

논문 2009-46SP-3-12

블러링과 블로킹 수치를 이용한 영상의 무기준법 객관적 화질 평가

(No-reference objective quality assessment of image using blur and blocking metric)

정 태 욱*, 김 영 희**, 이 철 희***

(Taeuk Jeong, Younghie Kim, and Chulhee Lee)

요 약

본 논문에서는 기준영상에 대한 정보가 없는 무기준(No-reference) 정지영상 객관적 화질 평가 방법을 제안한다. 제안하는 무기준 객관적 화질평가 방법은 인간의 시각체계에서 민감하게 반응하고 화질의 주된 열화 요인인 경계영역의 블로킹과 블러링을 측정하여 수치화 한다. 블로킹 정량화를 위해서, 우선 인접 화소간의 차이를 누적하여 블로킹이 발생하는 위치를 찾고, 그 교차점에서 블로킹 현상을 2차원 계단함수로 모델링하여 블로킹의 국소적인 강도를 계산한다. 계산된 국소적 수치들은 적절한 함수화를 통하여 블로킹 수치로 사용된다. 이상적인 영상의 경계는 계단함수임을 가정하면 블러링된 영상에서의 경계의 전이 폭을 계산함으로써 블러링 정도를 예측할 수 있다. 주어진 영상을 다시 Gaussian 블러링 커널을 이용하여 블러링시킨 후 두 영상의 경계 마스크 영상을 이용하여 경계 블로킹을 결정한다. 경계블로킹 수평, 수직, 두 대각선 방향으로 사영하여 얻은 사영신호로부터 국소적 극대 및 국소 위치를 이용하여 경계 전이의 폭을 추정한다. 또한 kurtosis와 SSIM을 이용하여 그 수치를 보정하여 블러링의 수치로 사용한다. 제안한 방법의 객관적 화질 수치는 주관적 화질 수치와 비교해 본 결과 높은 상관관계를 가지는 것을 확인할 수 있다.

Abstract

In this paper, we propose a no-reference objective quality assessment metrics of image. The blockiness and blurring of edge areas which are sensitive to the human visual system are modeled as step functions. Blocking and blur metrics are obtained by estimating local visibility of blockiness and edge width, For the blocking metric, horizontal and vertical blocking lines are first determined by accumulating weighted differences of adjacent pixels and then the local visibility of blockiness at the intersection of blocking lines is obtained from the total difference of amplitudes of the 2-D step function which is modelled as a blocking region. The blurred input image is first re-blurred by a Gaussian blur kernel and an edge mask image is generated. In edge blocks, the local edge width is calculated from four directional projections (horizontal, vertical and two diagonal directions) using local extrema positions. In addition, the kurtosis and SSIM are used to compute the blur metric. The final no-reference objective metric is computed after those values are combined using an appropriate function. Experimental results show that the proposed objective metrics are highly correlated to the subjective data.

Keywords: no-reference quality assessment, Blur metric, blur metric, visibility of blockiness, Edge width

I. 서 론

최근 다양한 환경에서 멀티미디어 서비스가 가능해

지면서 이 서비스에 대한 품질 측정 요구가 증가하고 있다. 주로 평가자들이 직접 평가하는 주관적 평가는 품질에 대한 정확한 평가로 인정되지만, 실시간으로 전송되는 영상의 품질 평가 방식에 적용하기에는 시간과 비용 면에서 많은 제약이 따른다. 따라서 이를 대체하기 위해 주관적 평가와 높은 상관도를 갖고 실시간으로 품질 모니터링이 가능한 객관적 화질평가의 기준이 절실히 요구되고 있다. 객관적 화질 평가는 서비스 품질

* 학생회원, *** 정회원, 연세대학교 전기전자공학과 (Dept. Electrical & Electronic Engineering, Yonsei University)

** 정회원, 연세대학교 학부대학 (University college, Yonsei University)

접수일자: 2008년12월17일, 수정완료일: 2009년4월9일

의 기준을 제공함으로써 코덱 성능 검증, 전송 품질 평가 등을 통한 서비스의 차등화와 비디오 및 전송 관련 장비의 성능 평가 등에 사용 될 수 있다.

객관적 화질평가 방법은 참고할 수 있는 부가 채널의 기준영상 정보의 양에 따라 전기준법 (full-reference: FR), 감소기준법 (reduced-reference: RR) 그리고 무기준법 (no-reference: NR)로 나눌 수 있다. 전기준법과 감소기준법은 기준영상에 대한 일정 부분의 정보를 이용하여 평가하는 방법이다. 특히, 전기준법과 감소기준법은 국제전기통신연합 (ITU: International Telecommunication Union)과 VQEG (Video Quality Expert Group)을 중심으로 국제 표준화 제정을 위한 활동이 이루어지고 있고, 그 결과로 객관적 화질평가 모델 국제표준이 제정되었다^[1~4]. 그러나 실제적인 응용 분야에서는 기준영상의 정보를 위한 부가채널의 사용이 다소 용이하지 않은 경우가 많이 존재한다. 따라서 현실적인 객관적 화질평가 방법으로 기준영상에 대한 정보 없이 주어진 영상의 정보만을 이용하여 화질 평가를 수행하는 무기준법의 접근방식이 적합하다.

인간 시각 체계에 민감하게 반응하는 요인으로는 블로킹(blocking), 블러링(blurring), 물결현상(ringing) 등이 있다. 블로킹은 DCT (discrete cosine transform) 기반 영상 압축에서 주로 발생한다. 이 열화는 각 코덱의 고유한 특성 분석을 통하여 공간 영역과 주파수 영역에서 측정되어 왔다^[5~8]. 최근 압축 표준인 JPEG2000과 H.264의 압축영상에서는 블로킹 열화보다는 블러링과 물결현상의 열화가 주로 발생한다. 이러한 열화를 측정하는 객관적 평가 모델은 주로 경계 폭의 전이 정도나 Gaussian 블러링 커널의 반경을 측정함으로써 이루어진다^[9~12].

