한국심리학회지 : 인지 및 생물
The Korean Journal of Cognitive and Biological Psychology
2021, Vol. 33, No. 3, 121-131

Original Article
http://dx.doi.org/10.22172/cogbio.2021.33.3.001
ⓒ The Korean Society for Cognitive and Biological Psychology

Three-dimensional depth perception in augmented reality*

Sung Jun Joo†, Ju Hyeong Lee

Department of Psychology, Pusan National University

Augmented reality (AR) is one of the essential technologies for the fourth industrial revolution. In AR, virtual objects are embedded in the physical reality and observers can freely interact with virtual objects as well as physical objects. In order to create a realistic and immersive AR environment, three-dimensional (3D) depth perception of virtual objects must be errorless or at least with very little error. However, unlike virtual reality, 3D depth perception of virtual objects in AR has been less studied and the literature shows mixed results as to whether 3D depth perception of virtual objects is overestimated or underestimated. We reviewed 3D depth perception of virtual objects in AR. We discuss in depth how the 3D cues that the visual system uses to calculate or extract 3D egocentric distance (the distance between an observer and an object) may differ in AR. Specifically, binocular disparity and vergence might be the most important cues that cause 3D depth perception errors in AR. We introduce a new display technology, which might provide more immersive AR by resolving some problems in AR such as vergence-accommodation mismatch.

Keywords: augmented reality, 3D perception, depth perception, depth matching

1차원고접수 21.02.17; 수정본접수: 21.04.13; 최종게재결정 21.05.03

가상・증강현실(virtual/augmented reality)은 인간의 3차원 시지각을 모사하여 시각 시스템이 실제로 존재하지 않는 물체인 가상 물체에 대한 3차원 시각 경험을 하도록 만든 환경을 일컫는다. 최근 4차 산업혁명의 등장으로 인해 가상・증강현실에 대한 관심이 높아지고 있다. 가상・증강현실은 4차 산업혁명의 핵심 9대 기술(사물인터넷, 클라우드, 빅데이터, 모바일 5G, 인공지능, 블록체인, 3D프린팅, 로봇공학, 가상・증강현실) 중 하나이다(Statistics Korea, 2018). 과거에는 실험실이나 영화에서만 가능할 것만 같았던 기술이었지만, 4차 산업 기술의 발달에 힘입어 가상・증강현실 기기들이 상용화되고 있다. 가상・증강현실 기기를 활용한 광고, 디자인, 운전, 게임, 소셜네트워크, 여행, 교육, 예술, 임상 및 의학 등 실생활 속의 응용 분야에 대한 적용 가능성이 대두되고 있다(Ling, 2017). 구체적으로, 교육 및 학습 측면에서는 수학이나 과학에서 기하학적 구조를 이해할 때 유용한 도구로 사용할 수 있다(Kaufmann & Schmalstieg, 2002; Huang, Ball, Francis, Ratan, Boumis, & Fordham, 2019). 의학 분야에서는 자기공명영상장치 등 뇌영상 기술을 이용하여 획득한 환자의 3차원 해부학적 이미지를 가상현실 환경에 투영하여 수술을 돕는 용도로 활용될 수 있다(El-Seoud, Mady, & Rashed, 2019). 심리학 분야에서는 공포증이나 비만에 대한 행동 치료에 대한 활용 가능성이 제시되었다(Ventura, Baños, Botella, & Mohamudally, 2018; Pallavicini, Serino, Cipresso, Pedroli, Chicchi Giglioli, Chirico, & Riva, 2016; Chicchi Giglioli, Pallavicini, Pedroli, Serino & Riva, 2015).

* 이 논문은 부산대학교 기본연구지원사업에 의하여 연구되었음.
† 교신저자: 주성준, 부산대학교 심리학과, (46241) 부산광역시 금정구 부산대학로 63번길 2 사회관 119호
E-mail: sjjoo@pusan.ac.kr
www.kci.go.kr

이렇듯 가상·증강현실을 활용한 산업 및 심리학 연구에 대한 응용 가능성이 높아지고 있지만, 사실적이고 몰입감 있는 가상·증강현실을 구현하기 위한 기술은 아직 개발 단계이다. 지금까지의 가상·증강현실은 광학, 컴퓨터과학 등 공학적인 기술 개발이 주도적 역할을 해 왔다. 하지만 가상·증강현실은 3차원 시지각에 바탕을 둔 기술이기 때문에, 3차원 환경에 제시된 자극에 대한 시지각(visual perception) 및 시각 인지(visual cognition) 연구를 통한 기술 개발이 필요하다. 3차원 환경에 존재하는 실제 물체들 가운데 가상 물체를 어떻게 정확하게 제시할 것인가에 대한 답을 얻기 전까지는 몰입감 있는 증강 현실 시스템을 구현할 수 없기 때문이다.

