

안구 운동량 검출을 이용한 스테레오 영상의 시각적 피로도 측정

최성환 김동현 최재섭 손광훈

연세대학교 전기전자공학과

khsohn@yonsei.ac.kr

Visual Fatigue Evaluation using Eye-movement Detection for Stereoscopic Video

Choi, Sunghwan Kim, Donghyun Choi, Jaeseob, Sohn, Kwanghoon

School of Electrical and Electronic Engineering, Yonsei University

요약

본 논문에서는 3차원 스테레오 영상에서의 시각적 피로도와 안구의 운동량과의 상관관계를 도출하고 시각적 피로도 측정 시스템을 제안한다. 제안한 측정 방법은 3차원 스테레오 영상 시청자의 피로도가 누적되었을 때, 안구의 단속성 운동(saccade)이 감소할 것이라는 가정에 기반을 둔다. 액티브 셔터클래스 방식의 3D 안경을 착용한 시청자의 동공을 검출하고 추적하기 위해 적외선 광원 및 적외선 카메라를 이용한다. 획득한 영상에 대해 이진 임계화를 적용하고 타원 피팅을 수행하여 동공의 위치를 검출한다. 피팅된 타원의 이심률과 크기 및 위치를 제한하여 검출 오류를 줄인다. 검출된 동공의 위치를 바탕으로 안구의 단속성 운동량을 측정한다. 실험에는 변이 정도가 크지 않아 편안하게 시청 가능한 스테레오 영상과 과도한 변이를 가져 시청하는데 불편한 영상이 분리되어 사용되었다. 이들 영상에 대해 각각 실험자의 단속성 운동량을 측정하였다. 실험 결과에서 안구의 단속성 운동량이 변이가 큰 영상에서 그렇지 않은 영상에 비해 감소하는 경향이 나타났다.

1. 서론

최근 학계와 산업계 전반에 걸쳐 진행되고 있는 집중적인 연구로 인해 3차원 영상 기술이 더욱 현실화되고 있다. 이러한 연구의 결과에 힘입어 국내에서는 지난 5월 지상파 3D 시험방송을 실시하였고 3DTV의 성공 가능성을 보여주었다. 3차원 영상은 단안 단서만을 이용하는 2차원 영상과는 다르게 양안 변이, 초점거리와 수렴각도와 같은 양안 단서를 이용한 복잡한 시각 원리를 이용한다. 이로부터 공간과 입체감을 인지하며 많은 휴먼 팩터들이 여기에 관련되어 있다. 시청자가 좌/우 눈으로 각각에 해당하는 스테레오 영상을 볼 때, 두 눈의 초점은 화면에 맞추어지나 수렴각도는 스테레오 영상의 변이로부터 발생하는 입체감으로 달라진다. 따라서 스테레오 영상으로 표현되는 세계는 현실 세계와는 다르게 부자연스럽게 느껴지며 이는 폭주와 수렴 간의 혼란 때문이다. 이와 같은 인지 활동의 혼란은 시각적 피로도 유발로 이어진다. 따라서 시청자는 스테레오 영상의 시청시간이 지속될수록 시각 함수의 혼란으로 인한 시각적 피로감을 느끼게 된다[1]. 일반적으로 지속적인 3차원 영상 시청 시 나타나는 증상으로는 눈의 피곤함, 이중상, 눈의 건조, 두통, 멀미증상 및 현기증 등이 있다[2]. 이처럼 신체적 증상을 동반하는 시각적 피로도를 측정하기 위해 학계에서 연구가 활발히 진행되고 있다. 시각적 피로도를 측정하는 방법에는 크게 설문지에 피로한 정도를 점수로 매기는 주관적 피로도 평가 방법과[3] 스테레오 영상의 시공간과 변이 특성을 분석하여 피로도를 예측하는 객관적 피로도 평가 방법이[4, 5] 있다. 최근에는 뇌전도(EEG), ERP와 같은 인체의 생체 신호를 측정하여 피로도가 누적되었을 때 이들 신호의 변화로부터 피로도를 평가하는 방법이[6, 7] 연구되고 있다. 또한, 무안경 방

