

양안식 영상에서 깊이 방향 모션과 수평 방향 모션 속도에 의한 시각적 불편함의 변화

이성일*, 정용주*, 손호식*, 노용만*, 박현욱**

*한국과학기술원 영상 및 비디오 시스템 연구실

**한국과학기술원 영상처리 연구실

vitallsi@kaist.ac.kr, yj.jung@kaist.ac.kr, sohnhosik@kaist.ac.kr, ymro@ee.kaist.ac.kr,
hwpark@athena.kaist.ac.kr

Changes of visual discomfort depending on velocity of lateral motion and motion-in-depth in stereoscopic images

Seong-il Lee*, Yong Ju Jung*, Hosik Sohn*, Yong Man Ro*, Hyun Wook Park**

*Image and Video sYstem Lab., KAIST

**Image Computing System Lab., KAIST

요약

3D 콘텐츠에 대한 관심이 증가함에 따라 3D 시청 및 제작에 대한 가이드라인의 필요성도 함께 증가하고 있다. 3D 안정 시청 가이드 라인은 3D 시청으로 인한 시청자의 시각적 불편감이나 피로감을 방지하는데 목적을 두고 있으며, 최근 일본의 3DC에서는 과도한 수렴-조절 불일치를 방지하기 위해 양안 시차 1°를 쾌적 시차 범위로 권고하고 있다. 하지만 이 쾌적 시차는 절대적인 수치가 아니며, 콘텐츠의 특성 및 시청 조건에 따라 변하는 것으로 추정된다. 본 논문에서는 쾌적 시차를 갖는 3D 영상 콘텐츠에서 객체의 모션으로 인해 양안시차가 시공간적으로 변할 때, 야기되는 시각적 불편함의 변화에 대하여 관찰한다. 특히, 깊이 방향 모션 및 수평 방향 모션에서 객체의 속도 변화에 대한 시각적 피로감의 정도를 주관적 평가를 통하여 측정한다.

1. 서론

최근 3D 영화의 흥행 및 3D 디스플레이 산업의 활성화에 의해 일반 대중이 3D 콘텐츠에 대한 관심 및 접할 기회가 증가하고 있다. 그러나 3D 콘텐츠의 보급이 확산될수록 3D 시청에 의한 어지럼증 호소 및 불편함을 느끼는 사람 또한 증가하고 있으며, 안전한 3D 콘텐츠 제작 및 시청에 대한 연구의 필요성이 대두되고 있다.

현재 보편화된 3D 디스플레이 방식은 인간의 양안 시차 특성을 이용해 서로 다른 좌/우안 영상을 편광 및 셔터 방식을 통해 각각의 눈에 제공하는 방법이다. 이러한 양안식 3D 디스플레이 방식은 본질적으로 안구의 조절 (accommodation) 및 수렴 (vergence)의 불일치를 유발하는 한계를 갖고 있으며, 이는 대표적인 시각적 불편함의 원인이다 [1]. 또한 과도한 양안 시차 등과 같은 양안 시차 요인, 양안 정보 불일치 요인, 양안식 영상 왜곡 요인, 영상 콘텐츠 특성 요인 등이 3D 시청에 시각적 불편함을 유발할 수 있는 요인들이다 [1].

3D 디스플레이 시청에 의한 시각적 불편함 유발 요인과 불편함 정도의 상관관계를 밝히기 위한 연구 방법으로는 크게 두 가지가 있으며, 이는 시각적 불편함의 측정 방법에 따라 주관적 측정 (subjective

measure)과 객관적 측정(objective measure)으로 분류 가능하다.

주관적 측정은 시각적 자극에 따른 피험자의 견해나 관점을 기초로 시각적 불편함을 측정하는 평가 방법으로서 양안식 영상에 대한 평가는 ITU-R. BT. 1438을 통해 권고 되어있다 [2]. 이 외에도, SSQ [3] 등 설문문을 통해 측정하는 방법이 있으며, 권고안과 설문문을 병행한 연구도 존재한다 [4].

객관적 측정 방법은 3D 디스플레이 시청에 의한 인간의 신경생리학적 변화를 정량화하는 방법이다. 대표적인 방법으로 안구운동을 측정하는 방법 [5], 너과의 변화를 관찰하는 방법 [6], 그리고 최신의 연구 방향으로 fMRI로 얻은 뇌 영상을 분석하는 방법이 있다 [7].