가상·증강현실 환경에 제시된 가상 물체의 3차원 시지각에 대한 이해는 가상·증강현실 기술 개발에 필요할 뿐 아니라 3차원 시지각의 기제에 대한 연구에 도움을 줄 수 있다. 특히 가상·증강현실을 활용한 지각 및 인지심리학 연구는 인위적으로 만들어진 실험실 공간에서 수행되는 자연적이지 않은 연구의 한계를 극복하고, 현실감 있는 가상 환경 안에서 연구를 수행함으로써 보다 더 생태학적으로 타당한 연구 결과를 도출할 수 있다. 예를 들면, 증강현실 기기와 같은 발전된 3차원 디스플레이는 기존의 시지각 연구에서 디스플레이와 관찰자의 눈 간의 거리를 고정하여 실험해야 하는 제약에서 벗어나, 관찰자의 머리를 자유롭게 움직일 수 있는 상황에서 물체의 3차원 움직임 지각 처리 과정에 대한 연구를 수행할 수 있는 장점이 있다(Fulvio & Rokers, 2017; Fulvio, Miao, & Rokers, 2021). 일상의 환경에서 관찰자가 자유롭게 움직이며 경험하는 움직임 지각 처리 과정은 가상의 공간에서 움직이는 관찰자가 경험하는 움직임 착시 현상을 조사함으로써 연구가 가능하다(Bruder, Steinicke, Wieland, & Lappe, 2012). 또한, 색 대비 효과(color contrast effect)와 같은 하위 수준의 지각처리 과정의 연구에 있어서도 물체의 표면을 3차원 공간에서 자유롭게 조절하여 실험을 진행할 수 있기 때문에, 이전의 이론과는 다른 새로운 해석을 할 수가 있다(Soranzo, Lugrin, & Wilson, 2013).

본 논문에서는 증강 현실 기술을 중심으로 가상 물체의 3차원 깊이 지각에 대한 연구를 개관하고, 스테레오 카메라 모델에 의해 계산된 가상 물체의 3차원 깊이와 인간의 3차원 깊이 지각이 어떻게 다른지 시각 시스템이 사용하는 3차원 깊이 지각 단서와의 연관성에 대해 논의할 것이다. 특히 현재 가장 많이 상용화가 되어 있는 입체 근안 디스플레이(near-eye display)를 활용한 광학 투시형(optical see-through) 디스플레이를 기반으로 한 증강현실 환경에서의 3차원 깊이 지각, 특히 관찰자와 가상 물체 간의 3차원 깊이(egocentric distance)에 대해 초점을 맞출 것이다.

증강 현실이란?

증강현실이란 현실(reality)과 가상(virtuality)의 연속선 상(Figure 1)에서 실제의 물체와 가상의 이미지(가상 물체)가 공존하는 환경을 의미한다(Drascic & Milgram, 1996; Azuma, 1997). 관찰자가 현실의 물리적 환경을 지각할 수 없는 가상현실과는 달리 증강현실에서는 관찰자가 현실의 물리적 환경과 가상의 물체를 동시에 볼 수 있다. 가상현실과는 달리 증강현실에서는 물리적 현실과 가상의 물체가 서로 상호작용을 할 수 있다. 따라서 현실감 있는 몰입식 증강현실을 위해서는 현실 세계에 제시되는 가상 물체에 대한 정확한 3차원 시지각이 중요하다.

지금까지 상용화된 증강현실 기술은 크게 입체 근안 디스플레이(near-eye display) 사용 여부에 따라 크게 두 가지로 구분할 수 있다. 입체 근안 디스플레이를 장착한 기기를 사용하는 투시형 디스플레이(see-through display; STD)는 현실 세계를 어떻게 투시하느냐에 따라 광학 투시형 디스플레

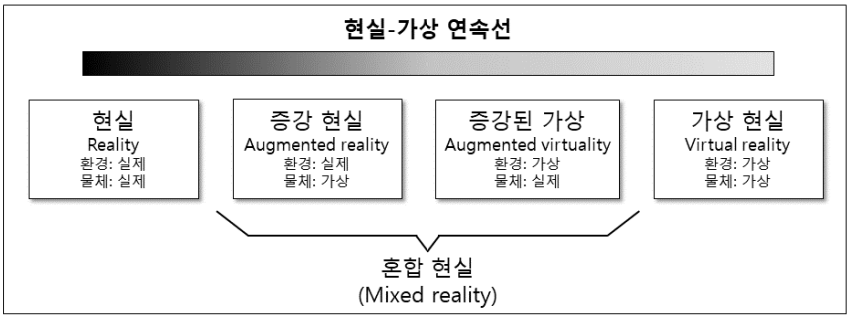

Figure 1. The continuum between reality and virtual reality. The continuum ranges from reality to virtual reality depending on whether the environment and objects are virtual or real. Mixed reality is the condition where reality and virtuality is mixed between the environment and objects. This figure is modified from Drascic & Milgram (1996).

