

단순 기울기 연산자 기반의 새로운 저복잡도 고성능 영상 화질 측정 척도

배성호, 김문철
한국과학기술원 전기 및 전자 공학과
s.h.bae@kaist.ac.kr, mkim@ee.kaist.ac.kr

A Novel Low-Complex and High-Performance Image Quality Assessment Metric based on Simple Gradient Operators

Sung-Ho Bae, Munchurl Kim
Korea Advanced Institute of Science and Technology, School of Electrical Engineering

요약

객관적 영상 화질 측정(Image Quality Assessment: IQA) 방법은 영상 화질 최적화 문제해결을 목적으로 하는 영상 처리 및 컴퓨터 비전 분야에 매우 중요하게 사용된다. 이를 위해, 저복잡도, 고성능 및 좋은 수학적 특성(예를 들어, 척도성(metricability), 미분가능성(differentiability) 및 볼록 성질(convexity))을 모두 만족시키는 객관적 IQA 방법이 활발히 연구되어 왔다. 그러나, 위와 같은 언급한 좋은 수학적 특성을 가지는 대부분의 객관적 IQA 방법들은 좋은 수학적 특성을 만족시키기 위해 상당한 예측성능의 감소를 초래했다. 본 논문은 위에서 언급한 좋은 수학적 특성을 모두 만족시키면서, 예측 성능이 향상된 새로운 IQA 방법을 제안한다. 인간 시각 체계의 감수영역은 광도 입력에 대해 공간 도메인에서 미분 형태의 응답을 가지므로, 제안 방법은 이러한 시각 체계 응답을 모방하여 기울기 연산자를 도입한다. 제안한 방법에서 도입한 기울기 연산자는 매우 단순하게 설계되어, 계산 복잡도가 매우 낮다. 광범위한 실험 결과, 제안하는 IQA 방법은 기존 수학적 특성이 좋은 IQA 방법들 대비 더 좋은 성능을 보이면서 계산 복잡도 또한 낮았다. 따라서 제안 IQA 방법은 다양한 영상 화질 최적화 문제에 매우 효과적으로 적용될 수 있다.

1. 서론

영상의 화질을 객관적으로 측정하는 알고리즘은 영상처리 및 컴퓨터 비전 분야에서 매우 중요하게 사용된다[1]. 예를 들어, 객관적 영상 화질 측정(Image Quality Assessment: IQA) 방법은 영상 처리 및 컴퓨터 비전 알고리즘을 통해 획득된 복원 영상의 화질을 쉽고 빠르게 측정하기 위한 척도로 사용된다[2], [3]. 또한, 객관적 IQA 방법은, 영상 복원 문제에 있어서 인지적으로 높은 화질 영상을 복원할 때 영상 화질 최적화 문제의 목적함수 또는 사전지식으로 사용되거나, 계산 복잡도를 줄이기 위한 국부-선택적인 영상복원 방법에 적용될 수 있다[4].

객관적 영상 화질 측정 방법은 참조 영상 정보의 사용 가능성 정도에 따라 완전 참조(Full-Reference: FR) IQA 방법, 감소 참조(Reduced-Reference: RR) IQA 방법, 무참조(No-Reference: NR) IQA 방법으로 나뉜다[5]. 본 논문에서는 완전 참조 IQA(FR-IQA) 방법만을 다룬다.

FR-IQA 방법 연구에 있어서, 인지 시각 민감도 특성들 [6]–[9]을 이용한 FR-IQA 방법 [10], [11] 및 SSIM(Structural SIMilarity) [13]을 포함하여 최근 왜곡 영상에 대한 주관적 인지 화질과 상당히 높은 일관성을 가지는 FR-IQA 방법들이 활발히 연구되어 왔다 [9]–[13].

최근, FR-IQA 방법들의 적용 범위를 넓히기 위해 수학적으로 좋은 특성을 가지는 FR-IQA 방법에 대한 연구가 활발히 진행되었다 [14], [15]. Brunet 은 SSIM 에 대한 수학적 분석을 통해, SSIM 이 가지지 않는 좋은 수학적 특성들(예를 들어, 유효 거리 척도(valid distance metricability), 볼록 또는 유사볼록(convex or quasi-convex) 특성을 가지도록 하는 변형 SSIM(Modified SSIM: MoSSIM)을 제안하였다 [14]. Xue 는 가우시안 평활화(smoothing)된 원본 영상과 왜곡 영상간 오차의 평균 제곱값으로 왜곡에 대한 인지 열화 정도를 모델링 하였고, 이를 PAMSE(Perceptual Aware Mean Squared Error)로 명명하였다 [15]. 이 방법은 가중치화 된 평균 제곱 오차(Mean Squared Error: MSE)와 같이 해석될 수 있기 때문에 위에서 언급한 좋은 수학적 특성을 모두 만족한다.

