다양한 3D 디스플레이 환경에 적용 가능한 입체시력 검사

DOI: 10.3938/PhiT.22.030

감 기 택

A Novel Stereoacuity Test for Various 3D Display Environments

Keetaek KHAM

People can experience 3D contents through 3D TV and/or 3D games on a personal computer. Not all people can see stereoscopic depth from stereo images. Therefore, it would be useful if people's own stereoacuity were provided before they are exposed to 3D contents. The conventional stereoacuity test can be easily implemented in a 3D display environment. In some environments, however, even the smallest disparity (one pixel disparity) is too large to evaluate the normality in stereoacuity, which means a conventional random dot stereogram or figural stereogram cannot be used as stimuli for a stereoacuity test. In this paper, gabor patches are proposed as proper stimuli for a stereoacuity test because the binocular disparity of gabor patches can be manipulated less than one pixel by using the phase difference between them. Results from 200 observers show that a disparity of less than one pixel is successfully manipulated and that gabor patches can be used as proper stereo images for stereoacuity tests in various 3D display environments.

서 론

주로 입체 영화를 통해 소개되던 입체 영상은 그 적용 범위가 점차 확대되고 있다. 특히 가정용 TV와 PC 모니터에서도

Fig. 1. Schematic diagram shows how the retinal images are formed from two objects lying in different depth (left). When two images with a proper disparity are presented, the stereoscopic depths are emergent from the stereo images (right).

입체 영상을 제시할 수 있게 됨에 따라 일반인들도 입체 영상을 쉽고 빈번하게 접할 수 있게 되었다. 3D 영상이 대중화될 때 가장 우선적으로 제기된 문제들 중 하나는 3D 영상을 시청할 때 발생할 수 있는 시각적 불편감이었다. 따라서 3D 휴먼팩터 연구의 대부분은 시각적 불편감을 발생시키는 원인이나 이를 최소화할 수 있는 방법에 초점을 맞추었다. 그러나 입체 영상이 제공되어도 입체감을 느끼지 못하는 입체시맹(stereo blind)이 인구의 1~3%를 차지하며,^[1,2] 입체감을 일부 지각하기는 하지만 화면으로부터 튀어나오거나 화면안으로 들어가 보이는 영상들의 입체적인 깊이감을 정확히 파악하지 못하는 사람들의 비율이 인구의 20% 정도가 된다는 사실^[3]을 고려할 때 일반인들이 손쉽게 자신이 입체시 능력이 있는 지 혹은 다른 사람과 비교하여 입체시 능력이 어느 정도인지를 손쉽게 파악

저자약력

감기택 교수는 연세대학교 심리학과(1997)에서 박사학위를 받은 후 미국 Vanderbilt 대학교의 시각연구소에서 박사후 과정을 거쳐 2006년 이후 강원대학교 심리학과 교수로 재직 중이다. (kham@kangwon.ac.kr)

REFERENCES

- [1] W. Richards, Exp. Brain Res. **10**, 380 (1970).
- [2] W. Richards, J. Opt. Soc. Am. **61**, 410 (1971).
- [3] R. van Ee and W. Richards, Perception **31**, 51 (2002).

할 수 있는 검사 도구들을 개발하기 위한 휴먼 팩터 연구도 필요하다.

양안 시차에 의한 입체시 깊이와 입체시력 측정 검사

입체 영상을 즐길 수 있는 방법은 19세기 초 Wheatstone^[4]에 의해서 처음으로 제안되었다. 그림 1은 깊이가 다른 두 점 F와 P가 시야에 있을 때 각 눈으로 투사되는 영상을 도식적으로 보여주고 있다. 두 눈은 양 측면으로 떨어져 있기 때문에 대상의 깊이에 따라 각 눈에 투사된 영상들의 위치는 조금씩 달라지게 된다. 그림 1의 왼쪽에서 각 눈의 아래에 제시된 두 점은 각 눈에 투사된 영상을 보여주고 있는데 각 눈에 투사된 두 점들 간의 거리 차이 즉, 양안 시차(binocular disparity)가 발생되고 있음을 보여주고 있다. Wheatstone은 자신이 발명한 입체경(stereoscope)을 통해 양안 시차가 있는 두 개의 2D 영상 즉 입체 영상을 각 눈에 분리하여 투사하면 해당자극으로부터 생성한 깊이감을 지각하게 된다는 것을 발견하였다. 이후 입체 영상을 경험할 수 있는 다양한 방법과 도구들이 개발되었지만 양안 시차가 있는 영상을 각 눈에 분리하여 제시하는 기본 원리는 Wheatstone의 방식과 동일하다.

