

일반논문-11-16-2-12

시청자의 입체시 특성을 고려한 3D 비디오의 피로도 예측

김 동 현^{a)}, 최 성 환^{a)}, 손 광 훈^{a)‡}

Visual Fatigue Prediction for Stereoscopic Video Considering Individual Fusional Characteristics

Donghyun Kim^{a)}, Sunghwan Choi^{a)}, and Kwanghoon Sohn^{a)‡}

요 약

본 논문에서는 시청자의 입체시 특성을 고려한 스테레오 비디오에서의 피로도를 예측하는 알고리즘을 제안하였다. 피로도 예측에 있어서의 개인차를 반영하기 위하여 랜덤 도트 스테레로그램을 이용하여 입체 지각 능력의 그룹화를 수행하여, 그룹화 결과와 피로도 민감성에 어떠한 관계가 있는지 조사하였다. 그리고 최대 시차, 시차 범위, 깊이영상의 움직임의 세 가지 피로 유발 요인들의 조합을 통해 시청자의 합성 능력에 따른 3차원 비디오 피로도 예측을 수행하였다. 결과로는 피어슨 상관계수와 스피어맨 상관계수를 측정하였으며, 예측된 피로도와 주관적 평가 결과를 비교하였을 때 각각 80%와 79%의 높은 상관도를 가짐을 확인하였다.

Abstract

In this paper, we propose a visual fatigue prediction metric which considers individual fusional characteristics for stereoscopic video. It predicts the visual fatigue level by examining the disparity and motion characteristics of 3D videos. In addition, we classified the viewers into 2 groups according to fusional limit and the slope of fusional response which are acquired from random dot stereogram test. Then, Pearson's and Spearman's correlation coefficient was measured between the proposed metrics and the subjective results, acquiring 80% and 79%.

Keyword : visual fatigue, stereoscopic video, stereoscopic fusion

1. 서 론

3차원 영상 처리 기술과 3차원 디스플레이의 발전은 3차원 영상 시장의 빠른 발전을 가져왔으며 차세대 방송 기술

로 각광 받고 있다. 3D 영상 장치에는 다양한 종류가 있지만, 그 가운데 스테레오 방식의 디스플레이 장치가 다시점, 홀로그래픽 등의 영상 장치들에 비해 3DTV의 첫 단계로 주목 받고 있다. 특히 최근에 크게 저변을 확대한 3D 영화 관과 3DTV을 통해 스테레오 콘텐츠를 쉽게 접할 수 있게 되었다. 하지만 3차원 영상의 시각 피로는 3D 시장의 성공을 위해서 반드시 해결 되어야 할 문제이다. 시각 피로의 원인 중 대표적인 요소로 알려져 있는 조절과 수렴의 불일치로 인한 시각 피로는 [1]에서 분석되었다. 또한, 시각적 피로는 수렴과 초점 거리의 불일치뿐 아니라 다른 여러가

a) 연세대학교 전기전자공학부

Electrical and Electronic Engineering Department, Yonsei University

‡ 교신저자 : 손광훈 (khsohn@yonsei.ac.kr)

※ 본 연구는 지식경제부, 방송통신위원회 및 한국산업기술평가관리원의 산업원천기술개발사업(정보통신)의 일환으로 수행하였음. [양안식 3DTV 방송용 카메라 개발]

· 접수일(2010년12월7일), 수정일(2011년3월2일), 게재확정일(2011년3월21일)

지 요소에 의해서도 발생하며, 과도한 시차, 수직 시차, 크로스톡, 노이즈, 카메라의 비대칭 특성 등이 연구되고 있다.

3차원 합성 범위를 벗어난 과도한 시차로 인하여 유발되는 시각 피로는 여러 논문에서 연구되었다^{[2][3]}. 과도한 시차가 흔히 발생하는 이유는 영상 제작자가 더욱 강한 3차원 효과를 주려는 의도 때문에 발생한다. Kooi는 공간 왜곡, 특성 비대칭과 시차의 요인들을 조사하여 편안함 정도를 측정하였고 또한 각각의 요인들에 대한 개별적인 임계치를 제시하였다^[2]. 3D 컨소시엄은 편안한 3차원 콘텐츠 제작과 시청을 위한 시차의 임계치를 권고함으로써 시각적 피로를 방지하는 등의 3차원 영상 안전 가이드라인을 제시하였다^[3]. 또한 한국정보통신기술협회는 3D 입체 방송 시청 시의 올바른 시청 환경 및 시청자 주의 사항, 적절한 콘텐츠의 사용, 디스플레이 가이드라인 등을 정의하였다^[4].

또한 수직 시차가 시각 피로에 미치는 영향에 대한 연구가 진행되었다. 대부분의 수직 시차는 키스톤 왜곡이 발생하는 폭주식 카메라에서 발생한다. 이에 따라 평행식 카메라와 폭주식 카메라의 비교를 위한 주관적 평가가 [5]과 [6]에서 연구 되었으며, 키스톤 왜곡에 의해 유발되는 수직 시차의 범위가 [7]에서 논의 되었다.

