

깊이 영상의 시공간적 특성 분석을 통한 3차원 영상의 피로도 측정

최재섭 김동현 손광훈
연세대학교 전기전자공학과

khsohn@yonsei.ac.kr

Fatigue Evaluation Method for 3D Video based on Characteristics of Depth Map

Jaeseob Choi Donghyun Kim Kwanghoon Sohn
School of Electrical & Electronic Engineering, Yonsei University

요약

3차원 영상 처리 기술과 3차원 디스플레이의 발전은 3차원 영상 시장의 빠른 발전을 가져왔고 차세대 방송 기술로 큰 관심을 받고 있다. 하지만 3차원 영상은 시청할 때 눈의 피로, 어지럼증과 같은 현상이 일어날 수 있으며, 왜곡된 3차원 영상이 인체에 해로운 영향을 미칠 수도 있다. 이는 3차원 영상 산업의 활성화를 위해서 가장 시급히 해결되어야 할 문제이다. 현재 3차원 디스플레이는 스테레오 방식과 함께 1view 1depth 다시점 방식이 개발되었다. 특히 1view 1depth 다시점 디스플레이에서 깊이 영상의 공간적/시간적으로 복잡한 정도는 피로감을 일으키는 주요 요소이며 이는 1view 1depth 영상을 통해 직접 연구할 수 있다.

본 논문에서는 1view 1depth 디스플레이에서 주관적인 피로도와 큰 상관도를 가지는 깊이 영상의 특성 측정 방법을 제안한다. 1view 1depth 디스플레이에서 view 영상은 양호한 화질을 가정하였으며 피로감에 큰 영향을 미치는 깊이 영상 정보만 사용하여 공간적, 시간적인 특성을 분석한다. 공간적 복잡도는 각 프레임에 대하여 깊이 영상 내 화소 값의 분산 값을 취하여 공간적으로 깊이 값의 분포와 구조의 복잡한 정도를 측정하고, 시간적 복잡도는 연속적인 프레임에 대하여 동일한 화소위치에서 화소 값 차이의 분산 값을 사용한다. 또한 공간적/시간적 평균값의 측정하여 피로감에 영향을 주는 요인으로 사용하였다. 결과적으로 측정된 값들을 바탕으로 주관적인 피로도 평가와 유사성을 가지도록 모델링하여 3차원 영상의 피로도를 예측한다.

1. 서론

3차원 영상 기술은 기존 디지털TV 방송의 뒤를 잇는 실감형 방송의 대표적인 기술이다. 3차원 영상은 인간이 두 눈을 사용하여 입체 공간을 인식하는 양안 시각 원리를 이용하는 기술로써 많은 전문가들이 연구하고 여러 국가들이 기술 개발에 집중하고 있다. 하지만 3차원 영상은 2차원 영상과는 달리 많은 휴먼 팩터들이 관련되어 있어 개발하는데 큰 어려움을 겪고 있다. 3차원 영상은 초점거리와 수렴각도의 불일치, 두 눈에 제공되는 영상의 차이, 시공간적인 과도한 변화 등으로 인해 피로감과 어지럼증 등을 유발하게 되는데 이는 안전문제와 직결된다. 특히 불완전한 기술로 제작된 영상 시청으로 인해 일본에서 발생한 광과민성발작증세 이후 안전성에 대한 관심이 더욱 커졌다.[1] 이러한 안전성 문제는 3차원 영상 시장 발전에 큰 장애요인이 되고 있다. 따라서 눈에 미치는 영향을 최우선으로 고려하여 안전성을 보장할 수 있는 3차원 영상 평가 기술 개발이 매우 중요한 이슈로 떠오르고 있으며, 안전성과 관련된 화질평가 표준화 작업도 활발히 진행되고 있다.[2]

