

스테레오스코픽 디스플레이를 위한 영상기반 피로도 분석 시스템

*류지우, *이선오, *심동규
*광운대학교

jwRyu@kw.ac.kr, seon-oh@kw.ac.kr, dgsim@kw.ac.kr

Image-based visual discomfort analysis system for stereoscopic display

*Jiwoo Ryu, *Seonoh Lee, *Donggyu Sim
*Kwangwoon University

요 약

본 논문에서는 스테레오스코픽 디스플레이에 사용되는 스테레오 영상의 피로도를 분석하여 스테레오 영상의 시청 및 제작에 응용될 수 있는 시스템을 제안한다. 스테레오 영상의 피로도는 스테레오 영상의 시청 및 제작 시 영상의 품질을 향상시키기 위해 고려해야 할 가장 중요한 요소이나, 현재 이에 관한 국제 표준이 정해지지 않아 디스플레이 및 스테레오 영상 제작자마다 다른 기준으로 피로도를 분석하고 있다. 따라서, 본 논문에서는 시청자의 신체적 특성, 디스플레이 장치의 크기, 시청거리, 영상의 특성 등 시청자의 피로도에 영향을 미치는 모든 요소를 종합적으로 고려한 실용적인 피로도 분석 시스템을 제안한다. 제안하는 피로도 분석 시스템은 The zone of comfortness 와 peak signal to noise ratio (PSNR) estimation 기술을 응용하여 영상의 시차 (disparity), PSNR, 디스플레이 크기, 시청거리, 시청자의 양안 거리로부터 수렴-조절 불일치 (vergence-accommodation conflict)와 양안 입사 자극 불일치 정도를 추정해 스테레오 영상의 피로도를 계산한다. 제안하는 시스템을 통하여 스테레오스코픽 디스플레이 장치에서 영상과 시청자 특성을 고려한 최적의 시청환경을 시청자에게 제안할 수 있으며, 스테레오 영상 제작에 있어 목표 시청 환경에 대해 피로도를 최소화할 수 있는 영상의 제작 등의 응용이 가능하다.

1. 서론

스테레오스코픽 디스플레이는 가장 대표적인 3 차원 디스플레이 기술 중 하나로서, 영상 및 장비가 빠르게 보급되고 있는 차세대 디스플레이 기술이다. 이 기술은 좌영상과 우영상으로 이루어진 스테레오 영상을 편광 렌즈 또는 셔터글라스 등의 장치를 통해 좌, 우안에 각각 다르게 영사하여 시청자가 입체감을 느낄 있도록 한다.

스테레오스코픽 디스플레이가 큰 인기를 끌게 됨에 따라 이 디스플레이 기술의 부작용도 두드러지게 되었는데, 이 중 스테레오스코픽 디스플레이 기술이 풀어야 할 가장 큰 난제는 스테레오 영상 시청 시 시청자의 피로감이다 [1]. 스테레오 영상을 시청할 경우 시청자는 여러 신체적, 기술적 및 환경적 요인으로 인해 안구피로, 어지러움, 메스꺼움 등의 피로감을 느낄 수 있다. 이와 같은 스테레오 영상의 피로도를 줄이는 것은 영상의 품질 향상에 있어서 영상의 입체감을 증대시키는 것만큼이나 중요한 과제라고 할 수 있다.

이와 관련하여, 스테레오 영상의 피로도에 관한 가장 최근의 표준으로는 2012년 표준화가 완료된 ITU-R의 Recommendation ITU-R BT.2021: Subjective methods for the assessment of stereoscopic 3DTV systems가 존재한다 [2]. 이 표준은 기존 모노 영상의 화질 측정 방법을 확장하여 스테레오 영상의 화질 측정 방법을 기술하였는데, 스테레오 영상의 특성을 감안하여 깊이 해상도, 깊이 움직임 등의 정보를

추가로 고려하였다. 그러나, 이 표준은 스테레오 영상의 화질 측정에 있어 일반적으로 고려해야 할 사항들에 대한 권고 수준을 벗어나지 못하고 있으며, 스테레오 영상의 피로도 측정을 위한 정확한 수치를 제시하지는 못하고 있다. 이와 관련하여 ITU-T에서 3 차원 영상의 피로도 측정과 안전 지침에 관한 표준을 진행 중이나, 아직 스테레오 영상의 피로도 측정에 대해 국제적으로 통용되는 표준은 존재하지 않는다.