입체 지각 능력 또는 시각 피로 민감성의 개인차에 대한 연구도 3D 영상의 시각 피로와 직결되는 중요한 요소이다. 안간 거리, 나이, 3D 영상에 대한 적응도 등에 따라 같은 영상을 보더라도 시각 피로를 쉽게 느끼는 사람과 그렇지 않은 사람이 나뉜다. 이에 따라 다음의 연구에서 3차원 인지 능력의 개인차에 대한 조사가 이루어졌다^{[3],[8]}. 3D 컨소시엄에서는 400명의 시청자의 합성 능력을 측정하여, 상당한 개인차가 존재함을 확인하였다^[3]. 또한 [8]에서는 시청자를 자유 합성 능력 여부에 따라 그룹으로 나눈 후 TV 시청 전후의 합성 능력의 변화가 있는지 측정하였다.

시각적 피로의 메커니즘은 아직 완벽히 밝혀진바 없지만, 시각 피로 증상은 일반적으로 눈의 피로, 눈물, 안구의 압박감, 눈 주위의 통증, 눈을 깜박일 때의 불편함, 안구의 뜨거움, 초점 맞추기 어려움, 흐린 시야, 굳은 어깨, 그리고 두통 등이 있다. 이와 같은 주관적인 3차원 피로감의 측정 방법에 대한 휴먼팩터 연구가 진행되었으며^[10], 배경 뇌파와 ERP 신호를 분석하여 시각 피로를 객관적으로 평가 하

는 방법이 제시되었다^[11]. 본 연구실에서는 영상 분석을 통해 스테레오 영상의 피로도를 예측하는 연구를 다음과 같이 진행하였다^{[12][13]}. 스테레오 정지 영상에서의 수평, 수직 시차량을 추출하여 피로도를 예측 하는 연구를 수행하였고^[12], 2D-plus-깊이 비디오에서의 시공간적 특성을 측정하여 피로도를 예측 하는 연구를 진행하였다^[13].

본 논문에서는 스테레오 비디오에서의 피로도 예측을 수행하는 알고리즘을 제안한다. 최대 시차, 시차 분포 범위를 이용하여 정지 영상의 피로도를 예측하는 기존의 연구를 확장하여 깊이영상의 움직임 측정함으로써 3차원 비디오에 적용한다. 또한 피로도 예측에 있어서의 개인차를 반영하기 위하여 입체 지각 능력의 그룹화를 수행하였다. 이를 위해 랜덤 도트 스테레오그램 (Random dot stereogram) 을 이용하여 증가하는 시차를 제시하면서 시청자의 최대 합성 시차와 합성 속도를 측정하였다. 선형 회귀를 사용하여 최대 시차, 시차 범위, 깊이영상의 움직임에 대한 각각의 가중치를 얻을 수 있으며, 이에 따라 시청자의 합성 능력에 따른 3차원 비디오 피로도를 예측한다. 피로도 예측 결과가 존재하면 그림 1과 같이 시청자에게 새로운 시청 환경을 제시하거나, 깊이 조절을 수행하여 편안한 3차원 비디오를 제공할 수 있다.

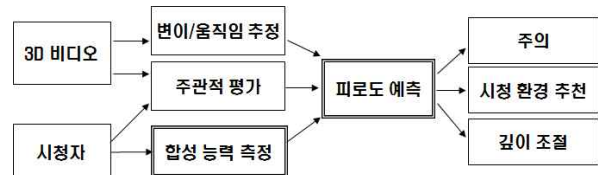


그림 1. 피로도 예측 흐름도 및 응용 분야
 Fig. 1. Flowchart and application of visual fatigue prediction

II. 랜덤 도트 스테레오그램을 이용한 입체시 합성 능력 측정

입체시로 합성 능력을 측정하는 연구로 시차의 합성 한계치를 측정하는 연구가 있다. 합성 한계치를 측정하는 연구로는 시차량을 가진 물체를 화면에 표시한 후 시청자의 합성 가능 여부를 판단하는 방식이 있으며 ITU-R BT.

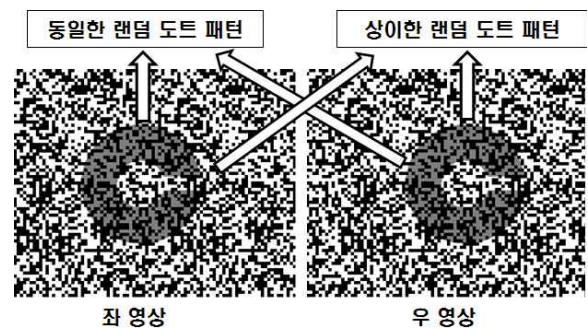
1438에서 제안되었다^[14]. 이 측정 방식에서는 직사각형의 막대를 좌우 영상의 서로 다른 위치에 표시함으로써 시차를 가지게 한다. 그러나 배경과 전경의 콘트라스트로 인해 크로스톡과 이중상 문제가 발생하게 되며, 이는 측정 방식의 신뢰도를 낮추는 결과를 초래한다.

