. D. Fairchild, "Development and testing of a color space (IPT) with improved hue uniformity," *IS&T/SID 6th Color Imaging Conf., Scottsdale*, pp.8-13, Nov. 1998.
- [7] C. A. Poynton, *A Technical Introduction to Digital Video*, John Wiley & Sons, 1996.
- [8] F. Durand and J. Dorsey, "Fast bilateral filtering

for the display of high-dynamic-range image," *Proc. ACM SIGGRAPH 2002, Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Proceedings*, pp.257-266, 2002.

- [9] C. Tomasi and R. Manduchi, "Bilateral filtering for gray and color images," in *Proc. Int. Conf. Comput. Vis.*, pp.839-846, 1998.
- [10] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, *Digital image processing*, Addison-Wesley, New York, 1992.
- [11] <http://www.cis.rit.edu/mcsl/icom06/>

배 태 옥 (Tae-Wuk Bae)

정회원



2004년 2월 경북대학교 전자공학
학과
2006년 2월 경북대학교 전자공학
학과 석사
2006년 9월~현재 경북대학교
전자공학과 박사과정
<관심분야> 적외선 영상처리,
신호처리, 영상처리

김 병 익 (Byoung-Ik Kim)

정회원



2004년 2월 동양대학교 전자공
학과
2008년 2월 경북대학교 전자공
학과 석사
2008년 3월~현재 경북대학교
전자공학과 박사과정
<관심분야> 신호처리, 영상처
리, 영상통신

이 성 학 (Sung-Hak Lee)

정회원



1997년 2월 경북대학교 전자공학과

1999년 2월 경북대학교 전자공학과 석사

1999년 2월~2004년 6월 LG 전자 영상제품연구소 선임연구원

2008년 2월 경북대학교 전자공학과 박사

2008년 3월~2009년 2월 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 초빙교수

2009년 3월~현재 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 BK 계약교수

<관심분야> Audio 및 Video 공학, DTV 신호처리, 색재현 공학

송 규 익 (Kyu-Ik Sohng)

정회원



1975년 2월 경북대학교 전자공학과

1977년 2월 경북대학교 전자공학과 석사

1990년 2월 TOHOKU UNIV. 전자공학과 박사

1995년 3월~현재 경북대학교

전자전기컴퓨터학부 교수

<관심분야> Audio 및 Video 공학, DTV 신호처리, 색재현 공학