결과적으로, 스테레오 영상의 피로도 측정은 스테레오 영상을 수요/공급하는 스테레오스코픽 디스플레이와 스테레오 영상 제작자의 몫이 되었다. 그러나, 다양한 요인이 고려되어 측정되어야 하는 스테레오 영상의 피로도의 특성 상 디스플레이 장치 또는 영상과 같이 하나의 요소만 가지고 스테레오 영상의 피로도를 측정하는 것은 매우 어렵다. 같은 크기를 가진 디스플레이 장치에 대해 제조사마다 각기 다른 권장 시청 거리를 갖는 사실도 디스플레이 크기만으로 스테레오 영상의 정확한 측정이 어려운 상황을 반영하고 있다.

따라서, 본 논문에서는 시청자의 신체적 특성, 디스플레이 장치의 크기, 시청 거리, 영상의 특성 등 스테레오 영상의 피로도에 영향을 미치는 종합적인 요인은 분석하여 스테레오 영상의 피로도를 분석하는 시스템을 제안한다. 제안하는 시스템은 스테레오 영상의 대표적 시청적 저해 요인인 수렴-조절 불일치 (vergence-accommodation conflict)와 양안 입사 자극 불일치 정도를 분석해 영상의 피로도를 측정한다. 수렴-조절 불일치의 경우 The zone of comfort 모델이 사용되었고, peak signal to noise ratio (PSNR)

estimation 방법을 통해 좌, 우 영상의 화질을 추정하고 두 영상의 화질의 차를 통해 입사 자극 불일치를 측정하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 장에서는 스테레오 영상의 피로도에 영향을 미치는 요인에 대해 분석하며 3 장에서는 스테레오 영상 피로도 분석 시스템을 제안한다. 4 장에서는 제안하는 시스템을 통해 스테레오 영상의 피로도를 분석한 실험 결과를 제시하며, 마지막으로 5 장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

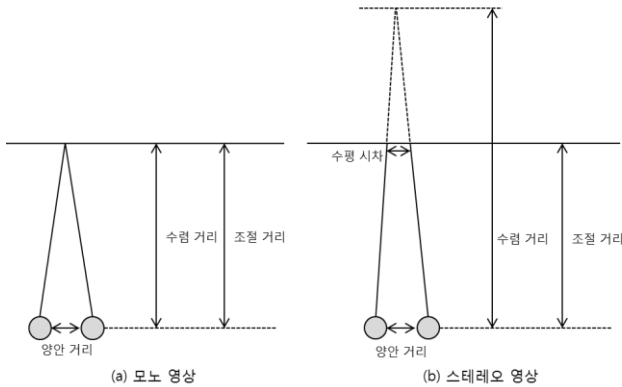


그림 1. 모노 영상과 스테레오 영상의 수렴/조절 거리 비교

2. 스테레오 영상의 시각적 저해 요인

스테레오 디스플레이는 좌, 우안을 통해 자연적으로 형성되는 입체시와 달리 스테레오 영상을 강제로 좌, 우안에 영사하여 시청자가 보는 영상이 입체인 것처럼 인지하도록 만드는 기술이다. 따라서, 자연적으로 형성되는 입체시와의 차이점에 의하여 시청자가 피로도를 느끼게 만드는 여러 시각적 저해 요인이 존재하는데, 본 논문에서는 이들 중 가장 핵심적인 원인인 수렴-조절 불일치와 입사 자극 불일치를 중점적으로 분석하였다.

2.1 수렴-조절 불일치

수렴-조절 불일치는 수렴 거리와 조절 거리의 불일치로 인해 나타나는 현상이다. 수렴 거리와 조절 거리는 각각 수렴과 조절 과정을 통해 형성된 초점 거리인데, 수렴은 대상 물체에 대한 명료한 단일 상을 얻기 위하여 안구를 움직여 양안의 시축을 물체에 수렴시키는 과정이며, 조절은 망막의 수정체의 두께를 제어함으로써 물체에 초점을 맞추는 과정이다.

그림 1 은 모노 영상과 스테레오 영상을 시청할 때의 시청자의 수렴 거리와 조절 거리를 나타내고 있다. 그림 1(a)와 같이 모노 영상을 시청할 경우 시청자의 수렴 거리와 조절 거리는 항상 일치하지만, 그림 1(b)와 같이 스테레오 영상을 시청 할 경우 시청자의 수렴 거리는 영상의 수평 시차에 의해 계속 변하지만 조절 거리는 디스플레이와 시청자 간의 거리로 고정되어 있다. 이와 같은 수렴-조절 불일치는 시청자로 하여금 시각적 피로를 느끼게 할 수 있다.