이러한 문제를 해결하기 위하여 본 논문에서는 랜덤 도트 스테레오그램을 이용하며, 입체시 합성 능력의 세부 특성으로서 시차의 합성 한계치와 합성 반응 속도를 측정한다. 여기서 랜덤 도트 스테레오그램은 랜덤한 점들을 배치하여 좌우 영상을 만든 것이지만 스테레오 디스플레이 혹은 “매직아이 기법” 등을 이용하여 좌우안에 각각의 영상을 분리하여 보여주게 되면 입체의 물체가 나타나는 영상을 말한다^[15]. 랜덤 도트 스테레오그램을 이용하여 양안 융합 한계치에 대해 조사한 연구가 있으며^[16], 양안 합성 한계치에 영향을 미치는 여러 가지 변인들이 존재하여 공간빈도, 시간빈도, 시야, 주변 환경에 영향을 받는다는 것을 보여 주는 연구 결과가 있다^{[17][18]}.

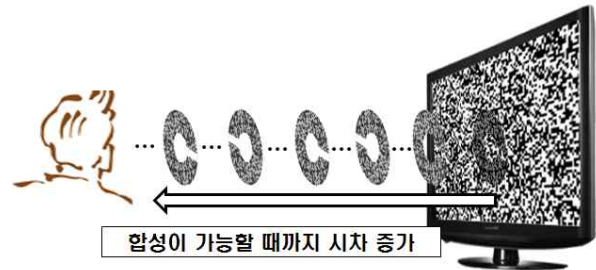
제안 측정 방식에서 입체로 나타내는 물체는 “Landolt C” 패턴으로서 링 모양의 구조이지만 특정 방향에 뚫린 부분이 있어서 알파벳 “C”와 유사한 모양을 가지는 패턴이다. 랜덤 도트 스테레오그램을 이용한 제안 측정 방식은 그림 2에 나타내었다. 그림 2 (a)에서는 “Landolt C” 패턴의 랜덤 도트 스테레오그램을 나타내었다. 지면상의 식별을 위해 패턴을 어두운 색상으로 나타내었지만 실제로는 구분이 되지 않는 동일한 색상의 랜덤 도트를 사용한다. 그 후 그림 2 (b)와 같이 시차의 양을 점차 늘리면서 입체시 합성 한계치를 찾는다. 사용자는 입체시가 합성되는 즉시 뚫린 부분의 방향을 키보드로 입력해야 하며, 이 때 소요된 시간을 측정함으로써 제시된 시차에 따른 합성 반응 속도를 측정하였다. 즉, 합성 시간이란 회색 화면을 시청하다가 제시된 랜덤 도트 스테레오그램에서 양안 합성을 하여 Landolt C 패턴이 보이게 되면 이때의 방향을 맞추는데 걸린 시간을 말한다.

실험의 설계 과정에서는 여러 요인을 바꾸어 가며 실험을 진행하였고, 이 때 반복 측정치의 결과가 가장 안정적인 측정 방식을 선택하였다. 고려된 요인은 다음과 같다. 시차를 점차 증가시키면서 합성이 실패하는 한계점을 측정하였

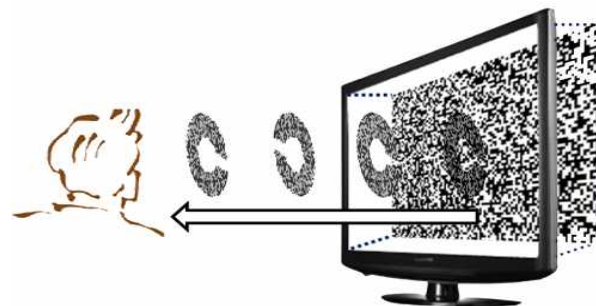
으며, 합성이 되지 않는 큰 시차에서 시차를 점차 감소시키면서 합성이 성공하는 한계점을 측정하였다. 또한 그림 2 (c)와 같이 배경에도 시차가 있을 때의 동일한 실험을 수행하였고, 배경 시차로는 0.5°, 0°, -0.5°일 때의 합성 능력을 측정하였다. 반복 실험 결과가 가장 안정적인 측정 방식은 시차를 증가 시키면서 합성이 실패하는 한계치를 찾고, 배



(a) 랜덤 도트 스테레오그램 생성 방법
(a) Generating a random dot stereogram



(b) 입체시 합성 능력 측정 실험
(b) Fusional ability measurement



(c) 배경 시차가 있을 때의 입체시 합성 능력 측정 실험
(c) Fusional ability measurement with background disparity

그림 2. 랜덤 도트 스테레오그램을 이용한 입체시 합성 능력 측정
Fig. 2. Fusional ability measurement using random dot stereogram

경 시차가 없을 때의 실험이었으며, 이 방식이 최종적으로 선택되었다.