본 논문에서는 블로킹과 경계 영역의 열화를 계단함수로 모델링하여 블로킹과 블러링 수치를 계산하는 객관적 화질평가 모델을 제안한다.

II. 무기준법의 블로킹 열화 측정

1. 블로킹 발생 위치 결정

DCT 기반의 코덱을 이용하여 영상을 압축하는 경우 낮은 압축률에서 블로킹 열화 발생은 불가피하다. 블로킹이 발생하는 위치는 영상의 특성에 따라 달라진다. 본 절에서는 블로킹의 위치를 결정하는 방법을 제안한다.

블로킹은 경계영역이 아닌 경우 인접 화소 간의 차이가 큰 곳에서 관찰된다. 단순히 화소 간의 차이뿐만 아니라 그 주변의 화소 값의 배열에 따라 블로킹의 강도가 영향을 받는다. 따라서 주변 화소 값의 변화 정도를 고려하여 (x, y) 점에서 수직으로 발생하는 블로킹의 정도 $D(x, y)$ 는 다음 수식을 이용하여 계산된다.

$$d(x, y) = |s(x, y) - s(x + 1, y)| \quad (1)$$

$$N = \sum_{k=-w}^w u(d(x, y+k) - x_0) \quad (2)$$

$$D(x, y) = N * \log(1 + d(x, y)) \quad (3)$$

여기서 $s(x, y)$ 는 (x, y) 점에서 화소의 값이고, $d(x, y)$ 는 인접 화소와의 차이이다. 가중치 N 은 주변 화소 값의 배열을 반영하는 가중치로 평행 이동된 1차원 계단함수인 $u(t - x_0)$ 을 사용하여 계산한다. 문턱치 x_0 와 w 의 값은 실험적으로 계산되었고 각각 5와 3을 사용하였다.

수직으로 발생하는 블로킹의 위치는 $D(x, y)$ 를 y 축 방향으로 사영을 하여 만든 함수 $D_h(x)$ 에 의해 결정된다.

$$D_h(x) = \frac{1}{M} \sum_{i=0}^{M-1} D(x, y+i) \quad (4)$$

여기서 M 은 영상 행의 수이다.

함수 $D_h(x)$ 의 예를 그림 1에 나타내었다. 블로킹의 발생 여부에 따라 함수의 값의 분포가 큰 차이를 보인다. 그림 1(a)에서 함수가 다수의 피크(peak)값을 가지면서 주변의 값보다 현저하게 큰 지점이 블로킹이 발생한 위치로 판단할 수 있다. 본 논문에서는, $x = a$ 를 포함하는 구간 $[a - 7, a + 7]$ 에서 함수 $D_h(x)$ 의 국소 영역 평균과 표준편차를 각각 m 과 σ 라 할 때, 만약 함수 $D_h(x)$ 가 $x = a$ 에서 피크값을 갖고 또한 $D_h(a) \geq m + 3\sigma$ 를 만족하면 $x = a$ 에서 블로킹이 발생한 위치로 판단한다. 블로킹이 발생한 경우, 수직결정함수 $F_h(x) = 1$ 로 정의하고 그렇지 않은 경우에는 0으로 정의한다. 유사한 방법으로 x 축을 기준으로 하면 수평 방향의 블로킹의 위치도 결정이 가능하며 수평결정함수 $F_v(x)$ 를 계산한다. 여기서 수직 수평 블로킹이 교차하는 점들의 집합을 다음과 같이 정의한다.

$$C = \{(x, y) | F_h(x)F_v(y) = 1\}$$

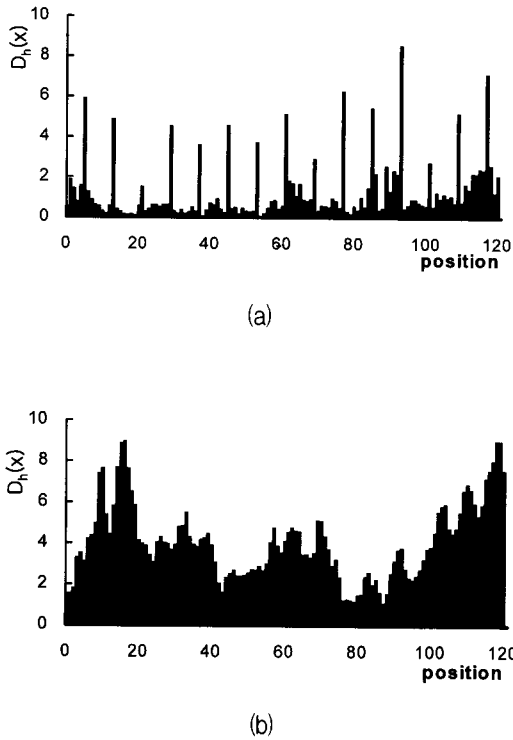


그림 1. 함수 $D_h(x)$ 의 예: (a) 블록킹 현상이 발생한 영상, (b) 블록킹 현상이 발생하지 않은 영상
 Fig. 1. Examples of $D_h(x)$: (a) image with blocking artifacts (b) image without blocking artifacts.

2. 블록킹 열화 수치 계산 알고리즘

그림 2는 제안하는 무기준법에 의한 객관적 블록킹 열화 측정 알고리즘의 블록도를 보여준다. 수평과 수직의 블록킹 교차 위치에서 인접 블록간의 밝기 (brightness)의 차이인 블록킹의 강도(amplitude)와 블록킹이 발생하는 주변의 국소적 영상의 밝기 (brightness)를 계산하고 적절한 함수화를 통하여 객관적 블록킹 수치를 계산하는 방법을 제안한다. 계산된 블록킹 수치들은 각 블록킹 위치에서 모두 합산되어 최종 블록킹 수치로 사용한다.