그러나, MoSSIM 과 PAMSE 는 좋은 수학적 특성을 가지는 대신 영상 화질 예측 성능이 최신 FR-IQA 방법들에 비해 상대적으로 낮다.

본 논문에서는 이를 해결하기 위해 새로운 FR-IQA 방법(Simple Gradient operator-based Quality Metric: SGQM)을 제안한다. 제안 방법은 위에서 언급한 좋은 수학적 특성을 모두 만족한다. 또한 제안 FR-IQA 방법은 MSE, MoSSIM 및 PAMSE 대비 향상된 영상 화질 예측력을 가진다. 제안 방법은 매우 단순한 기울기 연산자를 이용해 만들어 졌기

때문에, 계산 복잡도 면에서도 매우 빠른 계산 속도를 보인다는 장점이 있다.

2. 제안하는 SCQM

본 논문에서 제안하는 SGQM 은 YIQ 색 공간에서 수행된다. 즉, 원본 영상 $\mathbf{X}=[\mathbf{X}_Y, \mathbf{X}_I, \mathbf{X}_Q]$, 왜곡 영상 $\mathbf{Y}=[\mathbf{Y}_Y, \mathbf{Y}_I, \mathbf{Y}_Q]$ 에 대해 SGQM 이 수행된다. SGQM 은 4 차원의 특징 벡터($\mathbf{f} = [f_1, f_2, f_3, f_4]$)에 대한 가중치 합으로 모델링 되었다. SGQM 에서 2 개의 특징(f_1, f_2)을 모델링 하기 위해, 우리는 광도에 대한 인간 시각 체계(Human Visual System: HVS)의 시각 피질(visual cortex)에서의 감수 영역(receptive field) 응답을 모방한다. 감수 영역의 응답은 광도 입력에 대한 차분(또는 대비)을 출력으로 가지며, 시각 피질은 이러한 차분정보를 기반으로 외부 세계를 인식한다[17]. 본 논문에서는 이러한 차분 정보를 모델링 하기 위해 매우 단순한 기울기 연산자를 사용했다. 우리가 사용하는 기울기 연산자는 식 (1)로 표현된다.

$$G_h = [1, -1], \quad G_v = [1, -1]^T \quad (1)$$

여기서 G_h, G_v 는 각각 영상의 수평과 수직축에 대한 기울기 연산을 의미한다. 우리는 식 (1)을 통해 원본 광도 영상(\mathbf{X}_Y)과 왜곡 광도 영상(\mathbf{Y}_Y) 각각에 대해 기울기 맵을 얻고, 얻어진 기울기 맵들 간 대한 평균 자승 오차를 계산한다. 계산된 평균 자승 오차는 각각 수평, 수직 방향에 대한 2 개의 실수를 가진다. G_h, G_v 는 선형 연산자 이기 때문에 연산량 감소를 위해 식 (2)과 같이 표현될 수 있다.

$$f_1 = \frac{1}{N} \|G_h \otimes (\mathbf{X}_Y - \mathbf{Y}_Y)\|_2^2, \quad f_2 = \frac{1}{N} \|G_v \otimes (\mathbf{X}_Y - \mathbf{Y}_Y)\|_2^2 \quad (2)$$

여기서 \otimes 는 컨볼루션 연산자를 의미한다. 우리는 다음으로, 색(chrominance) 왜곡에 대한 인지 화질을 반영하기 위해, 원본 영상과 왜곡 영상의 I 와 Q 성분에 대한 MSE 를 구한다. 즉 I 와 Q 성분 왜곡에 대한 특징 f_3 과 f_4 는 식 (3)과 같다.

$$f_3 = \frac{1}{N} \|\mathbf{X}_I - \mathbf{Y}_I\|_2^2, \quad f_4 = \frac{1}{N} \|\mathbf{X}_Q - \mathbf{Y}_Q\|_2^2 \quad (2)$$

결과적으로, SGQM 은 식 (3)으로 계산된다.

$$SGQM = [f_1, f_2, f_3, f_4] \cdot [w_1, w_2, w_3, w_4]^T \quad (3)$$

여기서 f_i 와 $w_i, i=1, 2, 3, 4$ 는 각각 하나의 특징 값과 그에 상응하는 가중치를 나타낸다. 우리는 실험적으로 식 (3)의 가중치를 $w_1=0.75, w_2=2.3, w_3=3.6, w_4=3.4$ 로 설정했다.