시청자에 따라 합성 한계점과 합성 반응 시간 데이터가 획득되며 합성 반응 속도는 시차, 시간 데이터의 기울기를 계산하여 획득한다. 여기서 합성 한계점과 합성 반응 속도를 통해 시각 피로 민감도에 대한 가설을 세울 수 있다. 합성 한계점을 초과하는 3D 비디오의 시차는 시각 피로와 밀접한 관계를 가지며, 움직임을 가지는 3D 물체는 입체 합성 속도가 느린 사람에게 시각 피로를 유발할 가능성이 더욱 높기 때문이다. 본 논문에서는 시청자의 입체시 특성에 따라 2개의 그룹으로 분류하였으며, 이러한 그룹의 분류가 피로도 민감성과 관계가 있으며 피로도 예측의 성능을 향상시킬 수 있음을 보이고자 한다.

III. 3D 비디오 피로도 예측 기술

본 논문에서는 스테레오 비디오에서의 피로도 예측을 수행하는 알고리즘을 제안한다. 먼저 스테레오 비디오에서 시차 추정과 움직임 추정을 수행하여 시차 지도와 움직임 지도를 획득한다. 이를 분석하여 최대 시차, 시차 분포 범위, 깊이 영상의 움직임이라는 세 가지 피로도 유발 요인을 추출한다. 이와 같은 피로도 요인들은 카메라 간 거리, 카메라의 주시각, 주 피사체와 카메라의 거리, 전경과 배경의 거리, 전경의 급격한 움직임 등의 촬영 요소들이 복합적으로 작용함으로써 발생하게 된다. 또한 시청 거리, 디스플레이의 해상도 및 크기 등의 시청 요소에도 영향을 받게 되며, 특히 시청자의 인간 거리와 같은 개인차에 의해 피로도 체감에 차이가 존재할 수 있다.

본 논문에서는 촬영된 3차원 비디오가 있을 때의 피로도 유발 요인을 검출하기 위해 영상 내의 시차/움직임을 분석하고 개인 특성을 고려한다. 그림 3에서는 제안 피로도 유발 요인인 최대 시차, 시차 분포 범위를 디스플레이 장치를 기준으로 나타내었다. 최대 시차가 디스플레이로부터 멀리 떨어져 있을수록, 시차의 분포 범위가 넓을수록, 돌출된 물체의 움직임이 빠를수록 피로도가 유발되는 특징을 이용하여 피로도를 예측한다.

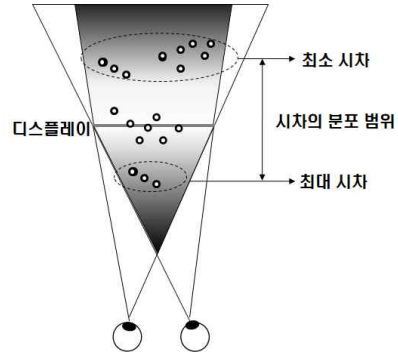


그림 3. 스테레오 영상의 최대 시차와 시차 분포 범위
Fig. 3. Maximum disparity and disparity range of stereoscopic video

3D 비디오의 최대 시차는 시각 피로를 유발하는 중요한 요인이다. 최대 시차가 클수록 디스플레이로부터 돌출되어 이에 따라 수렴과 조절의 불일치가 커지기 때문이다. 다음의 식 (1)을 통해 영상의 최대 시차를 구한다. 식 (1)에서 $Disp(f)$, f_n , f_1 , f_2 은 각각 정렬된 시차, 영상 내의 픽셀 수, 지정된 범위를 나타낸다. $Disp(f)$ 는 좌영상과 우영상에서 대응점을 찾는 시차 추정을 수행하여 획득된 2차원 시차 영상을 1차원으로 크기 정렬한 것이다. 크기에 따라 시차를 정렬한 후 상위 0%에서 10%사이의 시차를 평균을 계산하여, 현재 프레임의 최대 시차로 사용한다.

$$Max = \sum_{f=f_n \times f_1}^{f_n \times f_2} Disp(f) \quad (1)$$

최대 시차가 동일하더라도, 배경 시차의 유무에 따라 발생하는 피로도에 차이가 존재하며, 이에 따라 3D 비디오의 시차 분포 범위를 식 (2)와 같이 측정한다. 시차의 분포 범위는 그림 3과 같이 최대 시차와 최소 시차의 차로 계산되며, 식 (1)과 유사한 구조를 가진다. 식 (2)의 $Disp(f_n-f)$ 가 최소 시차를 나타내고, 상위 90%에서 100% 사이의 시차의 평균을 계산한다.