압축에 의한 블록킹 열화가 발생하는 위치에서 인접 블록 간의 영상은 2D 계단 함수를 이용하여 모델링할 수 있다. 수평방향과 수직방향의 블록킹 위치가 만나는 $(a,b) \in C$ 을 중심으로 16x16의 영역을 8x8 sub-block 4개로 분할하고, 그림 3과 같이 각 8x8 영역의 영상은 다음과 같이 모델링 한다.

$$s_k(x, y) = \overline{S}_k + n(x, y) \quad 1 \leq k \leq 4 \quad (5)$$

여기서 $s_k(x, y)$ 와 \overline{S}_k 는 k 번째 블록의 화소값과 평

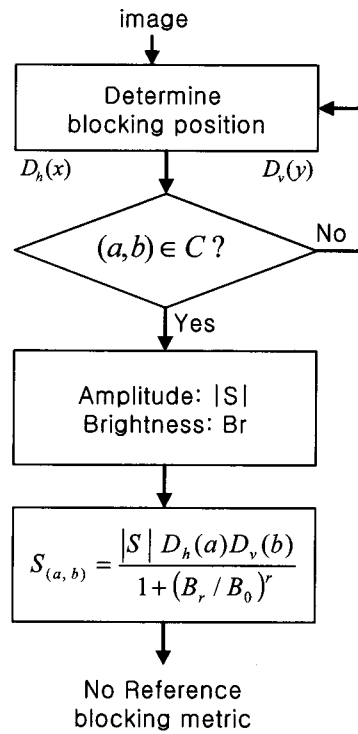


그림 2. 무기준법 객관적 블록킹 측도의 블록도
 Fig. 2. Block diagram of NR objective Blocking metric.

균값이고, $n(x, y)$ 는 백색잡음이다.

인간의 시각 체계는 각 블록간의 평균값인 \overline{S}_k 들 간의 차이가 클수록 심한 블록킹으로 인식하게 된다. 블록킹을 느끼게 하는 각 블록간의 평균의 차이를 이용하여 블록킹의 국소적 강도인 $|S|$ 를 다음과 같이 계산한다.

$$|S| = \left(\sum_{1 \leq i < j \leq 4} |\overline{S}_i - \overline{S}_j|^p \right)^{1/p} \quad (6)$$

영상의 밝기도 블록킹의 정도에 크게 영향을 미치므로 국소적인 밝기를 추가하여 인간 시각시스템을 고려한 블록킹 수치 $S_{(a,b)}$ 를 구한다. 블록킹이 발생한 점에서의 블록킹 수치는 블록킹의 국소적 강도인 $|S|$ 에 비례하고, 그 점에서의 블록킹의 정도 함수인 $D_h(x)$ 와

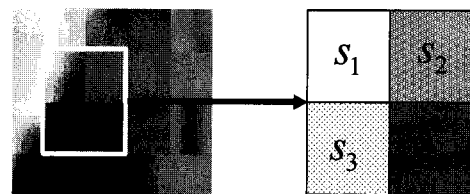


그림 3. 블록킹이 발생한 영역에서의 계단함수 모델링
 Fig. 3. Modeling of blocking region as 2D step function.

$D_v(x)$ 의 값에 비례한다. 이러한 블러킹 수치들은 영상 전체를 통하여 합산되며, 최종 블러킹 수치 S_T 를 다음과 같이 계산한다.

$$S_{(a,b)} = \frac{|S| D_h(a)D_v(b)}{1 + (B_r/B_0)^\gamma} \quad (7)$$

$$S_T = \left(\sum_{(a,b) \in C} |S_{(a,b)}|^p \right)^{1/p} \quad (8)$$

여기서 B_r 는 국소적 영상의 밝기로 16x16 블록 영상의 평균이고, 상수 $B_0 = 150$, $p = 4$, $\gamma = 2$ 는 실험적으로 결정되는 상수이다^[7].

III. 무기준법의 블러링 열화 측도

무기준법의 블러링 열화 수치는 경계 영역의 경계의 전이 폭을 추정함으로써 획득된다. 본 절에서는 사영신호를 이용한 경계폭 추정과 이를 기반으로 한 경계영역에서 블러링 수치 계산 방법을 기술한다.

1. 경계의 전이 폭 추정

이상적인 영상의 경계는 1차원 계단함수로 모델링이 가능하며 이 경계에 블러링이 발생하는 경우 그림 4에서 볼 수 있듯이 경계의 전이 폭이 블러링의 강도에 따라 비례하여 나타난다. 본 절에서는 경계 주변의 영역에서 사영을 이용하여 경계의 전이의 폭을 추정하는 방법을 제안한다.

경계 영역을 포함하는 $N \times N$ 의 블록 영상 $B(x, y)$ 에서는 경계의 방향이 일정하다고 가정한다. 우선 수평,

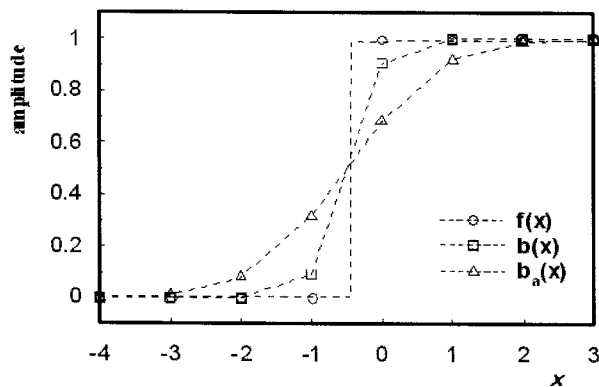


그림 4. 이상적인 경계함수와 블러링이 발생한 경계 함수

Fig. 4. Ideal step function and its blurred edges.