최근 일본의 3DC (3D Consortium)에서는 기존까지의 연구 결과들을 근거로 하여 시청자, 콘텐츠 제작자, 제조자를 위한 안전 가이드 라인을 제정하였다 [8]. 제정된 가이드라인에서는 콘텐츠 제작자를 위해 쾌적 시차 영역 (comfort zone) 조건으로 1°의 양안 시차를 권고하고 있다. 하지만, 이 쾌적 시차는 인간 시각의 depth of focus (DOF) 특성에 기인한 것으로, 정적 이미지를 이용하여 측정된 제한적 수치이다. 또한, 쾌적 시차를 갖는 콘텐츠일지라도 모션에 의해 양안 시차가 시공간적으로 변화가 발생하는 경우 시각적 불편함이 야기될 수 있

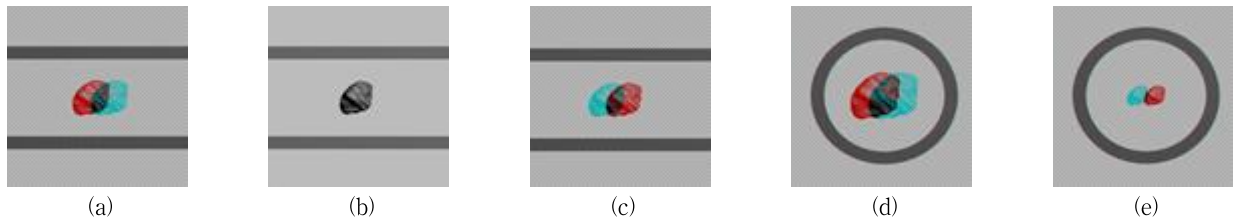


그림 1. 실험에 사용된 시각 자극의 예 (Anaglyph view), (a) 스크린 앞쪽에 위치한 객체의 좌우 수평 운동, (b) 스크린에 위치한 객체의 좌우 수평 운동, (c) 스크린 뒤쪽에 위치한 객체의 좌우 수평 운동, (d) 깊이 방향 운동하는 객체가 스크린 앞쪽에 위치할 때, (e) 깊이 방향 운동하는 객체가 스크린 뒤쪽에 위치할 때

다 [1].

본 논문의 목표는 3DC에서 권고하는 쾌적 시차를 갖는 양안식 3D 영상 내 지역 모션 (local motion)의 특성과 시각적 불편함의 상관관계를 밝히는 것이다. 특히, 본 논문에서는 모션의 방향 및 속도 변화에 따른 시각적 불편함의 변화를 측정하여, 양안 시차 1° 범위 내에서 쾌적 시청을 보장할 수 있는 지역 모션의 특성을 분석한다. 양안 시차 양과 객체의 위치 및 속도 조절을 위해 3Ds Max를 이용하여 시각 자극을 생성하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 양안식 영상에서 모션이 시각적 편안함에 미치는 영향을 알아보기 위한 선행 연구에 대해 소개하며, 3 장에서는 지역 모션 특성과 시각적 편안함의 상관관계를 밝히기 위한 실험에 대해 기술한다. 4장에서는 결론 도출 및 향후 연구 과제 제시를 통해 본 논문을 끝맺는다.

2. 양안식 영상에서 모션이 시각적 불편함에 미치는 영향에 관한 기존 연구

영상 멀미 (visually-induced motion sickness)는 시각적으로 인지된 모션이 실제로 느껴지지 않음으로 발생하는 감각의 불일치에 의해 야기된다 [9]. [10]에서는 이러한 영상 멀미를 유발하는 요소를 밝히기 위해 다양한 전역 모션(Pan, Tilt, Roll, Zoom)에 대한 시각적 피로감을 측정하였다. H. Ujike는 이 연구를 통해 전역 모션의 속도가 시각적 불편함에 영향을 준다는 것과 자극의 지속 시간이 길어짐에 따라 시각적 불편함이 누적됨을 보였다. 이 연구는 전역 모션의 빠르기와 시각적 불편함의 상관관계를 밝혔다는 의미를 갖지만, 단안 영상에 기반한 실험으로 이루어져 있으므로, 이를 통해 양안 영상에서 모션에 의한 직접적인 영향을 유추하기 어렵다.