$$Range = \sum_{f=f_n \times f_1}^{f_n \times f_2} (Disp(f) - Disp(f_n - f)) \quad (2)$$

양안 합성 한계치는 물체가 빠르게 움직일 때 줄어들고, 물체가 응시 위치에서 벗어났을 때에는 더욱 줄어들게 되

어, 이중상을 느끼게 된다는 연구 결과가 있다^[17]. 이에 따라 깊이영상의 움직임 항목은 돌출된 물체의 움직임이 빠를 경우에 높은 값을, 반대의 경우에는 낮은 값을 가지도록 하였으며, 식 (3)과 같이 시차와 움직임의 곱으로 표현할 수 있다. 식 (3)에서의 T는 끊음 연산 (Truncation)을 실행함으로써 매우 큰 값의 움직임이나 시차가 있을 때에도 인 지되는 피로도는 특정 수준 이상으로 크게 증가하지 않는 시각 특성을 반영한다.

$$DepthMotion = \sum_f (T(Disp(f)) \times T(Motion(f))) \quad (3)$$

식 (1)~(3)을 이용하여, 피로도를 유발하는 최대 시차, 시차 범위, 깊이영상의 움직임을 3차원 비디오에서 계산할 수 있다. 그리고 선형 회귀를 사용하여 주관적으로 측정된 피로도 결과와 표준화된 세 가지 요소에 대한 각각의 가중치를 얻을 수 있게 되며, 식 (4)와 (5)에 나타내었다. 식 (4)와 같이 피로도를 예측하기 위해서 식 (5)에 따라 가중치 벡터 a 를 구하며, 벡터 a 를 구하는 과정에서 합성 능력이 좋은 그룹과 그렇지 않은 그룹의 주관적 평가(Subg1, Subg2)를 각각 사용한다. 즉, 영상별 주관적 점수의 평균을 구하는데 있어서 그룹에 따라 각각의 영상별 주관적 점수의 평균을 구하는 것을 말한다. 다시 말하면, 그룹 분류에 따라 2개의 주관적 평가 결과를 이용하여 2개의 가중치 벡터가 계산되고, 이것이 각각의 그룹별 피로도 예측에도 이용된다. 식 (4)에서 가중치 벡터 a 를 구하기 위하여 식 (5)를 사용하며, 벡터 a 가 구해진 이 후에는 새로운 영상이 입력되었을 때 획득했던 가중치를 곱하여 피로도를 예측할 수 있다.

$$predicted = a_0Max + a_1Range + a_2DepthMotion + a_3 \quad (4)$$

$$a = (X^T X)^{-1} X^T Sub$$

$$Sub_{g1} = \begin{pmatrix} S_{1,g1} \\ M \\ S_{n,g1} \end{pmatrix} \quad Sub_{g2} = \begin{pmatrix} S_{1,g2} \\ M \\ S_{n,g2} \end{pmatrix} \quad (5)$$

$$X = \begin{pmatrix} Max_1 & Range_1 & DepthMotion_1 & 1 \\ M & M & M & M \\ Max_n & Range_n & DepthMotion_n & 1 \end{pmatrix}$$

IV. 3D 비디오 피로도 예측 기술

1. 3차원 비디오의 주관적 평가

실험에 사용된 디스플레이는, 셔터 안경 방식의 삼성 55인치 3DTV이며, 디스플레이 높이의 3배의 거리에 앉아서 평가를 진행하였다. 실험 참여자는 정상적인 시력 (Visual acuity)과 입체 시력 (Stereoacuity)을 가진 평균 연령 26.2세의 대학생 20명 (남자 10명, 여자 10명)으로 구성되었다. 시청자는 무작위의 순서로 재생되는 영상을 시청한 후 영상에서 느껴지는 피로도에 대하여 1(피로함)부터 5(편안함)까지의 점수를 주는 방식으로 평가를 진행하였다. 영상은 20초 간 재생하였으며, 영상의 사이에 7초 간의 회색 화면이 재생되는 동안 평가를 수행하였다. 평가 비디오로는 3D 시험방송으로 방영된 1920×1080 해상도의 스테레오 비디오에서 25개의 클립을 선택하였으며, 콘서트, 스포츠, 애니메이션, 다큐멘터리, 예능의 다양한 장르를 포함하도록 구성하였다^[19].