입체 영상으로부터 입체감을 느끼게 하는 정보는 양안 시차이므로 입체시력(stereoacuity)은 한 개인이 입체시 깊이를 지각하거나 변별할 수 있는 최소한의 양안 시차로 정의할 수 있다. 일반적으로 시각 자극의 크기는 cm와 같은 물리적인 크기로 규정하지 않는다. 왜냐하면 동일한 자극이라도 가까운 거리에서 보면 쉽게 인식할 수 있지만, 관찰거리가 멀어짐에 따라 점차 인식하기 어려워지기 때문이다. 대안적으로 외부 자극의 크기는 해당 자극이 눈으로 투사될 때 망막에 제시되는 영상의 크기로 규정할 수 있다. 그림 2에 제시되어 있는 것과 같이 동일한 크기의 자극이라도 관찰거리가 달라지면 시각도가 달라지고 그 결과 인식 정도가 달라짐을 쉽게 예측할 수 있으며, 물리적으로 크기가 다른 자극이라도 관찰거리를 조정하여 시각도를 동일하게 맞춰주면 인식 정도가 비슷해지게 된다. 양안 시차의 크기도 다른 시각 자극의 크기를 기술하는 일반적인 방법과 유사하게 시각도로 표시할 수 있다.

입체시력은 입체 영상을 관람하는 경우뿐만 아니라 일상생활에서 외부 환경에 놓여있는 대상들의 깊이를 지각하는 데 매우 중요한 정보이므로 입체시력을 평가하고 측정하는 다양한

Fig. 2. The visual angle and physical size.

검사도구들이 개발되어 왔다. (예를 들어, Stereo Fly 입체시력 검사(Stereo Optical Co, Chicago, USA)나 Randot 입체시력 검사(Stereo Optical Co, Chicago, USA)) 이러한 검사 도구들은 주로 안과와 같은 임상 장면에서 전문가들이 사용해 왔으며 편광정보를 통해 인쇄된 영상을 입체 자극으로 사용하며 편광 안경을 통해 입체 자극을 관찰하도록 만들어졌다.

인쇄된 입체 영상을 사용하는 입체시력 검사의 경우 입체 영상의 종류나 양안 시차의 크기 등을 변경시킬 수 없다는 단점을 가지고 있으며 편광을 이용하여 입체 영상을 인쇄하는 것 또한 상대적으로 검사 도구의 가격을 높이는 한 원인이 된다. 이미 대중화되어 있는 3D 디스플레이 장치를 사용하여 입체 검사를 실시할 경우 추가적인 비용없이 다양한 종류와 다양한 범위의 양안 시차를 가진 검사 자극을 통해 입체시력을 검사할 수 있다. 이미 이러한 방식을 임상 장면에도 도입하여 3D TV나 모니터를 이용하여 입체시력을 검사하려는 시도가 이루어지고 있지만,^[5,6] 다양한 3D 디스플레이 환경에서 일반인들이 이러한 검사 도구를 손쉽게 사용하기 위해서는 해결해야 할 제약점들이 있다. 예를 들어, 3D TV나 모니터에서는 영상을 조작할 수 있는 최소 단위가 한 픽셀로 제한되므로 입체 자극의 최소 양안시차도 한 픽셀의 제약을 받게 된다. 일반적으로 정상 입체시를 판단하는 양안시차의 기준이 시각으로 1 분이나 그 이하이므로 적합한 입체시력 검사가 되기 위해서는 최소한 시각도 1분¹⁾보다 작은 양안 시차를 가진 자극을 제시할 수 있어야 한다.

이론적으로 관찰 거리를 증가시킴으로써 원하는 양안 시차를 제공할 수 있지만, 일반인들이 전문가의 도움 없이 소프트웨어를 이용하여 입체 시력을 측정하는 과정에서 관찰 거리를 조정하도록 요구하기는 어렵다. 또한 주어진 환경에서 특정 시각도를 만족시킬 수 있는 충분한 관찰거리를 확보하는 것이 어려울 수도 있다. 따라서 현 3D 디스플레이 환경의 변화없이 입체시력을 검사할 수 있도록 하는 방법을 찾는 것이 필요하다.