수직, 두 대각선 방향(45°, 135°)의 경계를 알아내기 위해 각 방향으로 사영을 시켜 방향의 1차원 신호를 구한다. 예로, 수평 방향의 사영 신호 $B_h(x)$ 은 다음과 같이 계산된다.

$$B_h(x) = \frac{1}{N} \sum_{y=0}^{N-1} B(x, y) \quad (0 \leq x \leq N-1) \quad (9)$$

이 신호의 극대값과 극소값의 차이를 수평사영신호의 경계 강도(amplitude)로 정의하고 극대와 극소가 발생한 위치의 차이를 그 신호의 경계 전이 폭으로 정의한다. 비슷한 방법으로 수직 방향과 두 대각선 방향으로 사영한 신호로부터 경계의 강도와 경계 전이 폭을 각각 구할 수 있다. 만약 이 블록에 수직 경계가 포함되어 있다면 네 방향 사영으로부터 얻어진 경계의 강도 중에서 수평 사영 신호의 경계의 강도가 가장 클 것이다. 만일 수평 사영 신호의 경계 강도가 가장 크다면 그 블록에서의 경계는 수직 방향일 확률이 크다고 볼 수 있다. 따라서 네 방향으로의 사영 신호들 중에서 가장 큰 값을 경계의 강도로 정의하고 이 방향의 사영신호에서 경계의 전이폭을 계산한다. 그림 5에서 블록에 수직 경계가 포함되어 있는 경우에 수평 방향의 사영 신호 $B_h(x)$ 로부터 국소적 영역의 경계 전이폭 ϵ 은 $|P_1 - P_2|$ 로 계산되는 예를 보여준다.

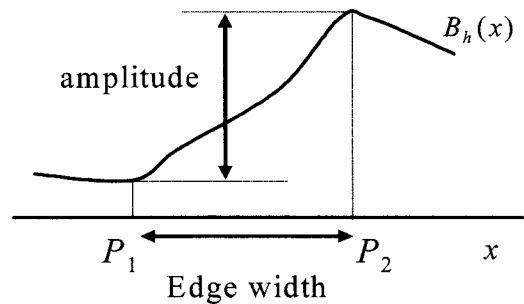


그림 5. 경계 강도와 경계 전이 폭의 계산
Fig. 5. Calculation of amplitude of edge and its width.

2. Kurtosis와 SSIM

일반적으로 확률변수의 kurtosis는 정규화된 4차 능률(4th central moment)로 다음과 같이 정의된다.

$$k = \frac{E[(x - \mu)^4]}{\sigma^4} \quad (10)$$

여기서 μ 와 σ 는 확률변수 x 의 평균과 표준편차를

나타낸다.

Kurtosis는 확률 분포의 peakness를 측정하는 수치로 $k=3$ 일 때 정규분포로 mesokurtic이라 한다. $k<3$ 일 때 platykurtic 분포라고 하고, 이 경우 kurtosis의 값이 커질수록 데이터의 평활이 크다고 알려져 있다^[13]. 이러한 특성은 블러링을 측정하는데 유용하게 사용될 수 있다.

SSIM(Structural SIMilarity)은 두 영상간 밝기(luminance)와 대비(contrast) 뿐만 아니라 상관도를 비교하여 구조적 유사도를 측정하는 척도로 다음과 같이 정의된다^[14].

$$SSIM(X, Y) = \frac{(2\mu_X\mu_Y + C_1)(2\sigma_{XY} + C_2)}{(\mu_X^2 + \mu_Y^2 + C_1)(\sigma_X^2 + \sigma_Y^2 + C_2)} \quad (11)$$

여기서 μ 와 σ 는 각 영상의 평균과 표준편차를 나타내고, σ_{XY} 는 두 영상의 공분산(covariance)이다.

두 영상 X 에 비해 Y 의 열화가 없어 두 영상간의 화질이 거의 비슷하면 그 값은 1에 가깝게 된다. 만약 평가를 위한 입력영상 X 가 심하게 블러링이 되어있다면, 그 영상을 다시 블러링을 발생시킨 영상 Y 와의 SSIM은 1에 가까운 수치가 된다. 반대로 입력영상 X 가 열화가 없고 원본과 거의 유사하다면 다시 블러링시킨 영상 Y 와의 SSIM은 1보다 다소 작은 수치가 될 것이다. 이러한 사실을 이용하여 블러링 수치 계산 시 SSIM을 이용하여 블러링 수치를 보정할 수 있다.

3. 블러링 열화 수치

영상에서의 블러링은 고주파 성분의 감쇠에 의해 나타나게 되며, motion 블러링과 defocused 블러링 및 압축 손실 등이 주된 원인이다. 무기준법(no-reference) 블러링 수치는 원 영상의 콘텐츠 정보와 블러링의 종류에 관한 정보 없이 오직 처리된 영상 정보만을 이용하여 계산하여야 한다. 블러링은 주로 경계와 texture 영역과 같은 고주파 영역에서 발생한다. 평활영역과 같은 저주파 영역의 심한 블러링은 인간의 시각체계에서 그리 민감하게 작용하지 않는다. 본 절에서는 경계의 전이 폭을 이용한 경계영역에서의 블러링 효과를 측정하는 블러링 측정 방법을 제안한다.

제안하는 블러링 측정 방법은 경계블록에서 kurtosis, SSIM, 경계 전이폭의 무기준법 블러링 특징을 조합하여 계산되며 그림 6에 그 블록도를 나타내었다. 우선 주어진 영상 $s(x,y)$ 과 이 영상을 다시 가우시안 커널

로 블러링시킨 영상 $s_a(x,y)$ 에 경계추출 필터(예: Sobel 필터)를 적용하여 경계 마스크 영상을 생성한다. 경계 마스크 영상의 $N \times N$ 블록 내에 경계 화소의 수가 일정 값보다 크면 그 블록을 경계블록으로 정의하고, 이 경계 블록에 대하여 앞서 언급한 kurtosis (k), SSIM 그리고 경계 전이 폭(ϵ)의 세 개의 특징값을 계산한다.