www.kci.go.kr

이(optical STD)와 비디오 투시형 디스플레이(video STD)로 나뉜다. 광학 투시형 디스플레이 기기를 착용한 사용자는 투명 글래스를 통해 현실 세계를 본다. 광학 투시형 디스플레이 기기는 글래스에 설치된 양안의 투명 스크린에 가상의 물체를 제시함으로써 증강현실을 구현한다(Microsoft HoloLens, Magic Leap, Epson Moverio 등). 비디오 투시형 디스플레이 기기를 착용한 사용자는 카메라를 통해 실시간으로 입력되는 현실 세계의 이미지를 근안 디스플레이를 통해 본다. 비디오 투시형 디스플레이 기기는 컴퓨터 그래픽에 의해 만들어진 가상 물체와 현실 세계의 이미지를 합성하여 만든 영상을 사용자의 근안 디스플레이에 제시함으로써 증강현실을 구현한다. 비디오 투시형 디스플레이는 현실 세계의 영상을 실시간으로 처리하여 가상 물체와 합성해야 하는 기술적인 어려움이 있다. 투시형 디스플레이 기술을 활용한 증강현실에서 사용자들은 안경 형태 혹은 머리 착용 디스플레이(head mounted display; HMD) 형태의 기기를 착용한다.

입체 근안 디스플레이 없이 가상현실을 구현하는 방법으로는 공간증강현실(spatial augmented reality; SAR) 기술이 있다. 이 기술은 컴퓨터 그래픽으로 구현한 가상 물체를 프로젝터 시스템을 사용하여 현실 세계의 공간에 직접 제시한다. 사용자는 나안으로 현실 세계와 프로젝터에 의해 투사된 가상 물체를 동시에 지각한다. 따라서 이 기술은 투시형 디스플레이 기술과는 다르게 작은 디스플레이 패널을 사용하지 않기 때문에 넓은 관측시야(field-of-view; FOV)를 구현할 수 있고, 사용자가 장치를 착용하지 않아도 되어 다수의 사용자가 동시에 사용할 수 있다는 장점이 있다(Bimber & Raskar, 2005). 하지만 카메라-프로젝터 시스템이 설치되어 있는 장소에서만 가상의 이미지를 볼 수 있고, 개인이 가상의 물체와 상호작용 할 수 없다는 단점이 있다.

3차원 깊이 지각 측정 실험 패러다임

가상·증강현실 환경에서 관찰자로부터 가상 물체까지의 3차원 깊이(egocentric distance)를 측정하는 방법으로 다양한 과제가 사용되었다(Table 1). 각 과제에 대해 간략하게 살펴보면, 구두 보고(verbal report) 과제에서는 관찰자가 지각된 거리를 보고한다. 관찰자는 관찰자에게 익숙한 거리 단위로

Table 1. The protocol to measure 3D depth perception of virtual objects

Depth estimation protocol	Task	References
Verbal report	Verbally report the 3D depth estimation of virtual objects.	Swan et al. (2007) Palmisano et al. (2010) Philbeck & Loomis (1997)
Blind walking	After perceiving a vistual object, walk toward the position of the virtucal object while covering the eyes.	Swan & Livingstone (2007) Jones et al. (2008) Rosales et al. (2019) Creem-Regehr et al. (2005) Jones et al. (2009) Philbeck & Loomis (1997)
Perceptual matching: method of adjustment	Match the 3D depth between a virtual and a physical object.	Swan et al. (2007) Diaz et al. (2017) Gao et al. (2019) Durgin et al. (1995) Kytö et al. (2013) Tittle et al. (1995) Norman et al. (2000) Tittle et al. (1998) Mclntire et al. (2014) Wanger et al. (1992)
Perceptual judgment: forced choice	Make a decision whether a virtual object or a physical object is closer(or farther); or at the same or different depth.	Kytö et al. (2013) Livingston et al. (2003) Rolland et al. (1995)