3차원 안전성 평가 연구는 3차원 영상 특성 및 디스플레이의 중

류에 따른 주관적 화질 평가가 주를 이루고 있다. 이전에 연구된 내용으로는 스테레오 영상에서 깊이 값의 왜곡 정도에 따른 영상의 자연스러움과 과도한 양안시차, 시간적인 변화에 의한 편안함과 두 눈의 수렴각도와 초점거리의 불일치에 의한 피로한 정도를 각각 주관적인 방식으로 측정하여 입체 영상 제작에 필수적으로 고려해야 할 요인들을 분석하였다.[3][4] 또한 사람이 입체 영상을 합성할 수 있는 범위의 한계를 측정함으로써 시각적 피로도를 정량화하고 피로도 회복능력에 대한 연구가 있었다.[5] 시간이 흐름에 따른 입체 영상 합성 및 회복 능력을 평가하고 시차와 움직임의 크기를 구하여 시간에 따른 피로도 측정 및 비교하는 연구도 진행되었다.[6][7] 또한 스테레오 영상에서 물체의 숫자와 크기, 깊이와 움직임의 속도가 시각적 편안함에 어느 정도의 영향을 미치는지 주관적인 평가를 통하여 분석하였다.[8] 더불어 무안경방식의 다시점 디스플레이에서 1view 1depth의 깊이 영상의 화질이 3차원 영상을 인식하는데 어떤 영향을 미치는지에 대한 연구가 이루어졌는데 깊이 영상의 압축도와 영상의 복잡도, 포함된 물체의 빠르기 등이 입체 영상의 평가에 큰 영향을 미친다는 연구가 있었다.[9] 위의 연구를 비추어 볼 때, 과도한 시차와 물체의 빠른 움직임 및 복잡한 장면이 포

함된 3차원 영상은 눈에 피로감을 주고 안전성을 보장해 주지 못한다. 이는 일본에서 제안된 3차원 영상의 안전성 가이드라인에도 제시되어 있다.[10] 그러나 대부분의 3차원 영상의 안전성 혹은 피로도에 대한 측정이 주관적인 평가에 한정되어 있고 3차원 영상의 안전성에 대한 연구가 부족하다.

따라서 본 논문에서는 무안경식 다시점 디스플레이의 1view 1depth 영상의 주관적인 피로도를 측정하는 방법을 제안한다. 3차원 영상의 피로도는 화면 구성, 물체들의 다양하고 빠른 움직임과 같은 영상의 시공간적인 특성에 기인하기 때문에 이를 측정하여 피로도를 예측한다. 예측된 영상의 피로도가 각 영상에 대한 주관적인 피로도와 유사한 경향을 가지는 것을 보임으로써 3차원 영상에 대한 안전성 모니터링 및 개선에 사용될 수 있다.

본 논문은 2절에서는 피로감을 유발하는 공간적, 시간적인 특성을 측정하는 방법을 제안하고, 3절에서 피로도 측정 실험과 주관적 평가 결과를 보이고, 4절에서 결론 및 향후 과제를 언급한다.

2. Depth Map을 이용한 피로도 측정

3차원 영상의 특성을 측정하여 피로도를 예측하기 위해서 1view 1depth 영상의 깊이 영상 정보를 사용한다. 노이즈 및 왜곡이 없는 영상일 경우 view 영상은 피로함에 큰 영향을 미치지 않는다고 가정하여 깊이 영상의 특성만 고려한다. 깊이 영상의 시공간적인 특성은 물체의 개수, 깊이 값의 변화, 움직임의 속도와 같은 요소들에 의해 결정된다. 깊이 값 전체에 존재하는 다수의 복잡한 물체의 존재와 빠르게 움직이는 물체의 존재는 영상을 합성하는데 어려움을 주어 시청시에 큰 피로감을 느끼게 된다. 따라서 깊이 영상의 공간적, 시간적인 특성을 아래의 4가지 요소로 구분하여 측정한다.

가. Spatial Complexity

영상의 화면 구성의 공간적 복잡도를 측정한다. 깊이 영상의 화소 값의 분산 값을 통하여서 각 프레임에서 깊이의 분포 범위와 다수의 물체가 장면에 존재하는지를 측정할 수 있다. 최종 공간적인 복잡도는 각 프레임의 분산 값의 평균이고 exponential을 사용하여 0에서 1사이의 값으로 정규화한다.

깊이 영상 내에 물체가 다수 존재하고, 화면 구성이 조잡할 경우 0에 가까운 값을 가지게 되고, 장면이 단순하고 복잡하지 않을수록 1에 가까운 값을 가지며, 이 특성은 전체적인 피로도에 상당히 큰 영향을 끼치는 요소이다.

나. Depth Position

3차원 영상에는 그림 1과 같이 디스플레이를 기준으로 두 눈이 깊이를 합성하기 편안한 범위가 존재하는데 이를 comfort 영역이라 한다.[11] 만약 디스플레이 기준 앞뒤 방향으로 형성되는 comfort 영역을 벗어나 깊이가 형성되면 시청자는 큰 피로감을 느끼게 된다. 따라서 깊이 영상을 통해서 깊이가 comfort 영역에 어느 정도 형성되는지 각 프레임의 평균값을 통해서 측정한다.