경계블록이 platykurtic 분포에 한하여 블러링 정도를 측정하게 되므로 kurtosis의 값이 3보다 작은 경우에만 그 경계 블록에서 SSIM과 경계 전이 폭을 계산한다. 영상 $s(x,y)$ 의 경계 블록 영상으로부터 사영신호를 생성하고 네 방향의 사영신호로부터 경계의 전이 폭(ϵ)을 계산한다. 또한 블러링시킨 영상 $s_a(x,y)$ 과의 블록 SSIM을 계산한다. 무기준법에 의한 객관적 블러링 수치인 EdgeWidth는 각 경계블록에서 추출된 경계 전이 폭의 평균, 표준편차와 더불어 SSIM의 적절한 함수화를 통하여 다음과 같이 계산된다.

$$Edge\ Width = E(\epsilon) - 2std(\epsilon) + f(E(S_{ssim})) \quad (12)$$

여기서 ϵ 과 S_{ssim} 은 각 경계 블록에서 계산된 국소적 경계 전이 폭과 SSIM을 의미한다. 또한 $E(\cdot)$, $std(\cdot)$ 은 각각 평균, 표준편차를 나타내고, 보정함수 $f(x) = 6(x - 0.6)u(x - 0.6)$ 는 실험적으로 결정되었다.

만약 영상의 경계 블록 수가 매우 작은 경우에는 영

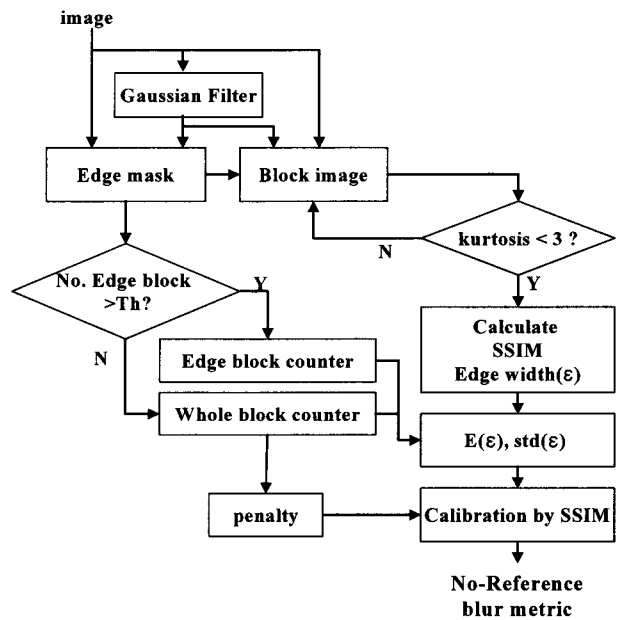


그림 6. 무기준법 객관적 블러링 수치 블록도
Fig. 6. Block diagram of NR objective blur metric.

상에 경계영역이 거의 없다는 것을 의미한다. 이 경우에는 입력 영상의 블러링 정도가 아주 심하다고 볼 수 있다. 경계 블록 수가 총 블록의 수의 0.5%미만이면 영상에 심한 블러링이 발생했다고 판단하고, (12)의 $E(\cdot)$ 과 $std(\cdot)$ 는 영상의 모든 $N \times N$ 블록 영상으로부터 계산한다. 이 때 모든 블록에서 계산된 ϵ 의 평균과 표준편차, S_{ssim} 의 평균을 이용하여 블러링 수치를 계산한다. 또한 블러링이 심한 경우를 고려하기 위하여 적절한 penalty(상수값)를 더하여 객관적 블러링 수치(EdgeWidth)를 다음과 같이 구한다.

$$Edge\ Width = E(\epsilon) - 2std(\epsilon) + f(E(S_{ssim})) + P \quad (13)$$

여기서 P 는 블러링 보상을 위한 penalty 값으로 2를 사용하였다.

IV. 실험 및 결과

컬러 영상에는 R, G, B 세 개의 색상 채널이 존재한다. 각 채널의 정보와 더불어 Luminance에서도 영상의 중요한 정보를 획득할 수 있다. 본 논문에서의 평균 영상(average image) $A(x,y)$ 은 3채널의 영상 $R(x,y)$, $G(x,y)$, $B(x,y)$ 의 평균으로 정의하였다.

$$A(x,y) = \frac{R(x,y) + G(x,y) + B(x,y)}{3} \quad (14)$$

영상의 R, G, B, A 4개 채널에서 추출되는 각각의 화질 수치의 집합인 $\Omega = \{M_R, M_G, M_B, M_A\}$ 을 사용하여, 영상의 객관적 화질 수치 QM (Quality metric)을 다음과 같이 계산한다. 결정된 블록킹과 블러링의 수치를 각각 QM_{blk} , QM_{blr} 이라고 한다.

$$QM = \begin{cases} \max(M_\Omega) & \text{if } M_A < \frac{1}{4} \sum_{X \in \Omega} X \\ \min(M_\Omega) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (15)$$

실험에는 LIVE Quality Assessment Database의 JPEG과 JPEG2000 압축 영상, 그리고 Gaussian 블러링 영상이 사용되었다^[15]. 주관적 화질 수치인 DMOS (Difference Mean Opinion Score)와 객관적 화질 수치 간 상관관계를 계산하여 성능을 측정하였다.

$$\rho = \frac{E(X - m_X)(Y - m_Y)}{\sigma_X \sigma_Y} \quad (16)$$

여기서 X 와 Y 는 각각 주관적 수치와 객관적 평가

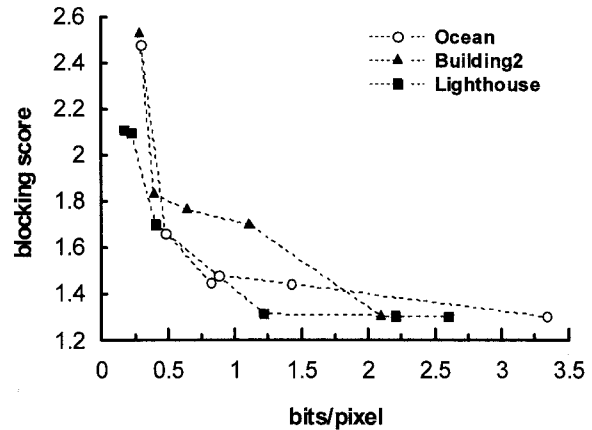


그림 7. JPEG 압축률에 따른 영상의 객관적 블록킹 수치
Fig. 7. NR blocking metric along with bit-rate for JPEG-coded images.