www.kci.go.kr

가상 물체의 지각된 거리를 구두로 보고한다. 이 과제에서는 관찰자가 응답에 대한 피드백을 받지 못한다. 따라서 거리 측정에 익숙하지 않은 관찰자는 이 과제 수행에 있어서 어려움을 겪을 수 있으며, 또한 거리 보고에 있어서 개인의 성향에 따른 편향(bias)이 발생할 수 있다. 눈 가리고 걷기(blind walking) 과제에서는 관찰자가 제시되는 가상 물체에 대한 거리를 지각하고 난 후 눈을 가린 채로 가상 물체의 위치가 있을 것으로 기대되는 곳까지 걸어 간다. 이 과제의 수행은 관찰자의 피로도 정도와 노력 정도에 의해 영향을 받을 수 있다. 다음으로는 증강현실 환경에서의 3차원 깊이 지각 연구에 가장 빈번하게 사용되는 조절법을 통한 지각적 매칭(perceptual matching) 과제가 있다. 이 과제에서 관찰자는 조절법을 사용하여 기준이 되는 3차원 깊이의 물체와 동일한 3차원 깊이로 지각될 때까지 가상 물체의 3차원 깊이를 스스로 조작하여 보고한다. 과제를 수행하는 동안 관찰자는 자신이 스스로 조작하는 가상의 물체의 3차원 깊이의 변화를 경험할 수 있기 때문에 이 과제는 위의 두 과제와는 다르게 자신의 수행에 대한 피드백을 제공받을 수 있다는 장점이 있다. 마지막으로 강제 선택(forced choice)을 통한 지각적 판단(perceptual judgment) 과제가 있다. 이 과제를 수행하는 동안 관찰자는 2개의 가상 물체 중 또는 가상 물체와 실제 물체 중, 어느 것이 더 가깝게(또는 멀게) 지각되는지 또는 동일하게 지각되는지 판단하여 보고한다. 이 과제를 통해 특정한 3차원 깊이에 놓인 가상의 물체의 3차원 깊이 변화에 대한 민감도를 측정할 수 있다. 하지만 가상 물체의 절대적인 3차원 깊이 지각 자체를 측정하는 것은 아니다.

가상 물체의 3차원 깊이 렌더링(rendering): 스테레오 카메라 시스템 모델

가상·증강현실 환경에 제시되는 가상 물체의 3차원 깊이는 어떻게 계산될 수 있을까? 두 눈을 핀홀(pinhole) 카메라라고 가정하면, 스테레오 카메라 시스템에 의해 투영된 물체의 두 이미지의 픽셀 부등(pixel disparity)과 3차원 깊이와의 관계에 대한 모델을 만들 수가 있다. 이 모델은 스테레오 이미징에 광범위하게 사용되고 있다(Hartley & Zisserman, 2003). 가상·증강현실 시스템에서도 기본적으로 가상 물체의 3차원 깊이를 표현하기 위해 두 눈의 디스플레이에 제시되는 가상 물체의 픽셀 부등을 이 모델을 사용하여 계산한다.

스테레오 카메라 시스템 모델에 의해 계산된 가상 물체의 3차원 깊이 지각은 제시하고자 하는 3차원 깊이와 차이가 있다. 가상현실 환경에서 제시된 가상 물체는 제시하려고 하는 3차원 깊이보다 더 가깝게 지각된다(과소추정; underestimation)고 알려져 있다(El Jamiy & Marsh, 2019). 가상현실 환경에서 사용자는 가상의 3차원 공간에 제시된 가상 물체를 지각하고 조작하기 때문에, 가상 물체의 3차원 깊이 지각 오차는 몰입감 있는 가상현실 환경 조성에 큰 문제가 되지 않는다.

하지만 가상현실과는 달리 물리적 물체와 가상 물체가 공존하는 증강현실 환경에서 가상 물체의 3차원 깊이 지각 오차는 몰입감 있는 증강현실 환경을 조성하기 위해 해결해야 하는 매우 중요한 문제이다. 가상현실 환경에서의 3차원 깊이 지각 연구 결과와는 다르게 증강현실 환경에서의 가상 물체에 대한 3차원 깊이 지각 연구 결과는 혼재되어 있다 (Table 2).

스테레오 카메라 모델에 의해 계산된 가상 물체의 깊이와 인간의 3차원 깊이 지각의 차이는 시각 시스템의 3차원 깊이 지각이 단순히 양안의 망막 상에 맺히는 이미지의 차이를 모사한 스테레오 카메라 모델로 설명될 수 없음을 의미한다. 그렇다면 시각 시스템이 3차원 깊이 지각을 위해 사용하는 단서들은 무엇이고, 각 단서들이 증강현실 환경에 제시된 가상 물체의 3차원 깊이 지각에 미치는 영향은 무엇인가?

3차원 깊이 지각 단서

3차원 깊이 지각을 위해 인간의 시각 시스템이 사용하는 단서에는 양안(binocular) 단서, 안구운동(oculomotor) 단서, 단안(monocular) 단서가 있다. 양안 단서란 두 눈의 망막에 맺히는 이미지의 위치 차이(양안부등; binocular disparity)를 사용하여 3차원 깊이를 계산할 수 있는 단서이다. 양안부등은 3차원 공간에서 응시점(fixation point)으로부터 물체가

Table 2. 3D depth perception errors of virtual objects in augmented reality

Underestimation	Overestimation	Mixed results
Diaz et al. (2017)	Rolland et al. (1995)	Wu et al. (2015)
Jones et al. (2009)	Rosales et al. (2019)	Jones et al. (2008)
Gao et al. (2019)		Swan et al. (2007)

www.kci.go.kr

얼마나 떨어져 있는지 계산할 수 있는 단서이다(Cumming & De Angelis, 2001; Parker, 2007; Poggio, 1995; Qian, 1997). 관찰자로부터 응시점까지의 깊이를 알면, 양안부등 단서를 통해 계산된 깊이 정보와 관찰자와 응시점 간의 깊이 정보를 통합하여 관찰자로부터 물체까지의 거리를 계산할 수 있다(Pouget & Sejnowski, 1994).