식의 영상 장치에서 시각적 피로도가 시청자의 작업 능력과 집중력에 미치는 영향이 안구 추적을 통해 연구되었다[8]. 주관적 피로도 평가 방법은 시청자가 3차원 영상을 시청한 후 눈의 피곤함, 두통, 현기증과 같은 증상의 경험에 대해 주관적으로 점수를 부여하기 때문에 그 결과가 일관적이지 않으며 정확하지 않다는 단점이 있다. 또한, 생체 신호를 측정하는 방법은 실험 절차가 복잡하고 불편한 실험 장비로 인해 피로도를 측정하는데 많은 노력이 필요하다는 단점이 있다.

본 논문에서는 적외선 카메라를 이용한 시선 추적 알고리즘으로부터 안구 운동량을 검출하는 스테레오 영상의 시각적 피로도 측정 방법을 제안한다. 기존의 연구에서 시청자가 스테레오 영상을 지속적으로 시청하였을 때 집중력을 잃어버리는 경향을 확인하였다. 이를 바탕으로 안구의 단속성 운동(saccade)이 과도한 시차를 가져 합성하는데 불편한 스테레오 영상에서 그렇지 않은 영상에 비해 감소할 것이라고 가정한다. 위의 가정을 바탕으로 시선 추적 알고리즘을 통해 안구의 단속성 운동량과 3차원 자극 정도와의 상관관계를 실험을 통해 분석한다.

본 논문의 2장에서는 제안한 시스템의 구성과 알고리즘을 언급하고 3장에서는 안구의 단속성 운동과 시각적 피로도와의 관계를 분석하기 위한 실험 방법을 설명한다. 4장에서는 실험 결과 및 분석을, 5장에서는 결론 및 향후 과제를 언급한다.

2. 스테레오 영상의 시각적 피로도 측정 시스템

2.1. 시스템 구성

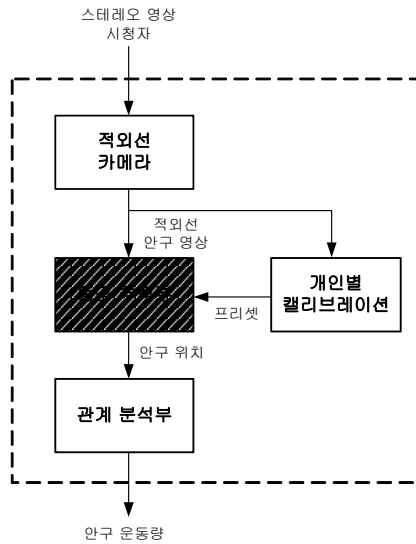


그림 1. 시각적 피로도 측정 시스템 구성도

본 논문에서 제안한 시각적 피로도 검출 시스템은 적외선 광원과 적외선 카메라로 구성된다. 시청자가 액티브 셔터글라스 방식의 3D안경을 착용하였을 때, 가시광선이 렌즈의 표면으로부터 반사되어 깨끗한 동공 영상을 획득하기 어렵기 때문에 이를 해결하기 위해서 적외선 광원과 가시광선 필터 기능이 있는 적외선 카메라를 이용한다.

그림 1은 제안한 시스템의 구성도를 나타낸다. 적외선 카메라로부터 획득한 안구 영상을 바탕으로 동공 추적부에서는 동공의 위치를 검출한다. 개인별 캘리브레이션에서는 시청자가 화면의 정 중앙을 바라보았을 때 안구의 중심위치와 동공 검출에 필요한 초기 임계치를 구한다. 관계 분석부에서는 검출한 동공의 위치로부터 안구의 단속성 운동량(Saccade)과 시추적 안구 운동량(Smooth pursuit eye movement)을 분석한다.