2. 합성 능력에 따른 그룹화

피로도 예측에 있어서의 개인차를 반영하기 위하여 입체 시각 능력의 그룹화를 수행하였다. 이를 위해 랜덤 도트 스테레오그램 (Random dot stereogram)을 이용하여 점차 증가하는 시차를 제시하면서 시청자의 최대 합성 시차와 합성 속도를 측정하였다. 측정 결과는 넓은 범위의 개인차를 나타내었지만, 크게 2개의 그룹으로 분류하여 사용자의 시각 피로에 대한 민감도를 구분하였다. 최대 합성 시차와 합성 속도의 속성을 가지고 그룹을 분류하기 위해 K-mean 군집화 (Clustering) 알고리즘을 수행하였다. 군집화 결과 13명의 시청자가 그룹 1에 포함되었으며, 7명의 시청자가 그룹 2에 포함되었다. 이는 35%에 가까운 시청자가 피로도에 민감한 시청자로 분류될 수 있다는 것을 의미한다.

그림 4에서는 합성 한계와 합성 시간의 그래프를 각 그룹 별로 3명씩 나타내었다. 그래프의 x축은 제시된 각도 시차를 나타내며, y축은 합성에 소요된 시간을 의미한다. 그룹1과 그룹2를 비교하였을 때 그룹2의 시청자는 그룹1의 시청

자에 비해 합성 한계가 낮고 합성 속도가 느림을 알 수 있다. 합성 속도는 단위 시차를 합성하는데 필요한 시간으로 그래프의 기울기가 클수록 합성 속도가 느리다. 실험자 20명 전체에 대한 합성 능력의 그룹 별 비교를 표 1에 나타내었다. 표 1에서도 그룹2가 낮은 합성 한계치와 느린 합성 속도를 가지는 것을 확인할 수 있다. 이와 같이 입체시 합성 능력에 개인차가 크게 존재하기 때문에 3차원 비디오 피로도 예측에 있어서도 그룹별 예측이 반드시 필요하다. 합성 한계점을 초과하는 3D 비디오의 시차와, 빠른 움직임을 가지는 3차원 물체는 입체 합성 속도가 느린 사람에게 시각 피로를 유발할 가능성이 더욱 높기 때문이다. 이것은 [20]에서 3차원 자극의 제시시의 수렴과 조절량을 측정된 그래프에서 찾아볼 수 있다. 수렴과 조절의 불일치 상태에서 안정 상태로 바뀌는 동안의 수렴과 조절, 동공 크기를 측정하였으며 안정화에 이르는 동안 큰 동요를 확인할 수 있으며, 합성 시간이 빠른 시청자는 3차원 자극을 보았을 때 안정화에 이르는 시간이 짧기 때문에 피로도에 상대적으로 민감하지 않다고 할 수 있다. 이와 같은 합성 능력과 피로도 민감성과의 관계에 대한 검증은 합성 능력에 따라 그룹화를 수행한 후, 그룹간 피로도 평가에 차이가 있는지에 대한 통계적 검증을 수행하였다. 이를 위해 대응 표본 T검정을 수행하였으며, 그룹1의 결과가 그룹2보다 0.113 높은 평균값을 가지고 있으며, p-value는 0.096이므로 유의한 평균차이를 가지고 있다.

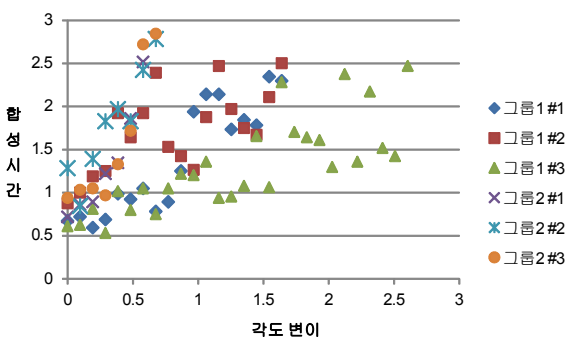


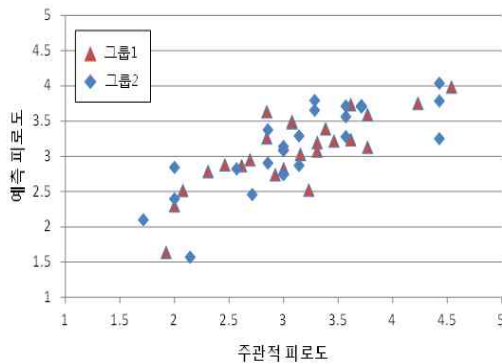
그림 4. 그룹1과 그룹2의 합성 한계치와 합성 시간 비교 그래프
Fig. 4. Fusional limit and fusion time of two groups