관찰자와 응시점 간의 깊이 정보를 추출하기 위한 단서로는 안구운동 단서가 있다. 안구운동 단서는 안구의 위치와 눈 근육의 긴장을 감지하는 것을 통해 응시점까지의 거리를 추출하게 해 주는 단서이다. 관찰자가 응시하는 물체의 거리가 가까워질수록 두 눈은 안쪽으로 모이는데, 이 정보를 수렴(convergence)이라 한다. 또한, 관찰자와의 거리가 가까운 곳에 있는 물체에 초점을 맞추기 위해서는 수정체(lens)를 두껍게 만들어야 하고, 먼 곳에 있는 물체에 초점을 맞추기 위해서는 수정체를 얇게 만들어야 한다. 이렇게 수정체의 초점을 바꾸는 것을 조절(accommodation)이라 한다. 사전 연구에 의하면, 조절 보다는 수렴 각도(vergence angle)가 관찰자로부터 응시점까지의 거리를 계산하는 데에 가장 중요한 단서이다(Foley, 1980; Mon-Williams & Tresilian, 1999, 2000; von Hofsen, 1976). 하지만 수렴이 관찰자로부터 응시점까지의 절대적 3차원 깊이의 실제적(veridical) 판단에 사용이 되는지에 대해서는 더 많은 연구가 필요하다. 최근 다른 단서의 영향을 통제하고 수렴 각도만을 조절하여 근거리(20-50cm) 3차원 깊이 판단 과제를 수행한 연구에서는 3차원 깊이 지각이 수렴과는 상관없는 것으로 보고되었다(Linton, 2020). 시각 시스템이 어떠한 신경 기제를 통해 양안 부등과 수렴의 상호작용을 처리하여 실제 3차원 깊이를 계산하는지에 대한 추후 연구가 필요한 부분이다(Mon-Williams, Tresilian, & Roberts, 2000).

단안 단서란 단안의 이미지로부터 3차원 깊이를 추출할 수 있는 단서이다. 단안 단서 중 회화 단서(pictorial cue)는 망막상의 2차원 이미지에서 3차원 깊이를 추출할 수 있는 단서를 말한다. 망막 상 이미지에 나타난 상대적 높이, 상대적 크기, 중첩, 결 기울기, 선형 조망, 그림자 등의 단서를 통해 2차원 이미지에 있는 물체들 간의 상대적인 3차원 깊이 정보를 추출할 수 있다. 회화 단서가 독립적으로 관찰자로부터 물체까지의 절대적인 거리 판단에 사용되는 단서인지는 분명하지 않다(Gogel & Da Silva, 1987, Vishwanath, 2014). 단안 단서 중 관찰자의 움직임에 의해 생성되는 단서로는 운동시차(motion parallax)가 있다. 운동시차는 관찰자의 움직임 때문에 발생하는 서로 다른 3차원 깊이에 있는 물체들 간의 지각된 속도의 차이를 의미한다. 운동시차를 활용하여 3차원 깊이 판단 과제를 훈련시켰을 때 관찰자의 3차원 깊이 판단 수행이 증가하는 것으로 보아(Ferris, 1972), 운동시차 단서가 3차원 깊이 판단에 영향을 주는 단서임은 분명하다. 하지만 운동시차도 회화 단서와 마찬가지로 절대적인 3차원 깊이를 제공하는 단서임이 불분명하다. 많은 연구자들은 운동시차가 관찰자와 물체 간의 3차원 깊이 계산에 사용되는 단서라는 것에 의문을 가진다(Creem-Regehr, Stefanucci, & Thompson, 2015; Thompson, Fleming, Creem-Regehr, & Stefanucci, 2011).