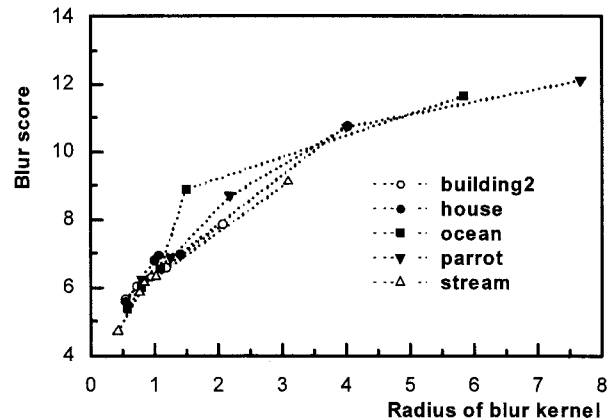


그림 8. 블러링 커널 반경에 따른 객관적 블러링 수치의 추이
Fig. 8. NR blur metric along with blur radius for Gaussian blurred images.

값이다.

그림 7은 다양한 비트율로 JPEG 압축을 수행한 영상의 블록킹 수치의 추이도이다. 블록킹이 많이 발생하는 0.5bit/pixel 이하의 저비트율에서는 블록킹 수치가 크게 나타나며, 점차 줄어들어 1.5bit/pixel 이상의 비트율에서는 객관적 블록킹 수치의 변화가 매우 적은 것을 확인할 수 있다.

그림 8은 Gaussian 블러링 영상의 블러링 수치의 추이도이다. Gaussian 블러링 영상의 블러링 커널 반경에 따른 객관적 블러링 수치를 비교한 결과 각 영상에서 실제 블러링 커널의 반경이 커짐에 따라 추정하는 블러링 수치도 증가함을 볼 수 있다. 제안하는 경계 폭의 추정은 영상의 콘텐츠에 관계없이 좋은 성능을 보여줌을

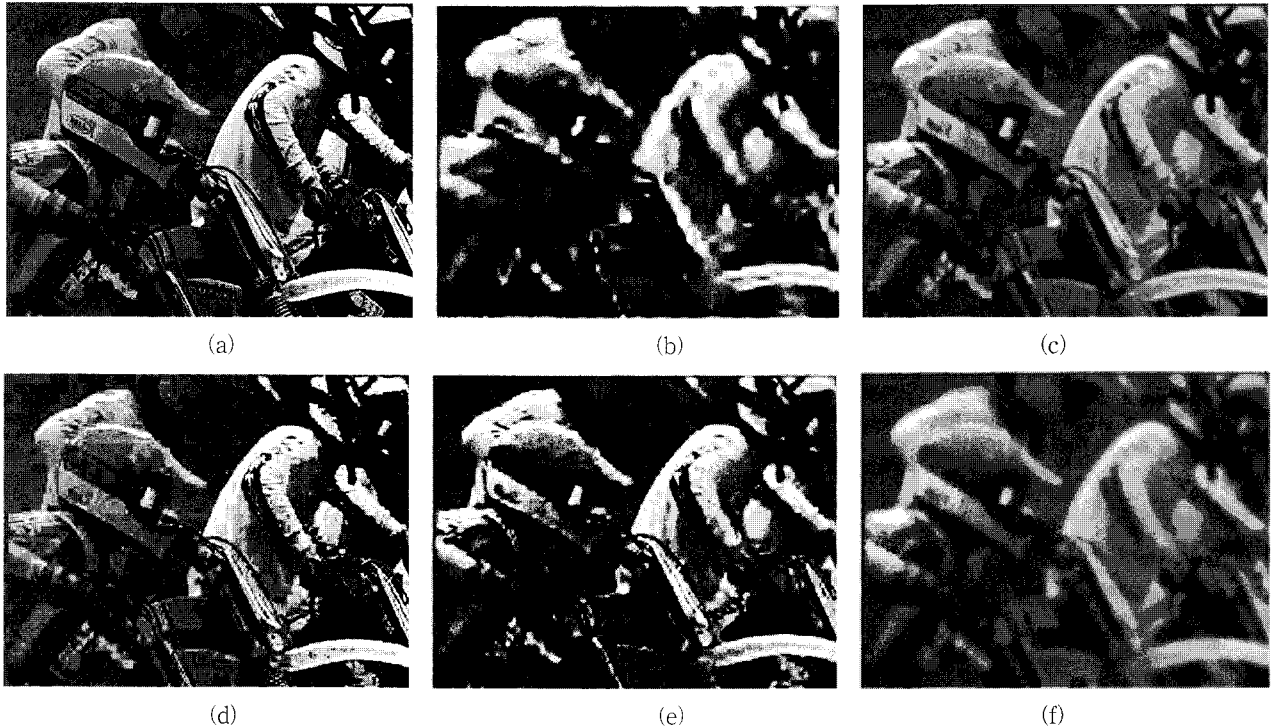


그림 9. 평가에 사용된 부분 영상과 주관적 및 객관적 평가 수치 비교: (a) JPEG 압축(bpp=1.03, blocking=1.59, blur=5.92, DMOS=28.5) (b) JPEG2000 압축(bpp=0.13, blocking=0.0, blur=6.98, DMOS=67.1) (c) Gaussian blur (radius=1.31, blocking=0.07, blur=7.19, DMOS=43.1) (d) JPEG 압축(bpp=0.30, blocking=2.75, blur=5.96, DMOS=63.7) (e) JPEG2000 압축(bpp=0.04, blocking=0.0, blur=8.03, DMOS=82.7) (f) Gaussian blur (radius=2.62, blocking=0.0, blur=8.59, DMOS=59.7)