표 1. 그룹 간 합성 능력 비교
TABLE I. Fusional characteristics of two groups

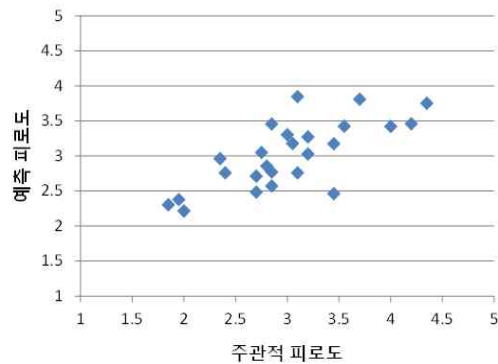
	합성 한계치 (degree)		합성 속도 (sec/degree)	
	그룹 1	그룹 2	그룹 1	그룹 2
평균	1.893	0.552	0.695	3.328
최소값	0.676	0.483	0.063	2.447
최대값	3.859	0.676	1.324	5.091

3. 3차원 비디오의 피로도 예측 결과

3차원 비디오에서 최대 시차, 시차 분포 범위, 깊이영상의 움직임을 추출하여 영상의 피로도도를 예측하였다. 또한 피로도 예측에 있어서의 개인차를 반영하기 위하여 입체 시각 능력의 그룹화를 수행하였다. 스테레오 영상에서의 움직임 및 시차 지도는 각각 블록 매칭 알고리즘과 동적 프로그래밍 (dynamic programming)을 이용하여 획득하였다. 제안 알고리즘의 성능 비교를 위하여 [21]의 알고리즘을 사용하였다. 비교 알고리즘은 스테레오 영상의 편안함과 영상내의 움직임 및 시차와의 상관도를 측정된 논문이며, 피로도 예측은 수행하지 않기 때문에 본 논문의 선형회귀를 적용하도록 변경하였다. 그림 5는 두 알고리즘의 피로도 예측 결과를 나타낸다. 그래프의 x축은 주관적 피로도를 나타내며, y축은 예측 피로도를 나타낸다. 제안 알고리즘이 산점도 (scatter plot)에서 선형으로 밀집된 데이터 분포를 가지며, 보다 정확한 예측을 수행하였음을 알 수 있다. 또한 표 2에서 주관적 피로도와 예측 피로도의 피어슨 상관계수와 스피어먼 상관계수를 각각 측정하여 동일한 결과를 확인하였으며, 그룹 분리 미수행시의 제안 알고리즘의 성능을 비교하여 합성 능력에 따른 3차원 비디오 피로도 예측이 도움이 된다는 것을 나타낸다. 주관적 피로도와 예측 피로도가 상이한 값을 가지는 경우의 비디오를 분석한 결과, 최대 시차, 시차 분포 범위, 깊이영상의 움직임 이외에도 반복되는 패턴이나 텍스처가 부족한 부분에서의 시차/움직임 추정의 에러, 화면의 가장자리에 돌출된 물체가 배치된 액자 효과 (frame effect) 등의 피로 유발 요인들이 있음을 확인하였지만, 대부분의 영상에서 정확한 예측을 수행하였다.



(a) 제안 알고리즘의 피로도 예측 산점도



(b) 비교 알고리즘의 피로도 예측 산점도

그림 5. 제안 알고리즘과 비교 알고리즘의 피로도 예측 산점도
Fig. 5. Scatter plots of visual fatigue prediction

표 2. 제안 알고리즘의 상관계수 비교
Table 2. Correlation coefficient of visual fatigue prediction

	제안 알고리즘	그룹 분리 미수행시의 제안 알고리즘	비교 알고리즘
Pearson 상관계수	80.4%**	77.1%**	73.4%**
Spearman 상관계수	79.2%**	78.3%**	72.3%**

V. 결론

본 논문에서는 스테레오 비디오에서의 피로도를 예측하는 알고리즘을 제안하였다. 피로도 예측에 있어서의 개인차를 반영하기 위하여 랜덤 도트 스테레오그램을 이용하여 입체 지각 능력의 개인차에 따른 그룹화를 수행하였다. 그리고 최대 시차, 시차 범위, 깊이영상의 움직임의 피로 유발요인들의 조합을 통해 시청자의 합성 능력에 따른 3차원 비디오 피로도 예측을 수행하였고 주관적 평가 결과와 높은 상관도를 가짐을 확인하였다.

그러나 앞으로 해결해야 할 여러 가지 문제가 있다. 본 논문에서는 합성 한계치와 합성 속도를 이용하여 3차원 인지 능력을 평가하였지만, 피로도의 개인차를 위해 더 고려해야 할 사항이 존재한다. 3D를 적절히 인지하지 못하는 사

람이 일부 존재하고, 나이에 따른 폭주 능력의 저하, 훈련에 따른 입체시 합성 능력의 차이, 입체 영상이 유아에 미치는 영향 등도 고려 대상이다. 피로도의 정확한 측정 방법은 또 다른 연구 과제이다. 피로도가 누적되면 회복되는데 시간이 걸리기 때문에 일반적으로 화질 평가에서 사용되는 설문 결과의 평균 조사에는 한계가 있으며, 이에 따라 EEG, fMRI 등의 생체 신호 분석 방법이 연구되고 있다. 그밖에 피로도에 영향을 주는 요인의 발굴 및 요인 간 상호작용, 피로도의 객관적 측정 방법에 대한 추후 연구가 필요하다.