지금까지 살펴본 바를 종합하면 본 논문에서 논의하고 있는 증강현실 환경에서의 관찰자와 가상 물체 간 3차원 깊이 지각은 양안부등과 수렴, 두 단서에 의해 결정될 가능성이 높다. 따라서 지금까지 밝혀진 증강현실 환경에서의 3차원 거리 지각 오차는 이 두 단서의 영향으로 발생하였을 것이다. 먼저, 가상 물체의 픽셀 부등을 계산하는 스테레오 카메라 모델은 시각 시스템이 사용하는 3차원 깊이 지각 단서와는 차이가 있다. 시각 시스템의 입체시(stereopsis)는 두 물체 간의 절대 부등(absolute disparity)의 차이인 상대 부등(relative disparity)에 의존한다(Erkelens & Collewijn, 1985; Parker, 2007; Westheimer, 1979). 하지만 스테레오 카메라 모델은 두 물체가 양 스크린에 투사(projection)되는 이미지의 차이 정보만을 픽셀 부등의 형태로 나타내기 때문에 가상 물체에 대한 상대 부등을 계산할 수 없다. 이는 증강현실 환경에서 관찰자가 어느 지점을 응시하고 있는지 알 수 없기 때문이다. 다음으로 수렴 단서 측면에서, 스테레오 카메라 모델을 통해 계산된 픽셀 부등을 가진 가상 물체에 대한 수렴이 실제 물체를 응시할 때의 수렴과 동일한 수렴 각도를 가지는지가 불분명하다. 또한, 관찰자가 실제 3차원 환경에서 자유롭게 움직이는 증강현실 환경에서 응시 오차, 망막 상의 움직임 등 불완전한 응시(gaze)와 수렴(Steinman, Cushman, & Martins, 1982)에 따른 3차원 깊이 정보를 시각 시스템이 어떻게 활용하는지에 대한 연구도 수반되어야 한다. 시각 시스템이 사용하는 3차원 환경의 실제 물체와 증강현실 환경의 가상 물체에 대한 양안부등과 수렴 단서 정보가 어떻게 다른지 밝히는 것은 증강 현실 환경에서의 3차원 시지각을 이해하기 위해서 수행해야 하는 매우 중요한 연구 문제이다.

동공 간 거리의 영향

증강현실 환경에서 스테레오 카메라 모델을 사용하여 가상 물체의 3차원 깊이를 조작한 초기 연구는 가상 물체에 대한

www.kci.go.kr

비교적 정확한 3차원 깊이 지각을 보여주었다(Rolland et al., 1995; Rolland, Meyer, Arthur, & Rinalducci, 2002). 연구자들이 직접 제작한 초기 시제품(prototype) 증강현실 시스템을 활용하여 0.8 m와 1.2 m에서 실제 물체와 가상 물체의 거리를 판단하는 과제를 수행한 결과, 참가자들은 가상 물체의 3차원 깊이 지각은 평균 4 cm(0.8 m 실제 거리에 대해)와 5.5 cm(1.2 m 실제 거리에 대해) 정도 과대추정(overestimation)하는 결과를 보였다(Rolland et al., 1995). 같은 연구자들의 추후 연구에서는 좀 더 발전시킨 증강현실 기기를 사용하였고, 0.8 m의 실제 거리에 대해 가상 물체의 3차원 깊이 지각의 오차가 1 cm 이하로 나타나는 결과를 보고하였다(Rolland et al., 2002).

한편, 상용화된 광학 투시형 증강현실 기기(Epson Moverio BT-100)를 사용한 최근 연구는 가상 물체의 3차원 깊이 지각에 대한 초기 연구에 비해 복잡하고 실망스러운 결과를 보고하고 있다(Wu et al., 2015). 가장 먼저 눈에 띄는 결과는 Rolland 등(1995, 2002)의 초기 연구와는 다르게 가상 물체에 대한 3차원 깊이 지각 오차의 범위가 커졌다는 것이다. Wu 등(2015)의 연구에서 가장 큰 3차원 깊이 지각 오차를 가진 관찰자는 1.7 m 거리에서 26 cm 정도의 오차를 보였다. 같은 관찰자는 1.2 m 깊이에 대해서는 17 cm 정도 가상 물체의 3차원 깊이를 과대추정하였다. Wu 등(2015)의 연구 결과에서 주목해 보아야할 중요한 결과는 가상 물체의 3차원 깊이 지각 오차에 개인차가 있었다는 것이다. 어떤 관찰자는 3차원 깊이가 증가함에 따라 오차도 과대추정의 방향으로 선형적 증가를 보였다. 다른 관찰자는 3차원 깊이가 증가함에 따라 오차도 선형적으로 증가하긴 했지만, 3차원 깊이 지각 오차는 과소추정의 방향으로 증가하였다. 어떤 관찰자들은 3차원 깊이와 깊이 지각 오차 간에 상관관계가 없었다.

Wu 등(2015)의 연구와 초기 증강현실 연구의 차이점은 무엇일까? Rolland 등(1995, 2002)의 연구에서는 연구자들이 직접 제작한 시제품을 사용하여 가상 물체의 3차원 깊이 계산 모델(Robinett & Rolland, 1991)에 필요한 동공간 거리(interpupillary distance; IPD)에 따라 양안의 디스플레이 위치를 조절할 수 있었지만, Wu 등(2015)은 양안의 디스플레이 위치를 조절할 수 없는 상용화된 기기를 사용하여 동공간 거리의 차이 때문에 발생하는 오류를 통제할 수 없었다. 이는 계산된 가상 물체의 픽셀부등에 따른 3차원 깊이가 관찰자마다 달라질 수 있다는 것을 의미한다. 수렴의 측면에서도 디스플레이의 같은 픽셀에 제시된 물체의 수렴 각도가 동공 간 거리에 따라 달라질 수 있다. 아쉬운 것은 Wu 등(2015)의 논문에서는 관찰자들의 동공간 거리를 보고하고 있지 않아 동공간 거리의 개인차가 3차원 깊이 지각 오차에 미치는 영향에 대해 알 수 없다.