일반적으로 TV의 시청거리가 2~3 m 정도임을 고려할 때

REFERENCES

- [4] C. Wheatstone, C. Phil. Trans. R. Soc. Lond. **128**, 371 (1838).
- [5] A. Breyer, X. Jiang, A. Rutsche and D. S. Mojon, IOVS **47**, 4842 (2006).
- [6] J. Kim, H. Yang, Y. Kim, B. Lee and J. Hwang, Am. J. Ophthalmol. **151**, 1081 (2011).

1) 시각도 1분은 대략 1 mm 길이의 자극을 약 3 m 거리에서 볼 때 해당 자극의 시각도에 해당된다.

55인치와 46인치 TV의 한 픽셀은 시각도로 1분 내외가 되므로 입체시력 측정 도구가 갖추어야 할 최소 양안 시차 조건을 대략 만족시킨다. 이와 달리 시청거리가 40~60 cm인 모니터의 경우 25인치 이상의 모니터에서 한 픽셀은 시각도 2분 이상의 값을 가지므로 관찰거리가 가까운 모니터는 기존 입체 자극을 이용하여 입체 시력을 검사하기 어렵다. 따라서 일반적인 시청조건에서 시청거리의 조정없이 적용 가능한 입체시력 검사도구를 만들기 위해서는 한 픽셀 값보다 작은 양안시차를 제공할 수 있는 입체 영상이 필요하다.

시각기제의 특성을 반영한 새로운 입체 영상 자극

우리 눈의 망막으로 투사된 영상 정보는 후두엽에 있는 시뇌로 전달된다. 시뇌에 있는 신경세포들은 줄무늬 형태를 포함하고 있는 gabor 자극에 매우 예민하게 반응한다.^[7,8] 그림 3에서 볼 수 있듯이 gabor 이미지는 밝기가 정현파 함수의 형태로 변화되는 줄무늬자극과 2차원 가우시안 함수와의 곱으로 만들어진다. 이 자극은 공간주파수, 밝기, 대비 방위 등 다양한 변수를 포함하고 있기 때문에 실험적 조작이 용이하고 시뇌 신경세포들도 민감하게 반응하므로 다양한 분야의 시각연구에 흔히 사용된다. 그러나 본 연구에서 gabor 이미지를 입체자극으로 사용하려고 하는 주된 이유는 gabor 이미지가 주기를 가지는 반복 패턴이라는 점 때문이다.

디지털 디바이스에서 영상의 위치는 픽셀 단위로 옮길 수 있다. 그러나 주기를 가지는 반복 패턴의 밝기 정점은 픽셀 단위로 위치를 변화시키므로써 그 위치를 옮길 수도 있지만, 반복 패턴의 위상만을 변화시켜도 밝기 정점의 위치를 변화시킬 수도 있다.^[9] 특히 양안시차를 탐지하는 양안시 기제는 반복 패턴의 위치 변화에 의한 양안시차에도 반응할 뿐만 아니라, 위상 변화에 의한 양안시차에도 반응^[10]하기 때문에 위상 변화를 통해 부여된 양안 시차로부터 입체시 깊이를 지각할 수 있다.

반복 패턴의 위상조절을 통해 양안 시차를 부여할 수 있다는 점의 장점은 픽셀보다 훨씬 작은 단위의 양안 시차를 부여할 수 있다는 것이다. 예를 들어, 반복 패턴의 빈도가 3이며 크기가 150픽셀인 자극의 예를 가정해보자. 이 자극의 한 주기는 50픽셀에 해당된다. 이를 위상으로 계산하면 360도가 되므로 1픽셀에 해당하는 위상변화는 7.2도가 될 것이다. 만약 7.2보다 작은 위상 차이를 가진 입체 영상을 제공했을 때 주어진 자극으로부터 입체시 깊이를 지각할 수 있다면 한 픽셀보다 작은 양안시차로 입체시 깊이를 생성할 수 있음을 의미한다. 이는 충분한 관찰거리가 확보되지 않아 한 픽셀에 해당되는 시각도가 매우 큰 상황에서도 gabor 이미지의 위상을 조

Fig. 3. An example of Gabor patch, which is a sinusoidal grating with a Gaussian window.

작함으로써 측정에 필요한 양안 시차를 산출할 수 있음을 의미한다.