3. 실험 결과

제안하는 SGQM 를 영상 화질 예측 정확도와 계산 복잡도 측면에서 검증하였다. 우선 영상 화질 예측 정확도 검증을 위해, 우리는 현재 공식적으로 사용가능하며 가장 많은 데이터를 가지는 3 개의 데이터세트(TID2013[17], TID2008[18], CSIQ[11])에 대해 실험을 수행하였다. 표 1 은 실험에 사용된 데이터세트의 정보를 보인다. SCQM 의 성능은 3 개의 수학적 특성이 좋은 FR-IQA 방법들(PSNR, PAMSE[14], MoSSIM[15])과 비교된다.

성능 검증을 위해 도입한 4 개의 성능 지표는, SROC(Spearman Rank-Order Correlation coefficient), KROC (Kendall Rank-Order Correlation coefficients), PLCC(Pearson Linear Correlation coefficient), RMSE(Root

Mean Squared Error)이다. 여기서 SROC 가 FR-IQA 방법의 성능을 측정하기 위한 대표적 성능 지표로 사용된다[5]. 우리는 전체 성능을 보이기 위해 각각의 데이터세트에서의 성능 지표에 대해 데이터 세트의 샘플 개수에 의한 가중치평균을 전체 성능(overall performance)로 제시하였다. 우리는 계산된 IQA 방법과 실제 측정된 주관적 화질 점수(MOS: mean opinion score)를 매핑시키기 위해 로지스틱 회귀법을 사용하였다 [19]. 표 2 는 영상 화질 예측 성능 실험 결과를 보인다. 여기서 각각의 성능 지표에서 가장 좋은 성능은 굵은 글씨로 강조되었다.

표 1. 실험에 사용된 데이터세트 정보

데이터 세트	#참조 영상	#왜곡 영상	#왜곡 종류	#참가자
TID2013	25	3000	24	917
TID2008	25	1700	17	838
CSIQ	30	866	6	35

#: the number of

표 2. 영상 화질 예측 성능 실험 결과

Dataset	Measure	PSNR	PAMSE	MoSSIM	SGQM
TID 2013	SROC	0.6868	0.6454	0.7514	0.7950
	KROC	0.4960	0.4966	0.5651	0.6070
	PLCC	0.6778	0.6642	0.7899	0.7377
	RMSE	0.9110	0.9261	0.7598	0.8370
TID 2008	SROC	0.5371	0.6216	0.8078	0.7675
	KROC	0.3795	0.4823	0.6055	0.5798
	PLCC	0.5387	0.5943	0.7920	0.6944
	RMSE	1.1297	1.0783	0.8187	0.9656
CSIQ	SROC	0.8409	0.8249	0.8148	0.8932
	KROC	0.6401	0.6623	0.6387	0.7074
	PLCC	0.8280	0.7179	0.8502	0.7681
	RMSE	0.1470	0.1719	0.1380	0.1681
전체 (Overall)	SROC	0.6651	0.6661	0.7785	0.8019
	KROC	0.4828	0.5180	0.5889	0.6143
	PLCC	0.6587	0.6512	0.7999	0.7292
	RMSE	0.8589	0.8552	0.6810	0.7722

결과적으로, 제안하는 SGQM 은 다른 비교 FR-IQA 방법들에 비해 전체 SROC, KROC 관점에서 가장 좋은 성능을 보였다. 추가로, 본 논문에서는 SCQM 의 연산속도를 PSNR, PAMSE, MoSSIM 과 비교한다.

표 3. 테스트 FR-IQA 방법에 대한 연산 속도 비교

FR-IQA방법	<i>fps</i>
PSNR	526.51
PAMSE	129.37
MoSSIM	73.97
SGQM	147.84

제안하는 SGQM 은 PSNR 을 제외하면 3 개의 FR-IQA 방법 중 가장 빠른 연산 속도를 가진다. 또한 SCQM 은 PAMSE 보다 더 연산 속도가 빠르다. 그러나 PSNR 과 PAMSE 는 제안 방법보다 영상 화질 예측력이 상당히 낮다. MoSSIM 과 비교 시, SCQM 은 훨씬 빠른 연산 속도를 보인다.

5. 결론

본 논문에는 저복잡도, 고성능 및 좋은 수학적 특성을 만족시키는 FR-IQA 방법을 제안하였다. 제안하는 FR-IQA 방법 다른 FR-IQA 방법들과 비교하였을 때, 영상 화질 예측 성능 및 계산 복잡도의 모든 측면에서 매우 좋은 성능을 보였다. 따라서 제안 FR-IQA 방법은 영상 화질 최적화 문제에 매우 효과적으로 적용될 수 있다.