이러한 결과는 광학 투시형 근안 디스플레이를 사용하는 증강 현실에 제시하는 가상 물체를 조작할 때 시각 시스템이 사용하는 양안단서와 안구운동 단서의 영향뿐만 아니라 디스플레이와 동공간 거리와 같은 관찰자의 특성 간의 상호작용도 동시에 고려해야 함을 의미한다. 실제로 같은 양안부등에 대해 동공간 거리가 큰 관찰자는 동공간 거리가 작은 관찰자보다 지각된 3차원 깊이 추정 정도가 상대적으로 작게 나타났다(Kham & Lee, 2002). 또한 같은 3차원 깊이에 대한 지각적 대응(mapping)을 위해 필요한 픽셀 부등의 양은 양안의 디스플레이를 동공간 거리에 맞게 교정하였을 때, 동공간 거리에 의한 함수로 표현될 수 있다(Livingstone, Ai, & Decker, 2009). 최근 홀로렌즈2와 같이 시선 추적(eye tracking) 기술을 내장하여 사용자가 직접 동공간 거리를 측정하지 않고 소프트웨어를 활용하여 사용자의 동공간 거리를 예측하여 가상 물체의 3차원 깊이를 계산하는 기기들이 소개되고 있다. 이러한 발전된 기기들을 사용하여 가상 물체의 실제적(veridical) 3차원 깊이 지각을 검증하는 것이 필요하다.

단안 단서의 영향

위에서 논의한 바와 같이 단안 단서는 2차원 이미지에 기반을 둔 3차원 깊이 지각 단서이지만 실제의 3차원 깊이를 계산하는 데에 사용되기보다는 물체의 상대적 3차원 깊이를 추정하는 단서일 가능성이 높다. 따라서 본 논문에서 논의하는 가상 물체의 3차원 깊이(관찰자로부터 가상 물체까지의 거리)를 단안 단서를 사용하여 계산할 수 있는지는 의문이다. 단안 단서를 조작하여 가상 물체의 3차원 깊이 지각을 조사한 연구에서는 대기 조망, 그림자, 결 기울기 등과 같은 단서의 추가는 가상 물체의 3차원 깊이 지각을 향상시키지 않았지만, 그림자 단서의 추가는 가상 물체에 대한 3차원 깊이 지각 오차를 현저히 줄이는 효과를 보고하였다(Diaz et al., 2017; Gao et al., 2019). 이 연구에서는 가상 물체를 바닥으로부터 수직으로 띄워 공중에 제시하였다. 공중에 제시된 물체는 3차원 깊이에 대한 기준점(reference point)이 없기 때문에, 바닥에 제시된 가상 물체보다 공중에 제시된 가상 물체에 대한 3차원 깊이 지각 오차는 더 크다(Rosales et al, 2019; Swan et al., 2007). 따라서 다른 단안 단서의 추가는 3차원 깊이 지각에 영향을 주지 않지만, 바닥에 추가

www.kci.go.kr

된 그림자 단서는 가상 물체의 3차원 깊이에 대한 기준점의 역할을 할 수 있기 때문에 3차원 깊이 지각 오차가 줄어든 것이다. 그림자 단서가 가상 물체의 절대적 3차원 깊이를 계산하는 데에 사용되기보다는 관찰자가 그림자의 위치를 바탕으로 거리 보고를 했다고 보는 것이 더 타당하다. 또한, 가상 물체가 배경을 얼마나 가리는지를 조작한 연구에서 가림 단서의 양에 따라서는 가상 물체의 지각된 거리가 차이가 나지 않았다(Ellis & Bucher, 1994). 같은 연구에서 저자들은 실제 물체를 가상 물체와 동일한 깊이에 제시하였을 때와 실제 물체를 가상 물체보다 30 cm 앞에 제시하였을 때 가상 물체의 3차원 깊이 지각을 측정하였는데, 실제 물체가 가상 물체보다 더 가까이 제시되었을 때 가상 물체에 대한 과소추정의 정도가 더 높게 나타났다(Ellis & Bucher, 1994). 저자들은 이 결과를 수렴의 변화로 설명하는데, 시선추적 장치 등을 이용하여 실제로 수렴의 변화가 나타나는지 확인해볼 필요가 있다.