양안 영상에서 모션이 시각적 편안함에 미치는 영향을 밝히기 위한 연구는 실험에 사용된 자극의 통제 여부에 따라 분류 가능하다. S. Yano는 real scene 영상을 사용하여 양안 시차 양과 모션이 시각적 피로에 미치는 영향을 연구하였다 [11]. 이 연구를 통해 DOF 이상의 양안 시차가 피로감을 유발한다는 점과 깊이 방향의 모션이 좌우 수평 방향 모션 보다 피로감에 미치는 영향이 크다는 것을 밝혔다. 하지만, real scene 영상을 사용하는 경우 시각적 피로감을 유발하는 다른 요소에 대한 통제가 어려워 측정의 한계를 갖는다.

F. Speranza은 양안식 영상에서 깊이 방향으로 움직이는 객체의 특성에 따른 시각적 불편함의 변화에 대해 연구하였다 [12]. 이 연구에서는 그래픽스 툴을 사용하여 깊이 방향 이외의 다른 요소들의 영향을 통제된 실험 자극을 생성하여 실험하였다. [12]의 저자는 시각적 불편

함 측정 결과를 통하여 모션을 갖는 객체의 크기 및 수와 양안 시차 양보다 객체의 속도가 시각적 불편함에 더 큰 영향을 준다는 사실을 밝혔다. 하지만 본 연구의 경우 시각적 피로감 측정이 깊이 방향 모션에 한정되어 있기 때문에, 다양한 특성을 갖는 지역 모션과 시각적 피로와의 관계를 분석하는데 한계가 있다.

이에 본 논문에서는 양안식 3D 디스플레이에서 좀더 다양한 지역 모션의 특성과 시각적 피로감의 상관관계에 대해 심도 있는 분석을 한다. 특히, 모션 속도 변화가 시각적 불편함에 미치는 영향을 모션 방향 (수평 방향, 깊이감 방향)에 따라 관찰한다. 또한, 2D 영상과 3D영상에서의 모션이 시각 피로감에 주는 영향을 비교하기 위하여 단안과 양안에서의 수평 방향 모션을 비교 실험한다.

3. 깊이 방향 모션과 수평 방향 모션의 속도가 시각적 불편함에 미치는 영향

3.1 실험 장비 및 피험자

지역 모션의 특성이 시각적 불편함에 미치는 영향을 평가하기 위해 ITU-R BT. 500-11의 권고를 따라 시청 환경을 구축하였고, 양안식 영상을 디스플레이 하기 위해 1920*1080 해상도를 갖는 편광 방식의 40" 모니터 (half mirror, Redrover SDM-400)를 사용하였으며, 사용된 모니터는 60 Hz의 재생 빈도를 갖는다.

총 33명의 피험자가 실험에 참여하였다. 피험자들은 2422~37세의 연령대를 갖고, 3D 영상에 대해 비전문가로 구성되었다.

3.2 깊이 방향 모션과 수평 방향 모션의 속도 변화에 따른 영향을 밝히기 위해 사용된 시각 자극

실험에 사용된 시각 자극은 평행식 카메라 배열을 통해 촬영하였으며, 객체로 사용된 회색 운석의 크기 및 위치와 모션의 빠르기를 통제하기 위해 3Ds Max가 사용되었다. 시각 자극의 배경으로 50 cd/m²의 밝기 및 D65의 색도를 갖는 색상을 사용하였고, 객체는 동일한 색도를 갖지만 25 cd/m²의 밝기를 갖는다. 표 1은 실험에 사용된 자극의 지역 모션 속도를 나타내며, 사용된 객체의 크기는 2° 이다. 객체의 크기가 변화하는 깊이 방향 운동의 경우 객체가 스크린에 위치할 때를 기준으로 객체의 크기를 2°로 맞추었다. 그림 1은 객체의 운동 위치 및 방향을 변화시키며 생성한 시각 자극의 예를 Anaglyph로 나타낸 것이다. 생성된 시각 자극에서 객체가 갖는 최대 양안 시차는 1°이며, 각각

의 시각 자극에는 스크린의 위치 (zero depth point)를 나타내는 가이드라인이 존재한다.