3차원 디스플레이의 위치가 깊이 영상의 128의 값이고 깊이 값이 0에 가까울수록 뒤쪽, 255에 가까울수록 앞쪽이므로 영상이 comfort 영역에서 벗어날수록 피로감을 유발하므로 0에 가까운 값을 가지고, comfort 영역 안에 위치할수록 1에 가까운 값을 가진다.

다. Temporal Complexity

영상의 시간적 복잡도를 측정한다. 연속적인 영상 사이의 깊이 영상 화소 값의 차이를 분산 값을 구함으로써 화면 내에 얼마나 다양한 속도의 움직임이 있는지 측정한다. 최종 시간적인 복잡도는 각 프레임 차이의 분산 값의 평균이다.

영상에서 카메라의 움직임과 같은 화면의 전체적인 변화와 다수의 물체가 각기 다른 속도로 움직이는 경우가 많다면 0에 가까워지고, 물체들의 움직임이 적을수록 1에 가까운 값을 가진다. 공간적 복잡도와 마찬가지로 영상의 피로도를 측정하는데 큰 비중을 차지하는 요소이다.

라. Temporal Average

연속적인 영상 간 차이 값의 크기의 평균을 구함으로써 전체적인 영상의 움직임의 크기를 측정한다. 시간적 복잡도는 움직임의 다양성을 나타낸다면 시간적 평균은 움직임의 크기를 말한다.

영상의 전체적인 속도가 빠를수록 0에 가까운 값을 가지고, 느릴수록 1에 가까운 값을 가진다.

마. 피로도 측정

깊이의 위치나 영상의 전체적인 빠르기는 앞에서 공간적, 시간적 복잡도에 비해 전체적인 피로도에 미치는 영향은 작지만, 각 영상마다의 특징을 더 반영함으로써 주관적 피로도 평가 결과와 더 나은 상관도를 얻을 수 있다. 각각의 요소들은 표 1과 같은 물리적인 의미를 가지며 식 (1)과 같이 각 특성 측정값들의 선형조합으로 피로도를 측정할 수 있다.

표 1. 복잡도 측정 요소의 물리적 의미

0	←	→	1
complex scene (multiple objects)	←	spatial complexity	→ simple scene (few objects)
outside of comfort zone	←	depth position	→ inside of comfort zone
dynamic motion	←	temporal complexity	→ static motion
high velocity	←	temporal average	→ low velocity

$$C = \alpha C_{spatial} + \beta A_{spatial} + \gamma C_{temporal} + \delta A_{temporal} \quad (1)$$

C 는 예측된 피로도이며 $C_{spatial}$ 은 공간적 복잡도, $A_{spatial}$ 은 깊이의 위치, $C_{temporal}$ 은 시간적 복잡도, $A_{temporal}$ 은 시간적 평균을 말한다. 주관적 평가와 큰 상관도를 가지는 피로도 예측 값을 얻기 위해 식 (2)과 식 (3)의 least square method를 사용하

고, 여기서 얻은 최적의 계수와 조합으로 피로도를 계산한다. (X: 4×1 계수 벡터, S: N×1 주관적 평가 벡터, N: 영상의 개수)

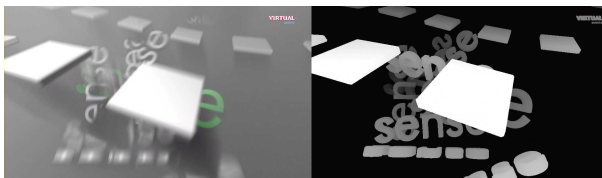
$$T = \begin{pmatrix} C_{spatial}^1 & A_{spatial}^1 & C_{temporal}^1 & A_{temporal}^1 \\ C_{spatial}^2 & A_{spatial}^2 & C_{temporal}^2 & A_{temporal}^2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ C_{spatial}^N & A_{spatial}^N & C_{temporal}^N & A_{temporal}^N \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$X = (T^T T)^{-1} T^T S \quad (3)$$

3. 실험결과

3차원 영상의 복잡도를 측정하기 위해서 본 실험에서는 20 인치 Philips WOWvx autostereoscopic 3D Display(해상도 1920x1080)를 사용하였다. 입력 파일 형식은 1view 1depth 영상으로 동일한 크기의 칼라 영상과 깊이 영상을 나란히 붙여 입력하여 준다.