실험: 새 입체시력 검사의 타당성 확인

Gabor 이미지로 만들어진 입체 영상으로 한 픽셀값보다 작은 양안시차를 부여하는 방식의 입체시력 검사가 개인의 입체시력을 적절하게 평가할 수 있는지를 판단하기 위하여 기존의 무선점 자극으로 만들어진 입체시력 검사와 gabor 이미지를 이용하여 만들어진 입체시력 검사의 결과를 비교하였다. 기존 무선점 입체 자극의 양안시차는 1픽셀에서 6픽셀까지 1픽셀 단위로 변화시켰으며, 이 입체 영상을 55인치 TV를 통해 제시한 후 3 m 거리에서 관찰하면서 입체시력을 검사하였다. 이에 반해 gabor 이미지를 이용한 입체 자극은 27인치 3D 모니터에 제시한 후 60 cm의 거리에서 관찰하였다. Gabor 이미지의 양안 시차는 시각도의 측면에서 무선점 자극에 포함된 양안 시차의 시각도와 동등하게 대응되었다. 이를 위해 gabor 이미지의 양안시차가 한 픽셀보다 더 큰 경우 픽셀의 정수배에 해당되는 양안 시차는 gabor 이미지의 픽셀값을 변화시키므로써 부여했고, 픽셀 값보다 작은 양안 시차는 gabor 이미지의 위상을 변화시키므로써 부여했다.

그림 4는 입체시력 측정을 위한 다른 두 종류의 자극을 보여주고 있다. 위의 그림은 무선점으로 구성된 입체 영상(random dot stereogram)을 보여주고 있으며 점선은 입체 안경을 끼고 자극을 보았을 때 배경 표면과 깊이가 다른 표면들로 지각되는 영역을 가상적으로 보여주기 위해서 제시되었으나 실제 자극에는 제시되지 않았다. 아래 그림은 gabor 이미지로 만들어진 입체영상을 보여주고 있다. 두 자극에서는 모두 배경 표면과 깊이가 다른 4개의 영역이 주어지는데 그 중 세 영역

REFERENCES

- [7] A. B. Watson, H. B. Barlow and J. G. Robson, *Nature* **302**, 419 (1983).
- [8] U. Polat and C. W. Tyler, *Vis. Res.* **39**, 887 (1999).
- [9] A. Toet and J. J. Koendrink, *Vis. Res.* **28**, 133 (1988).
- [10] A. Anzai, I. Ohzawa and R. D. Freeman, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **94**, 5438 (1997).

Fig. 4. Random-dot stereogram from conventional stereotest (top) and the stereogram using gabor patches from this study (bottom).

의 깊이는 동일하였지만 나머지 한 영역의 깊이는 다르게 제시되었다. 관찰자들의 과제는 네 영역 중 깊이가 다른 한 영역을 발견하여 반응하는 것이었다. 목표 영역의 위치는 시행마다 무선적으로 선택되었다.

200명의 관찰자들은 최소 1개월의 시간 간격을 두고 TV(RDS)와 모니터(gabor 입체 영상)에서 입체시력 검사를 받았으며 양안 시차의 수준에 따라 각 참가자의 정답을 평균이 그림 5에 제시되어 있다. 두 검사 모두에서 양안 시차가 커질수록 정답율도 높아지는 것으로 나타났지만 평균 정답율이 80%를 넘지 못하였다. 이는 입체 영상의 깊이를 정확하게 보지 못하는 입체시맹이나 입체시 이상자들의 반응이 포함되었기 때문으로 추정된다. 두 다른 자극을 이용하여 평가한 각 개인의 입체시력들 간의 상관관계수는 .545로 통계적으로 유의한 것으로 나타났다.

Fig. 5. Results from stereo test experiment.

결론

본 자료는 gabor 이미지의 위상값을 이용하여 양안 시차를 조작한 입체시력 검사가 개인의 양안 시차를 적절하게 평가할 수 있음을 확인하였다. 특히 한 픽셀 이하의 양안 시차를 조작할 수 있으므로 해서 관찰거리의 변화없이 영상의 변화만으로 다양한 양안 시차를 가진 입체 영상을 만들 수 있다. 이를 통해 일반인들도 자신의 3D 디스플레이 환경을 변화시키지 않고 손쉽게 자신의 입체시력을 평가할 수 있을 것으로 기대한다.

Acknowledgement

본 연구는 산업통상자원부 및 한국산업기술평가관리원의 산업원천기술개발 사업의 일환으로 수행되었음 [2010-10038745, 인체 안전성을 위한 3D 기기/장비 중심의 휴먼팩터 연구].