표 1. 사용된 시각 자극의 지역 모션 속도

Motion type		Velocity (lateral: degree/s, depth: cm/s)
Lateral motion	at cross	2, 4, 6, 8, 12, 16, 32
	at screen	2, 4, 6, 8, 12, 16, 32
	at uncross	2, 4, 6, 8, 12, 16, 32
Motion in depth		32, 64, 96, 128, 192, 256, 512

3.3 시각적 불편함 측정 방법

피험자들이 느끼는 시각적 불편함을 측정하기 위해, 2D 영상 품질의 주관적 평가 방법인 SS (Single Stimulus)의 절차를 사용하였다 [13]. 여기서, 시각적 불편함은 그림 2를 기준으로 평가하였다. 하지만, 이 방법을 통해서 사람들은 불편함을 야기하는 원인이 무엇인지, 어떠한 불편함을 느꼈는지에 대한 분석이 불가능하다. 피험자의 신체에 발현된 이상 징후를 정량화하기 위해 다섯 가지 항목 (Eye strain, general discomfort, nausea, focusing difficulty, headache)에 대한 설문문을 병행하였다 [3]. 각 항목이 의미하는 바는 다음과 같다.

- Eye strain: 눈이 피로한 느낌, 시야가 흐릿함, 눈이 건조함, 눈에 이물질이 들어간 느낌, 눈의 통증, 눈이 무거운 느낌, 눈이 따듯해짐, 눈물이 여림,
- General discomfort: 머리가 무거운 느낌, 몸이 무거운 느낌, 집중이 어려움, 어깨가 빠근함, 목이 빠근함,
- Nausea: 구토, 현기증, 메스꺼움,
- Focusing difficulty: 물체에 초점 맞추기가 어려움, 상이 두 개로 보임,
- Headache: 관자놀이에 통증을 느낌, 이마에 통증, 뒤통수에 통증.

테스트 세션 중 피험자는 총 32개의 시각 자극에 대해 평가를 하게 되며, 그 순서는 임의로 배열되어 디스플레이 된다. 각각의 시각 자극은 10초 동안 디스플레이 되며, 15초의 휴식 이후 다음 시각 자극이 디스플레이 된다. 15 초의 휴식 동안 피험자는 시각적 불편함에 대해 평가하고, 병행된 설문문에 답하게 된다.

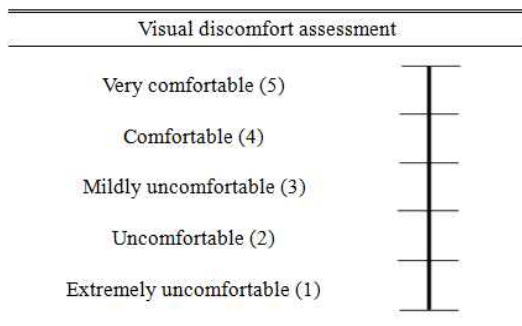


그림 2. 시각적 불편함 평가 표

3.4 실험 결과

총 33 명의 피험자로부터 얻은 깊이 방향 모션과 수평방향 모션의 주관적 불편함 평가 결과를 그림 3에 나타내었다. 여기서, 각 그래프의 x 축은 실험에 사용된 모션의 속도를 나타낸다. y 축은 그림 2에 표시된 시각적 편안함 정도를 나타내며, 그 값이 클수록 시각적으로 편안함을 의미한다. 그래프에 나타난 오차 막대의 양 끝은 각 영상에 대한 전체 피험자의 불편함 결과 분포의 상위 25%와 하위 25%의 평균을 각각 나타내며, 회색 음영의 막대는 중간 50%의 평균을 의미한다.

그림 3에 도시된 4 가지 지역 모션은 속도가 증가함에 따라 시각적 편안함이 선형적으로 감소하는 경향을 보였다. 그림 2의 기준에서 편안함을 나타내는 4를 시각적 편안함과 불편함의 경계라 할 때, 수평 방향 모션과 깊이 방향 모션에 대해 다음과 같은 해석이 가능하다.

스크린 앞 쪽에 위치한 수평 방향 모션의 경우 시각적 편안함이 4를 넘는 가장 큰 속도가 4 degree/s이고, 4 degree/s 와 6 degree/s에서의 평균 값의 차이가 통계적으로 유의하다 (P-value = 0.0057). 이러한 통계적 검증을 통해 스크린 앞에서 수평 운동하는 객체의 속도가 6 degree/s를 초과하면 피험자가 느끼는 시각적 편안함은 저하될 것으로 추정된다. 동일한 접근을 통해, 수평 방향 모션의 시각적 편안함을 보장하는 속도의 최대 값으로 스크린 위치일 때 12 degree/s (P-value = 0.0455), 스크린 뒤에 위치할 때 8 degree/s (P-value = 0.0204)로 각각 추정 가능하다. 병행한 설문 결과로부터 언급한 최대 속도의 전후에서 focusing difficulty의 변화가 가장 큰 것을 확인하였다.