2.2. 동공 추적 알고리즘

동공 추적부에서는 획득한 적외선 안구 영상으로부터 동공의 위치를 검출하고 이를 바탕으로 실험자의 시선을 추적한다. 사전에 개인별로 캘리브레이션을 수행하여 동공 검출을 위한 최적의 임계치와 안구의 중심 좌표를 구한다. 이렇게 구해진 임계치를 초기 값으로 하여 이진 임계화를 안구 영상에 적용하며, 발생하는 잡음에 대해서는 몰폴로지 Closing 연산을 수행하여 제거한다. 초기 임계치를 중심으로 동공이 가장 잘 보이는 후보 임계치 범위를 설정하여 동공 검출의 신뢰도를 높인다. 또한, 타원 피팅이 동공 이외의 영역에 잡히는 것을 방지하기 위해 타원의 이심률 제한과 중심 위치 제한을 두어 동공이 정확하게 검출되도록 한다.

2.3. 피로도 측정 방법

인체의 안구 운동에는 여러 종류가 있으며, 본 논문에서는 이중에 단속성 운동(Saccade)과 시추적 안구 운동(Smooth pursuit eye movement)으로부터 피로도를 검출한다. 안구의 단속성 운동은 동공의 가속도 운동 여부와 이동 경로로부터 검출할 수 있다. 이를 위해 우

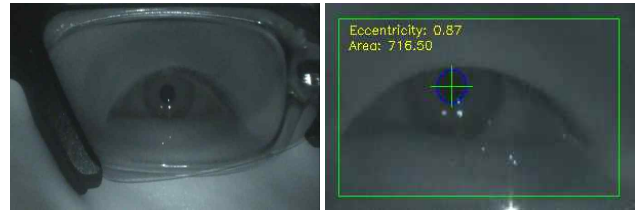


그림 4. 안구의 적외선 영상(좌)과 동공 검출 결과(우)

선 적외선 카메라로부터 획득한 동공의 영상 좌표계를 동공의 중심을 원점으로 하는 동공 좌표계로 변환한다. 동공의 움직임에 대한 가속도는 동공의 이동한 거리와 이를 2차 미분함으로써 구할 수 있다. 동공의 이동거리는 동공 좌표계를 기준으로 유클리디안 거리로부터 구할 수 있다. 이렇게 구해진 거리 함수를 2차 미분하여 동공의 움직임에 대한 가속도를 구한다. 단속성 운동량은 안구의 가속도 운동 중 단속성 운동에 해당하는 급속한 움직임 수의 합으로 정의한다. 따라서 안구의 총 단속성 운동량은 영상의 전체 프레임 내에서 단속성 운동 수의 총 합으로 구할 수 있다.

3. 실험 방법

실험에는 액티브 셔터글라스 방식의 삼성 55인치 3DTV가 이용되었고 2개의 적외선 광원과 가시광선 필터가 장착된 Sony 적외선 카메라가 안구 영상 촬영에 사용되었다. 안구는 초당 30 프레임으로 촬영되며 두 개의 적외선 광원은 눈 쪽을 조명하도록 설치하였다. 또한, 정확한 시선의 위치를 추적하기 위해 실험자는 턱 받침대에 얼굴을 고정된 상태로 실험을 하였다. 실험에는 입체시를 가지는 보통의 남성 2명이 참여하였고 20초짜리 스테레오 영상 50개가 실험에 쓰였다. 3차원 자극 강도와 안구의 단속성 운동과의 관계를 분석하기 위해, 변이 정도가 크지 않아 편안하게 시청 가능한 스테레오 영상을 “보통의 자극”으로 분류하였고 과도한 변이를 가져 시청하는데 불편하고 피로한 영상을 “과도한 자극”으로 나누었다. 영상 고유의 특성이 실험자에게 미치는 부가적인 요인을 배제하고자 두 영상세트는 모두 동일한 콘텐츠로 구성하였고 “과도한 자극”에만 영상에 인위적으로 큰 시차를 주어 입체감을 높였다.

