

## 이산 코사인 변환 공간에서의 주파수에 따른 광-적응 효과 최소 인지 왜곡 임계치 모델링

배성호, 김문철

한국과학기술원 전기 및 전자 공학과

shbae84@kaist.com, mkim@ee.kaist.ac.kr

## Luminance-Adaptation Effect Just-Noticeable-Distortion Modeling according to Frequency in The DCT Domain

Sungho Bae, Munchurl Kim

Korea Advanced Institute of Science and Technology Department of Electrical Engineering

## 요약

본 논문에서는 DCT 변환 공간상의 배경휘도와 주파수를 고려한 2차원의 개선된 광-적응 효과 (luminance adaptation: LA) JND 모델을 제안한다. 기존의 LA JND 모델은 배경 휘도가 중간점인 회색에 가까울수록 JND가 낮고, 배경 휘도가 어두워지거나 밝아질수록 JND 값이 증가하는 U자형의 1차원 함수형태를 보였다. 그러나 기존 LA JND 모델은 주파수에 따른 영향이 반영되지 않았기 때문에 DCT와 같은 주파수 공간상 JND 모델로는 부정확 한 단점이 있다. 본 논문에서는 주파수와 배경휘도에 따른 2차원 LA JND 모델을 제안한다. 주파수에 따른 LA JND 값을 실제 실험을 통해 획득하였다. 실험 방법은 9가지 크기의 배경 휘도가 다르고 공간적 복잡도가 없는 균일한 영상을 대상으로 8x8 실수형 DCT를 수행한 다음, 15 가지 경우의 주파수 크기가 다른 계수들에 대해 사람이 인지 할 때 까지 노이즈를 증가시켜서 JND 값을 찾는 방식을 사용하였다. 실험 결과 4 cpd(cycle per degree) 보다 작은 주파수 대역에서는 기존의 LA JND 모델과 유사한 결과를 얻었지만 4 cpd보다 큰 주파수 대역에서는 오히려 배경휘도가 작은 값을 가질수록 JND가 감소하는 형태를 보였다. 수행한 실험 결과를 반영하여 주파수가 반영된 2차원 LA JND 모델을 제안한다.

## 1. 서론

대부분의 영상 및 비디오는 인간 시각 시스템(HVS)을 통해 소비됨에도 불구하고, 현재의 왜곡 평가 방법은 객관적 왜곡 평가 방법(예: MSE)들을 사용한다. 이러한 객관적 평가 방법은 수학적으로 다루기 쉬운 장점이 있으나 HVS를 잘 반영하지 못한다는 단점이 있다 [1].

JND (just noticeable distortion)는 인간이 인지할 수 없는 최대의 왜곡을 의미한다. 이러한 개념을 사용하여 JND를 모델링 하는 연구가 진행되어 왔다. JND 모델은 영상 및 비디오 기술 저변에 활용 가능하며, 특히 비디오 압축 분야에서 인지하지 못하는 중복성을 제거함으로써 압축 성능 향상을 불러 올 수 있는 장점이 있다 [2,3].

이러한 배경에서 본 논문은 DCT 공간상의 JND 모델 중 개선된 광적응 (luminance adaptation: LA) JND 모델을 제안한다. 기존의 LA JND 모델은 배경 휘도가

중간점인 회색에 가까울수록 JND가 낮고, 배경 휘도가 어두워지거나 밝아질수록 JND 값이 증가하는 U자형 모양을 가진다[2-4]. 기존의 LA JND 모델은 단순한 환경에서 수행된 정신 물리학적 실험 결과를 이용하여 위와 같은 결과를 얻었지만 주파수를 고려하지 않고 모든 주파수에 대해 동일한 JND 값을 가졌다. 본 논문에서는 LA JND의 크기가 주파수에 따라 어떻게 다르게 나타나는지 확인하기 위해 주파수와 배경 휘도를 변화시켜 가며 인지적 JND 임계치 실험을 수행하였다.

본 논문의 2장에서는 기존의 LA JND 모델을 소개한다. 3장에서는 인지적 JND 실험을 수행하고, 그 결과를 분석한다. 4장에서는 3장의 실험 결과를 이용하여 정교화 된 LA JND 모델을 제안한 다음 마지막으로 5장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

## 2. 기존의 LA JND 모델

일반적인 LA JND 모델은 회색의 평균 배경 휘도

(픽셀당 휘도가 8bit 인 경우 127의 값)를 중심으로 배경 휘도가 낮아지거나 증가할수록 JND 값이 증가하는 것을 모델링 한 것이다. 따라서  $x$ 축을 배경 휘도,  $y$ 축을 JND 값으로 보면 중심 배경 휘도인 127을 기준으로 U자형 곡선을 나타낸다. (그림 1)