수평 방향 모션에 사용된 통계적 검증을 깊이 방향 모션에 적용하였을 때, 객체 속도의 최대 값은 128 cm/s (P-value = 0.0132)로 추정된다. 또한 깊이 방향 모션의 경우 위에서 추측된 지역 모션의 임계치 존재 구간 전후에서 eye strain, nausea, focusing difficulty의 변화가 가장 두드러짐을 설문 결과를 통해 확인하였다. 이는 다음과 같은 이유라 추측된다. 깊이 방향 모션의 속도가 증가할수록 조절-수렴 대립의 정도에 빠른 변화를 가져오게 되며, 이는 곧 변화를 조절하기 위한 oculomotor system의 부하 역시 커지게 될 것이다. 이러한 oculomotor system에 걸린 부하의 증가가 시각적 불편함으로 평가되었다고 추정된다.

4. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 세 가지 깊이 방향 위치에서의 수평 방향 모션과 깊이 방향 모션에서 운동 속도에 따른 시각적 불편함의 변화를 확인하였다. 통계적 검증을 통해 추정한 각 모션 속도의 최대 값은 본 연구의 실험 환경에서 얻은 결과로 디스플레이 환경 등에 의해 달라질 수 있다. 향후 연구로 수직 방향 모션의 특성에 따른 변화를 추가할 것이며, 본 연구를 통해 추정된 모션 속도의 임계치 범위를 객관적으로 검증하기 위해 fMRI 뇌 영상법을 활용할 것이다. 이러한 연구는 3D 안 전 시청을 위한 가이드라인 제작에 기초 연구 결과로 활용되리라 믿는다.