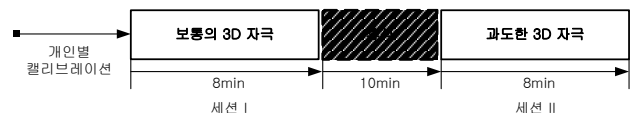
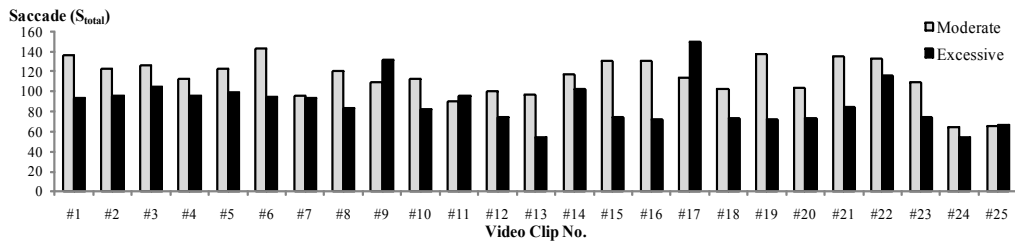
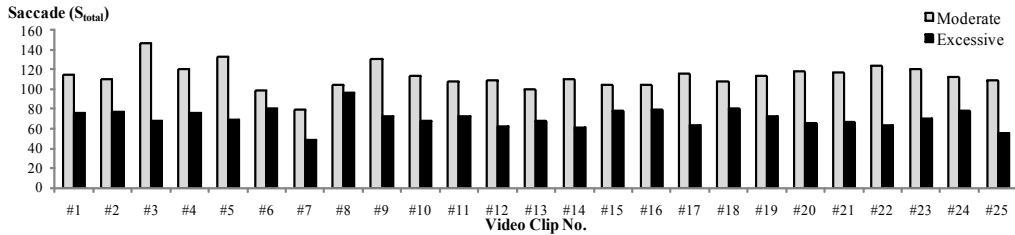


그림 3. 실험 절차

그림 3과 같이 실험 전 캘리브레이션을 통해 개인별로 동공 검출을 위한 최적의 임계치와 안구의 중심점을 구한다. 위에서 정의한 “보통의 자극”을 가지는 20초짜리 스테레오 영상 25개가 세션 I에 8분간 연속으로 상영되며 이후 10분간 휴식을 가진다. 세션 II에서는 세션 I과 동일한 과정으로 “과도한 자극” 특성을 가지는 스테레오 실험 영상을 실험자에게 보여준다. 그림 4는 안구의 적외선 영상과 동공 검출 결과를 보여준다.



(a) 실험자 1



(b) 실험자 2

그림 5. 안구의 단속성 운동량

4. 실험 결과 및 분석

표 1. 실험자별 안구의 단속성 운동과 시추적 운동 비율

	실험자 1		실험자 2	
	보통	과도	보통	과도
3D 자극 정도				
총 단속성 운동량	2832	2216	2828	1770
단속성 운동 비율(%)	18.88	14.77	18.85	11.80
시추적 운동 비율(%)	81.12	85.23	81.15	88.20

본 실험에서는 동공의 가속도 운동 중 단속성 운동만을 판별하기 위해 촬영 영상에서 안구 운동의 종류를 분류하고 그에 상응하는 가속도를 비교 및 분석하여 단속성 운동에 해당되는 가속도 데이터를 얻었고 그 값들의 평균을 구하여 임계치로 설정하였다.

본 논문에서 제안하는 안구의 단속성 운동량을 50개의 실험 영상 별로 구한 결과는 그림 5와 같다. 그림 5의 (a)와 (b)는 각각 실험자 1과 2의 실험 영상별 총 단속성 운동량(S_{total})을 설명하고 있으며 두 실험자 모두 “과도한 자극” 영상에서 “보통의 자극” 영상보다 안구의 단속성 운동량이 감소하는 경향이 나타났다. 이것으로부터 안구의 단속성 운동이 과도한 자극에서 그렇지 않은 보통의 자극보다 감소한다는 것을 확인하였다.

표 1은 단속성 운동량(Saccade)과 시추적 운동량(Eye pursuit Movement)의 비율을 나타내고 있다. 안구의 운동에서 단속성 운동을 제외한 나머지 운동을 시추적 운동으로 분류하였다. 두 실험자 모두 보통의 자극 강도를 가지는 25개의 스테레오 실험 영상에서 안구의 전체 움직임 내에 단속성 운동은 약 19% 정도를 차지하였다. 이와는 반대로 과도한 자극 강도를 가지는 25개의 스테레오 실험 영상에서는 실험자 1은 약 15%를, 실험자 2는 약 12%의 단속성 운동 비율이 나타났다.