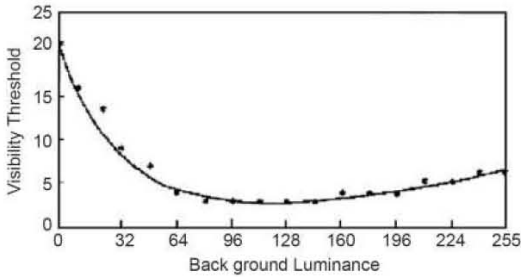


그림 1. 기존 LA JND 모델

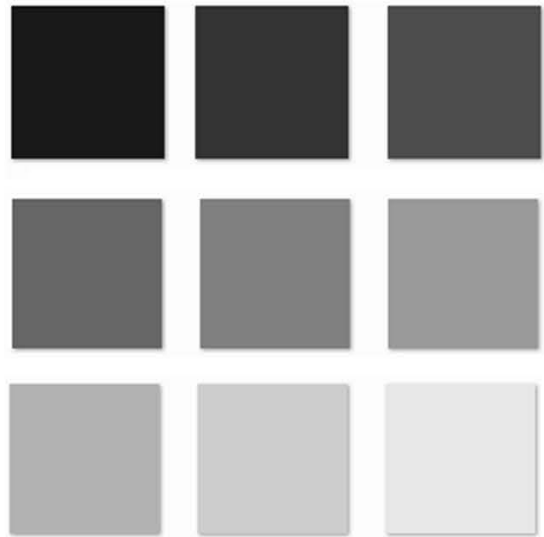


그림 2. 9개의 테스트 이미지

### 3. 주관적 JND 실험 수행 및 분석

#### 3.1 실험 설정

본 논문에서는 주파수와 배경 휘도에 따른 JND 값을 얻기 위해 인지적 JND 실험을 수행하였다. 실험 설정은 표 1에 나타낸다.

표 1. 인지적 JND 실험 설정

DCT 변환 옵션	실수형 8×8 DCT
디스플레이 장비	삼성 55 인치 UN55C8000 (해상도: 1920×1080)
피 실험자 수	5
조명(illumination) 세기	200 lux
시청거리	1.75H (0.03 dpp)
테스트 패치 크기	32×32 픽셀
실험 영상 크기	256×256 픽셀

\* dpp: degree per pixel (한 픽셀 당 시야각)

\* H: screen height

실험에는 9개의 배경 휘도가 다르며 공간적 복잡도가 없는 균일한 9개의 테스트 영상을 사용하였다. 본 논문에서는 배경 휘도를  $\mu_{pixel}$ 으로 정의하고 크기가 0에서 1의 범위를 가지도록 정규화 하였다.  $\mu_{pixel}$ 는 식 (1)로 구할 수 있다.

$$\mu_{pixel} = \frac{1}{K \times N^2} \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} I(x,y) \quad (1)$$

여기서 K는 픽셀의 최대 휘도(8bit의 경우 255)이며  $I(x,y)$ 는  $x,y$  위치에서의 픽셀 휘도이다.

사용된 테스트 영상은  $\mu_{pixel}$ 이 0.1, 0.2, 0.3 ... 0.9인 9가지 종류의 배경휘도를 가진다. (그림 2)

본 실험에서는 JND 값을 얻기 위해 DCT 공간상 8×8 블록상의 총 15개의 계수들에 대해 실험을 수행하였다. 그림 3에 테스트 DCT 계수의 위치를 나타내었다.

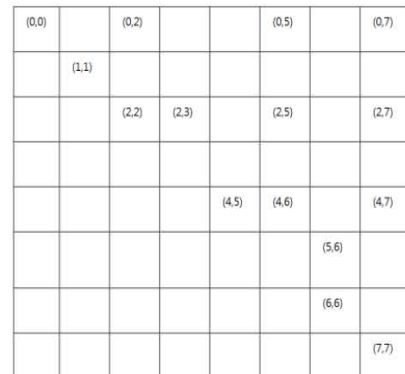


그림 3. JND 값을 측정하기 위한 15개의 DCT 계수 위치를 나타내었다. (0,0)은  $x, y$ 가 0인 위치로 DC를 의미한다.

실험 절차는 아래와 같은 순서로 구성하였다.