2.2 입사 자극 불일치

입사 자극 불일치는 좌, 우 양안에 입력되는 영상이 서로 다른 정보를 담고 있을 때 발생한다. 양쪽 눈의 수평 위치의 차이에 따라 각각의 눈에 입력되는 영상이 어느 정도는 차이가 있을 수 있지만, 일반적인 경우 수평 시차 이외에 두 영상의 차이는 크지 않으며 따라서 두뇌에서 이 두 영상으로부터 자연스럽게 입체시를 형성하는 것이 가능하다. 그러나, 스테레오 영상의 경우 미리 생성한 스테레오 영상을 좌, 우안에 사영하기 때문에 스테레오 영상의 좌, 우영상이 입체시를 형성하기 힘들 정도로 큰 차이가 나는 것이 가능하다. 이러한 입사 자극 불일치는 양안 경합 (binocular rivalry)의 원인이 되고, 결과적으로 시청자의 시각적 피로를 유발할 수 있다.

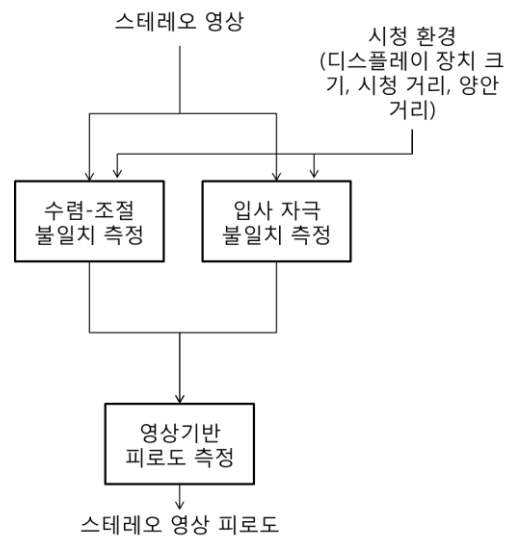


그림 2. 제안 영상기반 피로도 분석 시스템

3. 스테레오 영상의 피로도 분석 시스템

그림 2 는 본 논문에서 제안하는 스테레오 디스플레이를 위한 영상기반 피로도 분석 시스템의 블록도를 나타낸다. 제안하는 시스템은 스테레오 영상으로부터 수렴-조절 불일치와 입사 자극 불일치를 측정하여 영상 자체의 시각적 저해 요인을 디스플레이 장치의 크기, 시청거리 및 시청자의 양안 거리를 고려하여 분석하고, 두 정보를 융합하여 구한 영상의 피로도를 수치화하여 출력한다.

수렴-조절 불일치는 the zone of comfort 모델을 기반으로 하여, 수렴 거리와 조절 거리가 일치할 때 영상의 피로도를 0으로 하고 수렴 거리와 조절 거리의 차가 zone of comfort 에 다가갈수록 피로도가 100 에 지수적으로 수렴하도록 하였다 [3].

입사 자극 불일치는 좌, 우 영상의 화질이 차에 의해 계산된다. 스테레오스코픽 디스플레이에 사용되는 영상은 대부분 비디오 또는 이미지 압축 표준에 맞게 압축되어있는데, 본 논문에서는 PSNR estimation 기술을 통해 좌영상과 우영상의 화질을 각각 추정하고, 추정한 화질의 차의 절대값에 따라 화질의 차가 없을 때 0, 클수록 100 에 지수적으로

수렴하는 입사 자극 불일치에 의한 피로도 값을 할당하였다 [4].

위와 같이 계산된 수렴-조절 불일치와 입사 자극 불일치에 의한 피로도 값은 수식 (1) 의해 스테레오 영상의 피로도도 계산된다.

$$Discomfort = w_v Discomfort_v + w_r Discomfort_r \dots (1)$$

$Discomfort_v$ 는 수렴-조절 불일치에 의한 피로도이며, $Discomfort_r$ 은 입사 자극 불일치에 의한 피로도, 그리고 $Discomfort$ 는 두 종류의 피로도의 가중합으로 계산한 스테레오 영상의 피로도이다. 이 때 각 피로도에 대한 가중치 w_v 와 w_r 은 트레이닝을 통해 0.9, 0.1 로 각각 정하였다.