감사의 글

본 논문 연구는 연구재단 중견연구자사업 핵심연구(개인) 과제(과제번호: 2014R1A2A2A01006642)로 수행되었음.

참고문헌

- [1] Z. Wang and A. C. Bovik, "Mean squared error: Love it or leave it? A new look at signal fidelity measures," *IEEE Signal Process. Mag.*, vol. 26, no. 1, pp. 98–117, Jan. 2009.
- [2] S.-H. Bae, J. Kim, M. Kim, S. H. Cho, and J. S. Choi, "Assessments of subjective video quality on HEVC-encoded 4K-UHD video for beyond-HDTV broadcasting services," *IEEE Trans. on Broadcast.*, vol. 59, no. 2, pp. 209–222, Jun. 2013.
- [3] J.-S. Choi, S.-H. Bae and M. Kim, "A no-reference perceptual blurriness metric based fast super-resolution of still pictures using sparse representation," *Proc. SPIE*, vol. 9401, pp. 94010N.1–94010N.7, Mar. 2015.
- [4] J. Kim, S.-H. Bae, and M. Kim, "An HEVC-compliant perceptual video coding scheme based on JND models for variable block-sized transform kernels," *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, in press, Jan. 2014.
- [5] L. Zhang, L. Zhang, X. Mou, and D. Zhang, "A comprehensive evaluation of full reference image quality assessment algorithms," *Proc. 19th IEEE Int. Conf. Image Process.*, pp. 1477–1480, Sep./Oct. 2012.
- [6] S.-H. Bae and M. Kim, "A novel DCT-based JND model for luminance adaptation effect in DCT frequency," *IEEE Signal Process. Lett.*, vol. 20, no. 9, pp. 893–896, Sept. 2013.
- [7] S.-H. Bae and M. Kim, "A new DCT-based JND model of monochrome images for contrast masking effects with texture complexity and frequency," *IEEE Int. Conf. on Image Proc.*, Melbourne, Australia, Sept. 15–18, pp. 431–434, 2013.
- [8] S.-H. Bae and M. Kim, "A novel generalized DCT-based JND profile based on an elaborate CM-JND model for variable block-sized transforms in monochrome images," *IEEE Trans. on Image Process.*, vol. 23, no. 8, Aug. 2014.
- [9] C.-H. Chou, Y.-C. Li, "A perceptually tuned subband image coder based on the measure of just-noticeable distortion profile," *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, vol. 5, no. 6, pp. 467–476, Dec. 1995.
- [10] S.-H. Bae and M. Kim, "A novel SSIM Index for Image Quality Assessment using Luminance Adaptation Effect Model in Pixel Intensity Domain," *IEEE Video Comm. and Image Proc.*, accepted for publication, Dec. 13–16, 2015.
- [11] E. C. Larson and D. M. Chandler, "Most apparent distortion: Full-reference image quality assessment and the role of strategy," *J. Electron. Imag.*, vol. 19, no. 1, pp. 001006:1–001006:21, Jan. 2010.
- [12] Z. Wang, A. C. Bovik, H. R. Sheikh, and E. P. Simoncelli, "Image quality assessment: from error visibility to structural similarity," *IEEE Trans. on Image Process.*, vol. 13, pp. 600–612, Apr. 2004.
- [13] S.-H. Bae and M. Kim, "A novel image quality assessment based on an adaptive feature for image characteristics and distortion types," *IEEE Video Comm. and Image Proc.*, accepted for publication, Dec. 13–16, 2015.
- [14] D. Brunet, E. R. Vrscay, and Z. Wang. "On the mathematical properties of the structural similarity index," *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 21, no.4, pp. 1488–1499, Oct. 2012.
- [15] W. Xue, X. Mou, L. Zhang, X. Feng, "Perceptual fidelity aware mean squared error," *Proc. IEEE Int. Conf. Computer Vision*, Dec. 2013, pp. 705–712.
- [16] J. E. Dowling. *The retina: an approachable part of the brain*. Optometry and Vision Science, 65, 1988.
- [17] N. Ponomarenko et al., "Color image database TID2013: Peculiarities and preliminary results," *Proc. 4th Eur. Workshop Vis. Inf. Process.*, Jun. 2013, pp. 106–111.
- [18] N. Ponomarenko, V. Lukin, A. Zelensky, K. Egiazarian, M. Carli, and F. Battisti, "TID2008—A database for evaluation of full-reference visual quality assessment metrics," *Adv. Modern Radioelectron.*, vol. 10, no. 4, pp. 30–45, Oct. 2009.
- [19] Final Report From the Video Quality Experts Group on the Validation of Objective Models of Video Quality Assessment VQEG. Available: <http://www.vqeg.org>, 2000.