- 초기화:** 원 영상과 노이즈가 삽입 될 테스트 영상을 각각 화면의 좌, 우에 동시에 표시한다.
- 단계1:** 실험자들은 노이즈가 삽입 될 패치의 위치를 우선 확인한다. (그림 4. (a))
- 단계2:** 실험자들은 해당 패치의 노이즈가 인지 될 때까지 노이즈의 크기를 서서히 증가시킨다. (그림 4. (b))
- 단계3:** 노이즈가 인지되는 임계점에서, Next 버튼을 누르고 다음 프레젠테이션을 수행한다.
- 단계4:** 단계 1, 2, 3을 반복하면서 준비된 프레젠테이션을 차례로 수행한 뒤, 모든 프레젠테이션에 대해 테스트가 끝나면 실험이 종료된다.



(a) 좌: 원영상, 우: 테스트 영상 (밝은곳이 노이즈가 삽입 패치의 위치)



(b) 노이즈를 증가시킨 모습그림

그림 4. 실험 수행 과정 설명을 위한 실제 실험 화면

### 3.2 실험 결과 및 분석

주파수와  $\mu_{pixel}$ 에 따른 JND 값은 식(2)와 같이 배경휘도가 회색( $\mu_{pixel}=0.5$ )를 기준으로 JND 배율요소 (multiplicative factor = MF)를 구하였고 이를 그림 7에 나타내었다.

$$MF_{LA}(\mu_{pixel}, w) = JND(\mu_{pixel}, w) / JND(0.5, w) \quad (2)$$

여기서  $w$ 는 주파수(cpd)를 나타내고  $JND(\mu_{pixel}, w)$ 는 주파수  $w$ 와 배경휘도  $\mu_{pixel}$ 에서의 실험을 통해 측정된 JND 값을 의미한다.

그림 5의 결과를 분석해 보면 주파수가 4 cpd 보다 작은 저주파 영역에서는 기존의 LA JND 모델과 유사한 결과 (U자형 모양)를 보이는 것을 알 수 있다. 하지만 4 cpd 이상의 주파수 영역에서는 오히려 배경휘도가 회색( $\mu_{pixel}=0.5$ )보다 작은 부분이 JND 값이 작은 것을 확인 할 수 있다. 이는 기존의 LA JND 모델이 고주파 영역에서는 실험 결과와 맞지 않는 것을 보여 준다.

실제로 고주파 영역에서 어두운 부분이 밝은 부분 보다 더 JND 값이 작은지 확인해 보기 위하여 아래의 그림 6을 보인다. 그림 6의 (a)는  $\mu_{pixel}$ 가 0.1이고 (b)는  $\mu_{pixel}$ 가 0.9이다. 두 영상에 동일하게 주입된 노이즈는 DCT 계수의 위치가 (7,7)인 크기 100의 노이즈이다. 같은 기저와 크기의 노이즈를 삽입 했음에도 불구하고 주관적으로  $\mu_{pixel}$ 가 0.1인 배경에서 더 노이즈가 잘 인지되는 것을 확인 할 수 있다.

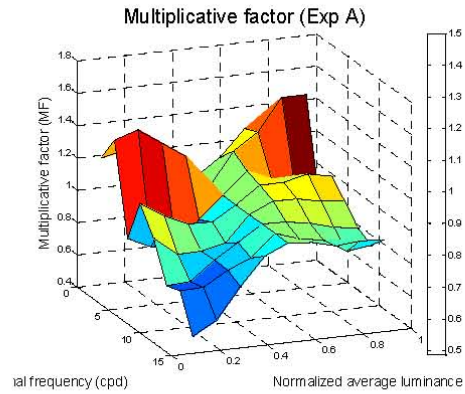
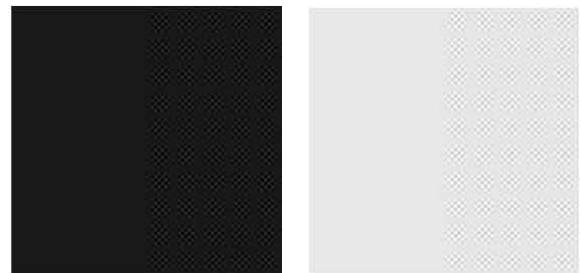


그림 5. 실험을 통해 측정된  $MF_{LA}$



(a)  $\mu_{pixel} = 0.1$

(b)  $\mu_{pixel} = 0.9$

그림 6. 동일한 노이즈 (DCT 기저 위치: (7,7), 크기: 100) 일 때 배경휘도에 따른 노이즈 인지 비교

### 4. 제안된 LA JND 모델

위의 실험 결과를 바탕으로, 본 논문에서는 개선된 LA JND 모델을 제안한다. 개선된 LA JND 모델은 4cpd 보다 주파수가 낮은 영역에서는 기존의 LA JND 모델과 유사한 형태로 모델링 하였다. 주파수가 4 cpd 보다 큰 영역에서는  $\mu_{pixel}=0.5$ 를 기준으로  $\mu_{pixel}$ 가 0.5 보다 작은 부분은 JND값이 감소하도록,  $\mu_{pixel}$ 가 0.5 보다 큰 부분은 LA가 JND 값에 영향을 주지 않도록 곱셈형 JND 모델을 이용하여 모델링 하였다. 제안된 모델은 식(3)과 식(4)로 나타낸다. 제안된 LA JND 모델을 그림 7에 보였다.