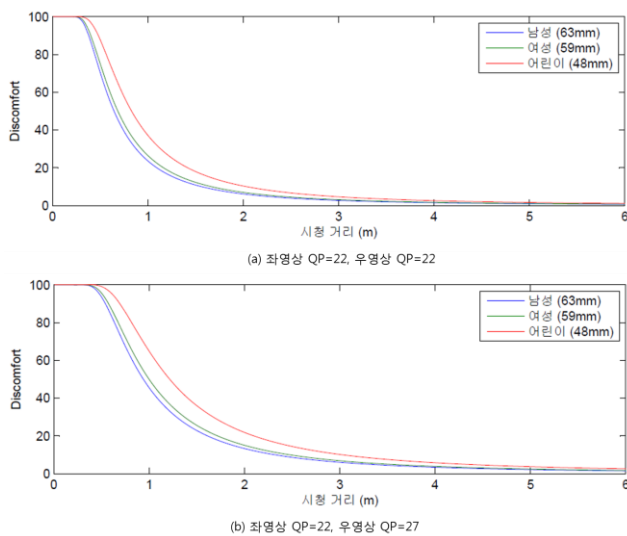


그림 3. 제안 시스템을 이용해 계산한 Kendo 영상의 시청거리에 따른 피로도

4. 실험 결과

피로도 측정 시스템의 실험을 위하여 MPEG 에서 제공하는 Kendo 스테레오 영상을 HEVC 로 압축한 비트스트림을 사용하였다. 이 때, 영상의 첫 번째 프레임만 실험에 사용되었으며 영상의 사이즈는 1024x768 이다. 입사 자극 불일치를 실험하기 위하여, 스테레오 영상을 인코딩 할 때 처음에는 좌, 우영상 모두 같은 QP (22)를 사용하였고 두 번째에는 각각 다른 QP(좌영상 22, 우영상 27)을 사용해 인코딩하여 서로 화질이 다른 스테레오 영상을 생성하였다.

그림 3 은 제안한 시스템을 이용해 인코딩한 Kendo 스테레오 영상에 대한 시각적 피로도를 나타낸다. 그림 3(a)는 좌, 우영상의 QP 를 모두 22 로 인코딩 했을 때 시청 거리에 따른 남성, 여성 및 어린이의 스테레오 영상에 대한 추정 피로도를 나타낸다. 추정된 피로도는 시청거리에 반비례하며, 양안 거리가 넓은 남성이 다른 경우에 비해 피로도를 덜 느끼는 것을 그림으로부터 확인 할 수 있다. 그림 3(b)는 같은 영상에 대해 좌, 우영상의 QP 를 각각 22, 27 로 했을 때 시청

거리에 따른 추정 피로도를 나타낸다. 그림 3(a)와 유사한 결과를 나타내지만 입사 자극의 불일치에 의해 전체적으로 피로도가 높게 추정됨을 확인 할 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 스테레오스코픽 디스플레이를 위한 영상기반 피로도 분석 시스템을 제안하였다. 제안하는 시스템은 스테레오 영상의 시각적 피로를 유발하는 원인인 수렴-조절 불일치를 the zone of comfort 모델을 통해 측정하고, 다른 원인인 입사 자극 불일치를 좌, 우영상에 대한 PSNR estimation 을 통하여 추정된 화질 차를 계산함으로써 측정하였다. 디스플레이 장치의 크기 또는 영상에 한정되어 피로도를 제공하던 기존의 방식과 달리, 본 논문에서 제안하는 피로도 분석 방법은 시청자의 양안 거리, 시청 환경과 영상의 특성을 고려해 더 정확한 스테레오 영상의 시각적 피로도의 추정치를 제공할 수 있다.

본 논문에서 제안하는 시스템을 통하여, 디스플레이 장치에서는 해당 디스플레이 장치에서 재생하는 영상을 특정 시청자가 시청하였을 때 경험할 수 있는 피로도를 미리 분석하여, 해당 영상을 시청할 수 있는 이상적인 시청 거리를 시청자에게 제공 할 수 있다. 또한, 스테레오 영상의 제작과정에서 목표로 하는 디스플레이 장치의 사이즈 및 시청 거리에서 제작된 스테레오 영상을 시청하였을 때 느낄 수 있는 피로도를 미리 분석하여, 입체감을 느낄 수 있으면서 피로도를 최소화 할 수 있도록 스테레오 영상의 수평 시차를 조절하는 것이 가능하다.

향후 연구 과제로서, 스테레오 영상의 다른 시각적 저해 요인 (깊이 움직임 등)을 분석하여 더욱 정확한 스테레오 영상의 피로도 분석 모델을 통해 피로도 분석 시스템을 연구하여 볼 수 있다.

감사의 글

본 연구는 서울시 산학연 협력사업(SS110004M0229111)의 지원을 받았습니다.

참고문헌

- [1] Y. J. Jung, S. Lee, H. Sohn and Y. M. Ro, " Visualizing the Perceived Discomfort of Stereoscopic Video," IEEE International Symposium on Multimedia, pp. 169-174, Dec. 2012
- [2] ITU Radiocommunication Bureau, " Recommendation ITU-R BT.2021 - Subjective methods for the assessment of stereoscopic 3DTV systems," Aug. 2012
- [3] T. Shibata, J. Kim, D. M. Hoffman, M. S. Banks, " The zone of comfort: Predicting visual discomfort with stereo displays," Journal of Vision, Vol 11, no. 8, pp. 1-29, Nov. 2011
- [4] J. W. Ryu, S. O. Lee, D. G. Sim, J. K. Han, " No reference peak signal to noise ratio estimation based on generalized Gaussian modeling of transform coefficient distributions," Optical Engineering, Vol. 51, No. 2, Feb. 2012