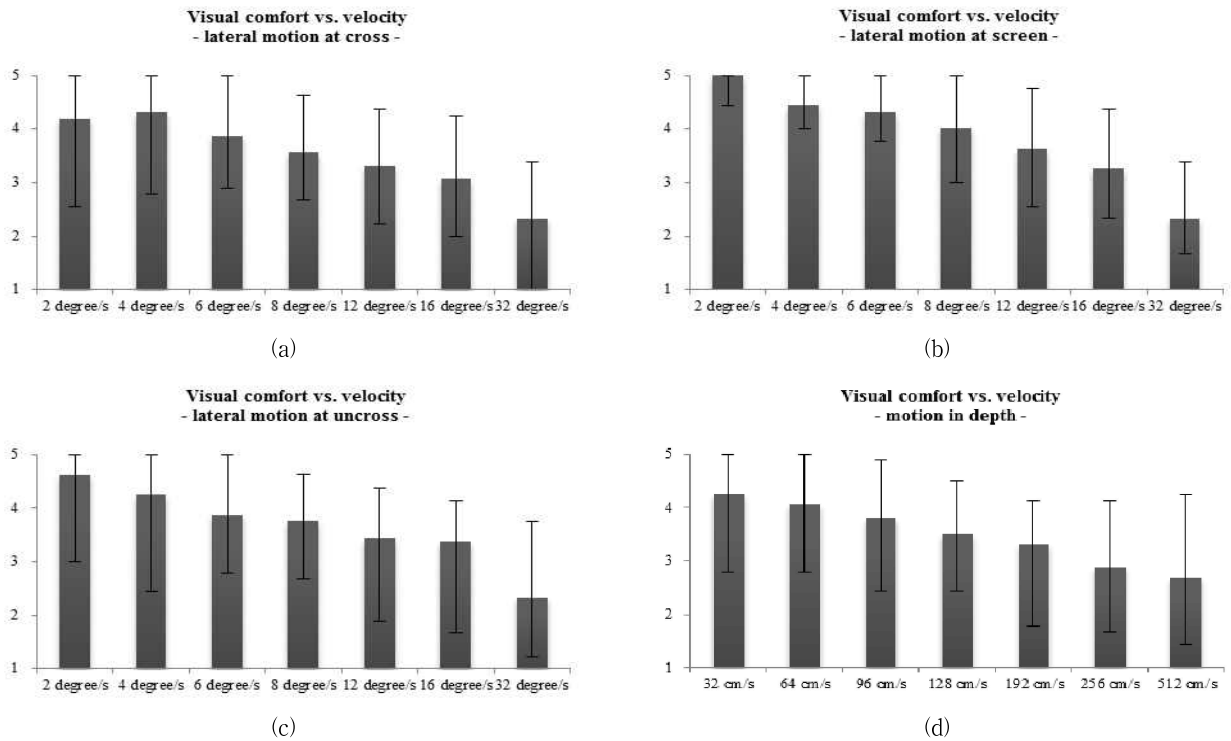


그림 3. 지역 모션의 속도가 시각적 불편함에 미치는 영향, (a) 스크린 앞에서 수평 운동, (b) 스크린에서 수평 운동, (c) 스크린 뒤에서 수평 운동, (d) 깊이감 방향 운동, 오차 막대는 전체 피험자의 시각 불편함 점수의 상위 25%의 평균, 하위 25%의 평균을 나타내며, 막대 그래프는 중간 50%의 평균을 의미한다.

<Acknowledgement>

본 연구는 지식경제부와 방송통신위원회 및 한국산업기술평가관리원의 2010년도 산업원천기술개발사업(과제번호 10035289, 지상파 양안식 3DTV 방송시스템 기술개발 및 표준화)의 일환으로 수행하였습니다.

참고문헌

[1] M. Lambooi, W. IJsselsteijn, M. Fortuin, and I. Heynderickx, "Visual discomfort and visual fatigue of stereoscopic displays: A review," *Journal of Imaging Science and Technology*, vol. 53, no. 3, pp.1-14, May, 2009.

[2] ITU-R, "Subjective assessment of stereoscopic television pictures," ITU-R Recommendation BT. 1438, ITU-R, 2000.

[3] R.S. Kennedy, N.E. Lane, K.S. Berbaum, and M.G. Lilienthal, "Simulator sickness questionnaire: An enhanced method for quantifying simulator sickness," *The International Journal of Aviation Psychology*, vol. 3, no.3, pp.203-220, 1993.

[4] T. Shibata, S. Kurihara, T. Kawai, T. Takahashi, T. Shimizu, R. Kawada, A. Ito, J. Häkkinen, J. Takatalo, and G. Nyman, "Evaluation of stereoscopic image quality for mobile devices using interpretation based quality methodology," *Proceedings of the SPIE*, vol. 7237, Jan., 2009.

[5] K. Ukai and Y. Kato, "The use of video refraction to measure the dynamic properties of the near triad in observers of a 3-D display," *Ophthalmic and Physiological Optics*, vol. 22, no. 5, pp. 385-388, 2002.

[6] M. Emoto, T. Niida, and F. Okana, "Repeated vergence adaptation causes the decline of visual functions in watching stereoscopic television," *Journal of display technology*, vol. 1, issue 2, pp. 328-340, Dec., 2005.

[7] B.T. Backus, D.J. Fleet, A.J. Parker, and D.J. Heeger, "Human cortical activity correlates with stereoscopic depth perception," *The Journal of Neurophysiology*, vol. 86, no.4, pp. 2054 - 2068, 2001.

[8] 3D Consortium, "3DC Safety Guidelines for Popularization of Human-friendly 3D," 3D Consortium, 2006.

[9] http://en.wikipedia.org/wiki/Motion_sickness

[10] H. Ujike, "Estimation of Visually Induced Motion Sickness from Velocity Component of Moving Image," *Virtual and Mixed Reality*, LNCS, vol. 5622, pp.136-142, 2009.

[11] S. Yano, M. Emoto and T. Mitsuhashi, "Two factors in visual fatigue caused by stereoscopic HDTV images," *Displays*, vol. 25, no. 5, pp. 141 - 150, 2004.

[12] F. Speranza, W.J. Tam, R. Renaud, and N. Hur, "Effect of disparity and motion on visual comfort of stereoscopic images," *Proceedings of the SPIE*, vol. 6055, pp. 94-103, 2006.

[13] ITU-R, "Methodology for the subjective assessment of the quality of television pictures," ITU-R Recommendation BT. 500-11, ITU-R, 2002.