Fig. 9. Subimages used in the assessment and their subjective and objective scores: (a) JPEG 압축(bpp=1.03, blocking=1.59, blur=5.92, DMOS=28.5) (b) JPEG2000 압축(bpp=0.13, blocking=0.0, blur=6.98, DMOS=67.1) (c) Gaussian blur (radius=1.31, blocking=0.07, blur=7.19, DMOS=43.1) (d) JPEG 압축(bpp=0.30, blocking=2.75, blur=5.96, DMOS=63.7) (e) JPEG2000 압축(bpp=0.04, blocking=0.0, blur=8.03, DMOS=82.7) (f) Gaussian blur (radius=2.62, blocking=0.0, blur=8.59, DMOS=59.7)

확인할 수 있다.

그림 9는 실험에 사용된 영상의 부분 영상과 객관적 및 주관적 수치를 보여준다. 낮은 압축의 JPEG 압축 영상의 블록킹 지수는 크게 나타난다(그림 9(d)). 그러나 JPEG2000 압축영상과 Gaussian blur 영상의 경우에는 블록킹이 발생하지 않으므로 블록킹 수치는 거의 0에 가깝다. 이러한 영상에는 블러링 수치가 블록킹이 발생하는 영상보다 다소 크게 나타난다.

표 1은 JPEG, JPEG2000과 Gaussian 블러링 영상에 대한 주관적 화질 수치와 객관적 화질 수치(QM)와의 상관관계를 보여준다. JPEG 영상에는 블록킹 열화가 많이 발생하게 되므로 주관적 화질 수치와의 상관관계는 블록킹 수치의 경우 다소 높은 상관도 0.7853를 보여주고 (그림 10), 상대적으로 블러링 수치는 낮은 상관관계를 보인다. Gaussian 블러링 영상의 경우 블록킹 열화는 존재하지 않고 블러링 열화가 주된 영상의 열화

표 1. 제안하는 객관적 화질 수치와 주관적 화질 수치와의 상관관계

Table 1. Correlation coefficients between the proposed NR QM and the subjective scores

	Blocking Metric (QM_{blk})	Blur Metric (QM_{blr})	Weighted NR Metric (NR_{metric})
JPEG	0.7853	0.1988	0.7859
JPEG2000	-0.4754	0.7247	0.7447
Gaussian Blur	-0.4438	0.8938	0.8961

요인이므로 블러링 수치가 0.8938의 매우 높은 상관도를 보여준다(그림 11). JPEG2000 영상은 블록킹 열화보다는 블러링 열화가 우세하게 나타난다. 그러나 이 블러링 열화는 Gaussian 블러링 열화와 다른 코덱의 고주파 성분의 감쇄에 의한 것이므로 Gaussian 블러링 영

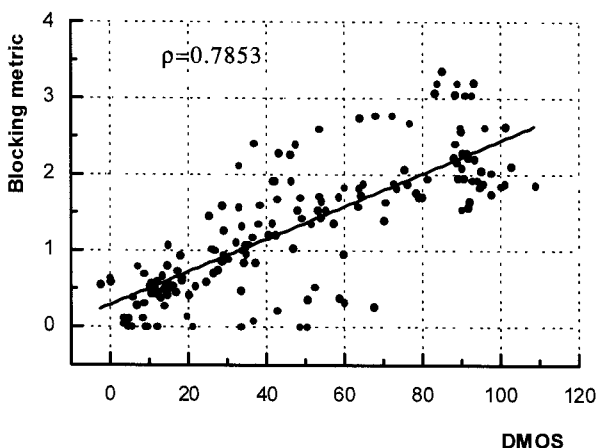


그림 10. JPEG 영상에 대한 객관적 블로킹 수치와 주관적 수치와의 상관도

Fig. 10. Scatter plot between NR blocking metric and subjective testing for JPEG coded images.

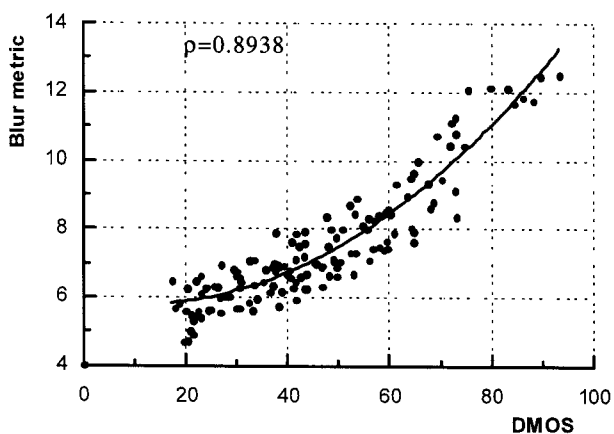


그림 11. Gaussian 블러링 영상에 대한 경계 전이 폭의 객관적 블러링 수치와 주관적 수치와의 상관도

Fig. 11. Scatter plot between NR blur metric of estimated edge width and subjective testing for Gaussian blurred images.

상의 상관도 보다 낮은 0.7247의 상관도를 보여준다.