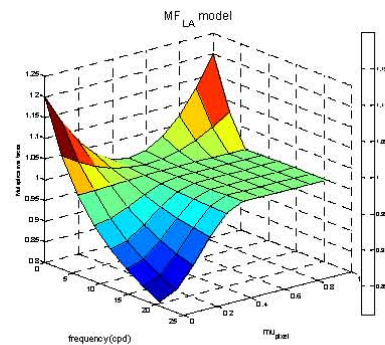


그림 7. 제안된 LA JND model ( $MF_{LA}$ )

## 5. 결론

본 논문은 DCT 도메인 상의 JND 모델 중 주파수와 배경휘도가 고려된 개선된 광적응 (luminance adaptation: LA) JND 모델을 제안했다. 기존의 LA JND 모델은 배경 휘도가 중간점인 회색에 가까울수록 JND가 낮고 배경 휘도가 어두워지거나 밝아질수록 JND 값이 증가하는 형태의, 배경휘도에 의해 JND 값이 결정되는 1차원 그래프를 가진다. 그러나 기존의 LA JND 모델은 주파수를 고려하지 않았기 때문에 DCT와 같은 subband 기반 JND 모델로는 부정확하다. 본 논문에서는 주파수도 고려된 LA JND 모델을 제안하였고 실험적 근거를 획득하기 위해 주파수와 배경 휘도에 따른 인지적 JND 실험을 수행하였다. 9개의 다른 배경 휘도를 가지는 실험영상을 사용하여 인지적 JND 실험을 수행한 결과, 주파수 대역이 4 cpd보다 작은 대역에서는 기존의 모델과 유사한 실험 결과를 얻었지만 4 cpd 이상의 밝은 영역에서는 LA JND 값의 변화가 거의 없고 어두운 영역에서는 오히려 LA로 인한 JND 값이 감소하는 것을 확인하였다. 이와 같은 점을 고려하여 본 논문에서는 주파수와 배경휘도가 모두 고려된 개선된 2차원의 LA JND 모델을 제안하였다.

## 감사의 글

본 연구는 지식경제부 및 한국산업기술평가관리원의 산업융합원천기술개발사업(정보통신)의 일환으로 수행되었습니다. [과제번호: 10039199, 과제명: 인지품질 기반 스케일러블 3D 비디오 코덱 핵심 기술 연구]

## 참고문헌

- [1] B. Girod, "Whats wrong with mean-squared error," in *Digital Images and Human Vision*, A. B. Watson, Ed. Cambridge, MA: The MIT press, 1993, pp. 207-220.
- [2] X. K. Yang, W. Lin, Z. K. Lu, E. P. Ong, and S.

S. Yao, "Just noticeable distortion model and its applications in video coding," *Signal Process.: Image Commun.*, vol. 20, pp. 662-680, 2005.

- [3] R. J. Safranek and J. D. Johnston, "A perceptually tuned sub-band image coder with image dependent quantization and post quantization data compression," in *Proc. IEEE Int. Conf., Acoust., Speech, Signal Process.*, 1989, vol. 3, pp.
- [4] Zhenyu Wei and K. N. Ngan, "Spatio-Temporal Just Noticeable Distortion Profile for Grey Scale Image/Video in DCT Domain", *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 19, no. 3, pp. 337-346, 3 2009.
- [5] F.W. Campbell, J.J. Kulikowski, and J. Levinson, "The effect of orientation on the visual resolution of gratings," *Journal of Physiology*, 187(1966) pp.427-436.

$$f(w) = \frac{\alpha}{w^{\beta+\gamma}} + \delta \quad (3)$$

여기서  $\alpha = 6.7, \beta = 1, \gamma = 11.16, \delta = 0.6$

$$MF_{LA}(w, \mu_{pixel}) \begin{cases} (f(w)-1) \times (2\mu_{pixel}-1)^{\epsilon} + 1 & , w < w_{min} \\ 0.5(1-f(w)) \times \{1 - \cos(2\pi\mu_{pixel})\}^{\zeta} + f(w) & , w > w_{min} \text{ and } \mu_{pixel} \leq 0.5 \\ 1 & , w > w_{min} \text{ and } \mu_{pixel} > 0.5 \end{cases} \quad (4)$$

여기서  $\epsilon = 2, \zeta = 1$