참고 문헌

- [1] D.M. Hoffman, A.R. Girshick, K.Akeley, M.S. Banks, "Vergence-accommodation conflicts hinder visual performance and cause visual fatigue," *Journal of Vision*, 8(3):33, 1-30, 2008
- [2] F. Kooi and A. Toet, "Visual comfort of binocular and 3d displays," *Displays* 25, pp.99 - 108, 2004.
- [3] "3DC Safty Guidelines for Popularization of Human-friendly 3D," 3D Consortium, 2006.
- [4] 한국정보통신기술협회, "3DTV 방송 안전 가이드라인," TTA.KO-07.0086, 2010.
- [5] L. B. Stelmach, W. J. Tam, F. Speranza, R. Renaud, and T. Martin, "Improving the visual comfort of stereoscopic images," *Proc. of SPIE*, vol. 5006, pp.269-282, 2003
- [6] W.A.Ijsselsteijn, H.de Ridder, J.Vliegen, "Subjective Evaluation of Stereoscopic Images: Effects of Camera Parameters and Display Duration," *IEEE trans. on CSVT*, vol.10, no.2, 2000.
- [7] Woods, T. Docherty, and R. Koch, "Image distortions in stereoscopic

video systems," Proc. of SPIE 1915, pp.36-48, 1993.

[8] M. Emoto, Y. Nojiri and F. Okano, "Changes in fusional vergence limit and its hysteresis after viewing stereoscopic TV," Displays 25, pp.67 - 76, 2004.

[9] K.Ukai and P.A.Howarth, "Visual fatigue caused by viewing stereoscopic motion images: Background, theories and observations," Displays 29, pp.106-116, 2008.

[10] 이형철, "주관적인 3차원 피로감 측정 방법에 대한 휴먼팩터 연구," 한국방송공학회논문지, 제15권 제5호 pp.607-616, 2010.

[11] H. Li, J. Seo, K. Kham and S. Lee, "Measurement of 3d visual fatigue using event-related potential (ERP) : 3D Oddball paradigm," IEEE 3DTV-CON'08, 2008.

[12] D. Kim, D. Min, J. Oh, S. Jeon and K. Sohn, "Depth map quality for three-dimensional video," Proc. of SPIE 7237, pp.723719-1-9, 2009.

[13] J. Choi, D. Kim, K. Sohn, "Visual fatigue evaluation and enhancement for 2D-plus-depth video", Proc. IEEE ICIP 2010, 2010.

[14] Subjective Assessment of Stereoscopic Television Pictures," ITU, Recommendation BT.1438, 2000.

[15] Julesz, B., "Global stereopsis: Cooperative phenomena in stereoscopic depth perception," in Handbook of Physiology, Vol. VIII, Perception, pp.215-256, 1978.

[16] C. J. Erkelens, "Fusional limit for a large random-dot stereogram," Vision Research. vol. 28. No. 2, pp.345-353, 1988.

[17] S. Yano, "Spatio-temporal frequency characteristics of binocular vision for stereoscopic images," TAO First International Symposium 1993, pp.S-2-3-1 - S-2-3-11, 1993.

[18] S. Nagata, "The binocular fusion of human vision on stereoscopic displays - field of view and environment effects," Ergonomics, Vol. 39, Issue 11, pp.1273-1284, 1996.

[19] <http://diml.yonsei.ac.kr/dhkim>

[20] K. Ukai and P. A. Howarth, "Visual fatigue caused by viewing stereoscopic motion images: Background, theories and observations," Displays 29, pp.106-116, 2008

[21] 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.

저 자 소 개

김 동 현



- 2004년 8월 : 연세대학교 전기전자공학부 학사
- 2007년 2월 : 연세대학교 전기전자공학과 석사
- 2007년 3월 ~ 현재 : 연세대학교 전기전자공학과 박사과정
- 주관심분야 : 3차원 컴퓨터비전, 3차원 영상 피로도

최 성 환



- 2009년 2월 : 항공대학교 항공전자공학과 학사
- 2010년 3월 ~ 현재 : 연세대학교 전기전자공학과 석사과정
- 주관심분야 : 3차원 영상 처리, 3차원 영상 부호화

손 광 훈



- 1983년 : 연세대학교 전자공학과 공학사
- 1985년 : University of Minnesota, MSSE
- 1991년 : North Carolina State University, Ph.D
- 1993년 : 한국전자통신연구원 선임연구원
- 1994년 : Georgetown University, Post-doctor fellow
- 1995년 ~ 현재 : 연세대학교 전기전자공학부 교수
- 2002년 9월 ~ 2003년 8월 : Nanyang Technological University, Visiting Professor
- 주관심분야 : 3차원 영상처리, 영상 통신