표 1의 최종적인 무기준법의 객관적 화질 수치는 블로킹 수치와 블러링 수치에 가중치를 곱하고, 그 값을 모두 합함으로써 객관적 화질 수치화 된다.

$$NRmetric = [w_1 \ w_2][Blk \ Blr]^T \quad (17)$$

여기서 $[w_1 \ w_2]$ 는 가중치 벡터이고, $[Blk \ Blr]$ 는 블로킹과 블러링 객관적 화질 수치 벡터이다. 본 실험에서는 가중치 최적화 과정을 통한 가중치 벡터를 선정하였다^[16]. 가중치 벡터는 JPEG 영상의 경우에는 $[0.998 \ 0.052]$, JPEG2000 영상은 $[-0.887 \ 0.462]$, Gaussian blur 영상은 $[-0.746 \ 0.666]$ 을 각각 사용하

였다.

최종적인 객관적 화질 수치는 JPEG 영상의 경우에는 0.7859, JPEG2000 영상은 0.7447, Gaussian 블러링 영상은 0.8961의 상관관계를 보여 주었다.

V. 결 론

본 논문에서는 블로킹 수치와 블러링 수치를 이용한 무기준법에 의한 영상의 객관적 화질 측정 방법을 제안하였다. 블로킹 수치는 블로킹이 발생한 위치를 찾고 그 교차점에서 블로킹을 2차원 계단함수로 모델링함으로써 계산되었다. 블러링 수치는 경계영역을 1차원 계단함수의 블러링 모델을 이용하여 블러링 경계 전이 폭을 계산하여 얻어진다. 또한 kurtosis와 SSIM을 이용하여 블러링 수치를 보정하였다. 이들의 수치들은 각각 블로킹이 발생한 JPEG영상과 블러링이 발생하는 Gaussian 블러링 영상에서 주관적 화질 수치와 우수한 상관관계를 갖는 것을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] International Telecommunication Union, "Objective perceptual video quality measurement techniques for digital cable television in the presence of a full reference," ITU-R Recommendation BT.1683, 2004.
- [2] International Telecommunication Union, "Objective perceptual video quality measurement techniques for digital cable television in the presence of a full reference," ITU-T Recommendation J.144, 2004.
- [3] International Telecommunication Union, "Perceptual audiovisual quality measurement techniques for multimedia services over digital cable television networks in the presence of a reduced bandwidth reference," ITU-T Recommendation J.246, 2008.
- [4] International Telecommunication Union, "Objective perceptual multimedia video quality measurement in the presence of a full reference," ITU-T Recommendation J.247, 2008.
- [5] Z. Wang, A. C. Bovik and B. L. Evans, "Blind measurement of blocking artifacts in images," in Proc. IEEE Int. Conf. Image Processing, vol. 3, pp. 981-984, Vancouver, BC, Canada, Sep., 2000.
- [6] K. T. Tan and M. Ghanbari, "Frequency domain

- measurement of blockiness in MPEG-2 coded video," in Proc. IEEE Int. Conf. Image processing, vol.3, pp. 977-980, Vancouver, BC, Canada, Sep. 2000
- [7] A. C. Bovik and S. Liu, "DCT-domain blind measurement of blocking artifacts in DCT-coded images," in Proc. IEEE Int. Conf. Acoust, Speech, and Signal Processing, vol. 3, pp. 1725-1728. Salt Lake City, UT, USA, May. 2001.
- [8] L. Meesters and J.-B. Martens, "A single-ended blockiness measure for JPEG-coded images," *Signal Processing*, vol. 82, pp. 369-387, 2002.
- [9] P. Marziliano, F. Dufaux, S. Winkler, and T. Ebrahimi, "Perceptual blur and ringing metrics: Application to JPEG2000," *Signal Process.:Image Commun.*, vol. 19, no. 2, pp. 163-172, Feb. 2002.
- [10] M. Basu, "Gaussian-based edge-detection method-a survey," *IEEE Trans. System, Man and Cybernetics*, Part C, vol. 32, Issue 3, pp. 252-260, Aug. 2002.
- [11] K. Suzuki, I. Horiba and N. Sugie, "Neural edge enhancer for supervised edge enhancement from noisy images," *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 25, Issue 12, pp. 1582-1596, Dec. 2003.
- [12] H. Hu and G. de Haan, "Low cost robust blur estimator," in Proc. IEEE Int. Conf. Image Processing, pp. 617-620, 8-11, Atlanta, GA, USA, Oct. 2006.
- [13] D. Li, R. M. Mersereau, and S. Simske, "blur identification based on kurtosis minimization," in Proc. IEEE Int. Conf. Image Processing, vol. 1, pp 905-908, Genova, Italy, Sep. 2005.
- [14] Z. Wang, A. C. Bovik, H. R. Sheikh, E. P. Simoncelli, "image quality assessment: from error visibility to structural similarity," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 13. no. 4, pp. 600-612, Apr. 2004.
- [15] H. R. Sheikh, Z. Wang, L. Cormack and A. C. Bovik, "LIVE image quality assessment database," <http://live.ece.utexas.edu/research/quality>.
- [16] C. Lee, O. Kwon, "Objective measurements of video quality using wavelet transform," *Optical Engineering*, vol. 42(1), pp. 265-272, Jan. 2003.

 저 자 소 개



정 태 욱(학생회원)
1996년 연세대학교
수학과 학사 졸업
1998년 연세대학교
수학과 석사 졸업
2003년 연세대학교
전기전자공학과 석사졸업

2003년~현재 연세대학교 전기전자공학과
박사과정

<주관심분야 : 신호처리, 화질 평가>



김 영 희(정회원)
1989년 연세대학교
수학과 학사 졸업
1991년 연세대학교
수학과 석사 졸업
1998년 연세대학교
수학과 박사 졸업

2003년~현재 연세대학교 학부대학 교수

<주관심분야 : 가환대수, 암호, 화질 평가>



이 철 희(정회원)
1984년 서울대학교
전자공학과 학사 졸업
1986년 서울대학교
전자공학과 석사 졸업
1992년 Purdue University
전기공학 박사 졸업

1993년~1996년 National Institutes of Health
연구원

1996년~현재 연세대학교 전기전자공학과 교수

<주관심분야 : 신호처리, 화질 평가, 패턴인식>