실험 영상은 Philips사에서 제공하는 10개의 영상을 사용하였으며, 각 영상은 자기 다른 물체의 개수와 움직임의 크기를 포함한다.[12] 그림 2는 실험에 사용된 각각의 특성이 다른 실험 영상으로써, (a)는 공간적, 시간적 복잡도가 큰 영상 (b)공간적 복잡도는 크고, 시간적 복잡도는 작은 영상, (c)는 공간적 복잡도는 작고, 시간적 복잡도는 큰 영상, (d)는 공간적, 시간적 복잡도가 작은 영상이다.



(a)high spatial & high temporal complexity



(b)high spatial & low temporal complexity



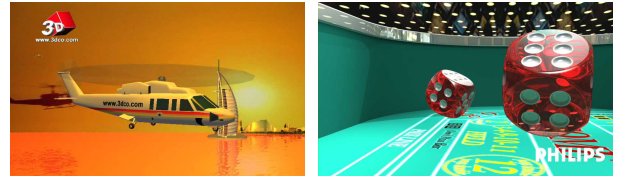
(c)low spatial & high temporal complexity



(d)low spatial & low temporal complexity

그림 2. 실험 영상

또한 깊이 값의 범위를 스케일링하여 그림 3과 같이 comfort 영역에 위치하는 영상 세트를 하나 더 추가하여 총 20개의 영상에 대해 실험하였다.



(a) top : view image



(b) middle : depth image(range : 0-255)



(c) bottom : depth image(range : 64-191)

그림 3. 스케일링 된 실험 영상

주관적 평가는 입체 영상을 보는데 문제가 없는 평균 26.8세의 남자 8명, 여자 2명에 대하여 실시하였으며 영상의 상영시간은 10초, 투표는 2초로 설정하였다. 일반적인 주관적 화질평가는 DSCQS (double stimulus continuous quality scale) 방식을 사용하는데 본 논문에서는 비교할 대상 영상이 없고, 시간 단축으로 피실험자의 피로도를 최소화하기 위해 ACR(absolute category rating) 방식을 선택하였다.[13]

표 2. Five grade verbal scales for visual fatigue

Verbal Scale	Grade
Not at all	5
Slight fatigue	4
Moderate fatigue	3
Fatigue	2
Severe fatigue	1

각 영상에 대해 측정된 결과가 충분한 의미가 있는지를 확인하기 위해 ANOVA(Analysis Of Variance : 평균값을 기초로 하여 여러 집단을 비교하고 이들 집단 간에 차이점이 있는지 가설 검정을 통해 상관관계를 파악하는 통계분석 기법)를 사용하여 검증하여 보았다. 공간적(F=9.84, p<0.001), 시간적(F=2.26, p<0.1) 그리고 예측된 피로도(F=4.21, p<0.1) 역시 영상 간 충분한 차이를 보이고 있다. 시간적 복잡도가 비교적 불충분한 이유는 동일한 깊이 값 범위를 가진 영상들 사이에는 충분한 의미가 있지만 그렇지 않은 영상들 사이에선 성립이 되지 않기 때문이다. 상대적으로 공간적 복잡도는 상당한 의미를 가지고 있고 예측된 피로도도 역시 큰 의미가 있다.[14]

영상의 공간적, 시간적 특성 계산은 주관적 피로도와 가장 큰 상관도를 가지며 영상의 특성을 잘 반영하는 값을 실험적으로 얻었다. 최적의 계수는 식(2)과 식(3)을 사용하여 $\alpha=2.7182$, $\beta=1.7524$, $\gamma=2.0469$, $\delta=2.4311$ 를 얻었고, 그 결과 예측한 피로도와 주관적 피로도 평가 값은 그림 4와 같은 경향을 보인다.