본 실험의 결과로 비추어 볼 때, 안구의 운동 중 단속성 운동은 스테레오 영상의 자극 강도와 시간에 따라 그 운동량이 영향 받음을 알 수 있다. 따라서 시각적 피로도를 측정하는 요소로서 안구의 단속성 운동이 이용될 수 있겠다.

5. 결론

본 논문에서는 안구 운동량 검출을 통한 스테레오 영상에서의 시각적 피로 측정 시스템을 제안하였다. 적외선 카메라를 이용한 동공 검출과 시선 추적 알고리즘을 제안하였고 동공의 위치로부터 안구의 단속성 운동량을 측정하는 방법을 제안하였다. 제안한 시스템은 안구의 적외선 영상을 이용하여 단속성 운동량과 가속도를 구하며 또한 단속성 운동과 시추적 운동의 비율을 구한다. 실험에서 두 실험자 모두 과도한 3D 자극의 스테레오 영상에서 그렇지 않은 영상에 비해 단속성 운동량이 감소하는 경향을 보여주었다. 이로부터 안구의 단속성 운동량이 3차원 스테레오 영상의 시각적 피로도를 측정하는 요소가 될 수 있음을 확인하였다. 피로도 측정을 위해 fMRI와 EOG와 같은 고가의 생체 신호 측정 방법을 이용하지 않고도 본 논문에서 제안한 적외선 카메라를 이용한 안구 운동의 모니터링만으로 비교적 간단하고 낮은 비용으로 피로도를 측정할 수 있음을 보여주었다. 하지만 잘못된 동공 위치 검출이 실험 결과에 크게 영향을 미치는 점은 앞으로 보완해야할 사항이다. 또한, 안구의 운동 중 단속성 운동을 정확히 검출하는 것은 앞으로 보완해야할 과제이다.

향후에는 시청자가 보는 화면 위치를 시선 추적을 통해 검출하여 시각적 피로도가 스테레오 영상의 어떠한 특성과 상관되는지 연구를 확장할 계획이다.

[1] M. S. Banks, K. Akeley, D. M. Hoffman, A. R. Girshick, “Consequences of Incorrect Focus Cues in Stereo Displays,” *Information Display*, vol 24, pp 10-14, 2008.
 [2] M. Lambooi, M. Fortuin, W. IJsselstein, I. Heynderickx, “Measuring Visual Discomfort associated with 3D Displays,” *Proc. SPIE. Stereoscopic Displays and Applications XX*, 7237, 2009.

- [3] Lydia M. J. Meesters, Wijnand A. IJsselsteijn, and Pieter J. H. Seuntjens, "A Survey of Perceptual Evaluations and Requirements of Three-Dimensional TV," *IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 14, no. 3, pp. 381-391, 2004
- [4] D. Kim and K. Sohn, "Visual Fatigue Prediction for Stereoscopic Image using Sparse Corresponding Points," *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, (Accepted)
- [5] J. Choi, D. Kim, B. Ham, S. Choi and K. Sohn, "Visual Fatigue Evaluation and Enhancement for 2D-plus-Depth Video", *Proc. IEEE ICIP 2010*, Sep. 2010.
- [6] H. O. Li, J. Seo, K. Kham, S. Lee, "Measurement of 3D Visual Fatigue using Event Related Potential (ERP): 3D Oddball Paradigm," *3DTV Conference: The True Vision . Capture, Transmission and Display of 3D Video*, pp. 213-216, 2008.
- [7] Tomoka. N, Izuru. N, Kentaro. I, Atsushi. T, Narumi. K, Masato. T, "Information processing of geometrical features of a surface based on binocular disparity cues : an fMRI study," *Neuroscience Research*, vol 51, pp. 147-155, 2005.
- [8] Marcus. B, "The influence of autostereoscopic 3D displays on subsequent task performance", *SPIE* vol. 7524, 2010.