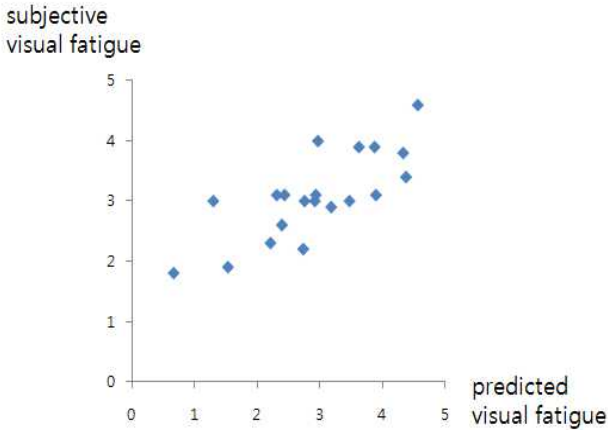


그림 4. 주관적 피로도와 예측된 피로도의 분포도

위의 그림에서 볼 수 있듯이 측정된 피로도는 주관적 평가와 유사한 결과를 보여주며, 깊이 값의 분포가 다른 영상에 대해서도 잘 적용이 되고 있다. 공간적 복잡도는 깊이 값의 범위나 화면의 깊이 구성을 반영하고 있으며, 시간적 복잡도는 다른 움직임 보이는 영상들의 차이를 분명하게 해준다. 전체적인 경향과 다르게 오차를 보이는 영상의 경우는 깊이 영상에서 화면의 전환이 없더라도 시간에 따라 다른 특성을 빈번하게 보여 순간적인 특성을 감안하지 못한 경우거나, 깊이 영상의 화소 값을 사용하였기 때문에 물체의 모양이나 특성을 고려하지 못한 경우이다.

4. 결론

본 논문에서는 3차원 영상의 안전성을 보장할 수 있는 피로도 측정 방법을 개발하였다. 1view 1depth의 영상에서 깊이 영상만을 사용하여서 피로감을 유발하는 화면의 복잡도와 움직임의 다양성, comfort 영역 안에 있는지에 대한 여부, 전체영상의 빠르기를 측정하였고, 이를 토대로 영상에 대한 전체적인 피로도를 측정하였다. 측정된 항목들을 조합하여 주관적 화질 평가와 높은 유사성을 가지도록 계수를 조절하여 우수한 유사성을 보이는 피로도 측정 방법을 제시하였다. 기존의 주관적인 평가에 한정되어 왔던 3차원 영상 피로도 실험과 달리 영상의 특성만으로 피로도를 측정하는 방법을 새롭게 제안하였다.

하지만 더 효율적인 피로도 측정을 위해서는 깊이 영상에 포함된 노이즈나 artifact에 관한 부분도 고려할 필요가 있으며, 화면 전환에 따른 영상 특성의 변화도 감안되어야 하고, 물체의 모양이나 구조적인 특성도 반영되어야 한다. 또한 1view 칼라 영상에서 피로도를 발생시킬 수 있는 요소도 추가적으로 측정된다면 더욱 정밀한 피로도 예측이 가능할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 윤국진, 이광순, 엄기문, 허남호, 김진웅, "3DTV 기술 표준화 동향," TTA Journal, No.122, pp.92-97, 2009.
- [2] 박민철, 박재형, 이종서, 이돈규, 홍형기, 이승배, 이장두, 박태수, 김일호, 조미령, 황민철, 이형철, 김남, 권영수, 이상근, "3D 디스플레이 화질평가 표준화 동향," 인포메이션 디스플레이, v.10, no.3, pp.42-49, 2009.
- [3] Y. Nojiri, H. Yamanoue, A. Hanazato, M. Emoto, F. Okano, "Visual comfort/discomfort and visual fatigue caused by stereoscopic HDTV viewing," Proc. of SPIE-IS&T Electronic Imaging vol. 5291, 2004.
- [4] S. Yano, M. Emoto, T. Mitsuhashi, "Two factors in visual fatigue caused by stereoscopic HDTV images," Displays 25 pp.141-150, 2004.
- [5] M. Emoto, Y. Nojiri, F. Okano, "Change in fusional vergence limit and its hysteresis after viewing stereoscopic TV," Displays 25 pp.67-76, 2004.
- [6] Y. Nojiri, H. Yamanoue, S. Ide, S. Yano, F. Okano, "Parallax distribution and visual comfort on stereoscopic HDTV," IBC, 2006.
- [7] S. Yano, S. Ide, T. Mitsuhashi, H. Thwaites, "A study of visual fatigue and visual comfort for 3D HDTV/HDTV images," Displays 23 pp.191-201, 2002.
- [8] F. Speranza, W. J. Tam, R. Renaud, N. Hur, "Effect of disparity and motion on visual comfort of stereoscopic images," Proc. of SPIE-IS&T Electronic Imaging vol. 6055, 2005.
- [9] G. Leon, H. Kalva, B. Furht, "3D video quality evaluation with depth quality variations," IEEE 3DTV-CON'08, 2008.
- [10] ISO IWA3, "Stereoscopic safety guidelines and recommendations to popularize 3D images," 2006.
- [11] Bernard Mendiburu, "3D Movie Making: Stereoscopic digital cinema from script to screen," FOCAL PRESS, 2009.
- [12] <http://www.wowvx.com/video.html>
- [13] "Subjective assessment of stereoscopic television pictures," ITU-R Recommendation BT.1438, 2000.
- [14] R.E Kirk, "Experimental Design: Procedures for the behavioral sciences," Brooks/Cole Publishing Company, 1994.