물체간 거리 지각

본 논문의 주된 논의점은 아니지만, 증강현실 환경에 제시된 가상 물체의 3차원 깊이 지각에는 관찰자와 가상 물체간의 3차원 깊이(egocentric distance) 지각뿐만 아니라, 3차원 공간 안에 제시된 가상 물체간의 거리(exocentric distance) 지각도 중요한 문제이다. 아직 증강현실 환경에 제시된 가상 물체간, 가상 물체와 실제 물체간의 거리 지각에 대한 연구는 많이 수행되어 있지 않다. 홀로렌즈를 사용하여 3차원 공간의 두 물체간 거리를 조사한 연구에서는 가상 물체간이냐 가상 물체와 실제 물체간이냐 여부와 상관없이 두 물체간 거리를 과대 추정하는 경향을 보고하였다(Peillard, Argelaguet, Normand, Lécuyer, & Moreau, 2019). 한 가지 흥미로운 결과는 가상 물체간 거리지각의 과대 추정 정도가 실제 물체간 거리 지각의 과대 추정 정도보다 더 작았다. 이러한 결과는 관찰자와 가상 물체간의 3차원 깊이뿐 아니라 가상 물체간의 거리 지각도 실제 물체의 3차원 시지각과 다르다는 것을 시사한다. 증강현실 환경에 제시된 여러 가상 물체에 대한 3차원 깊이(egocentric distance)와 물체간 거리(exocentric distance)에 대한 통합적인 연구는 증강현실 환경의 지각된 3차원 구조가 실제 환경과 어떻게 다른지(Creem-Regehr, Willemsen, Gooch, & Thompson, 2005; Sahm, Creem-Regehr, Thompson, & Willemsen, 2005; Willemsen, Gooch, Thompson, & Creem-Regehr, 2007)에 대한 이해의 폭을 넓힐 것이다.

결 론

본 논문에서는 증강현실 환경에서 제시된 가상 물체의 3차원 깊이 지각에 대해 관찰자와 가상 물체간의 3차원 깊이 지각을 중심으로 개관하였다. 증강현실 환경에 제시된 가상 물체의 정확한 3차원 깊이 지각은 물리적인 물체들과 가상 물체가 공존하는 증강현실 환경에 있어서 매우 중요한 요소이다. 하지만, 증강현실 환경에 제시된 가상 물체의 3차원 깊이 지각에 대한 연구는 아직 미미한 단계이며, 가상 물체의 3차원 깊이 지각 오차에 대한 연구 결과도 혼재되어 있다. 지금까지의 시각 시스템의 3차원 시지각 연구는, 양안 부등과 수렴이 관찰자로부터 물체까지의 3차원 깊이 지각에 매우 중요한 단서임을 시사한다. 증강현실에 제시된 가상 물체의 3차원 깊이 지각 왜곡 또한 실제 물체와 다른 양안 부등과 수렴에 기인할 수 있다. 특히, 근안 디스플레이를 사용하는 증강현실 기기에 있어서 관찰자의 동공간 거리에 따른 양안 부등과 수렴 각도의 차이 때문에 가상 물체에 대한 3차원 깊이 지각 왜곡이 발생할 가능성이 매우 크다. 따라서 가상 물체의 3차원 시지각 왜곡을 줄이기 위해서 시각 시스템이 사용하는 3차원 깊이 지각 단서인 양안부등과 수렴과 동일한 단서를 증강현실 환경에 어떻게 구현할 것인가에 대한 연구가 수반되어야 한다.

현재 상용화된 머리 착용 디스플레이(HMD) 또는 글래스 형식의 증강현실 기기들은 근안 2차원 디스플레이 장치를 통해 가상의 물체를 보는 방식이다. 따라서 초점 단서(focus cue)인 조절(accommodation) 및 흐릿해짐(blur)을 구현해내기 힘들다. 이는 가상·증강현실 기술의 근본적인 문제인 수렴-조절 갈등(vergence-accommodation conflict)을 야기하고, 더 나아가 증강현실 기기를 사용하는 데에 불편함을 초래한다. 최근 이를 극복하기 위해 광파 디스플레이(light field display) 기술과 다중초점 평면(multi-focal plane) 방식을 이용한 머리 착용 디스플레이 기기가 소개되었다(Huang, Chen, & Wetzstein, 2015). 아직 상용화될 수 있는 기술인지에 대한 검증이 필요한 걸음마 단계의 기술이지만, 현재의 증강현실 기기가 가지고 있는 취약점을 극복할 수 있는 기술임은 분명하다. 이러한 디스플레이 기술 발달과 3차원 시지각 연구 결과의 접목을 통해 가상의 물체와 실체의 물체를 지각적으로 구분하지 못하는 3차원 버전의 튜어링 테스트(Turing test)를 통과시킬 수 있는 증강현실 기기를 상용화할 수 있는 날이 속히 오기를 기대해 본다(Banks, Hoffman, Kim, Wetzstein, 2016).

www.kci.go.kr

References

Azuma, R. T. (1997). A survey of augmented reality. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments, 6*(4), 355-385.

Banks, M. S., Hoffman, D. M., Kim, J., Wetzstein, G. (2016). *3D Displays. Annual Review of Vision Science, 2*, 397-435.

Bimber, O., & Raskar, R. (2005). Spatial augmented reality: Merging real and virtual worlds. A K Peters/CRC Press.

Bruder, G., Steinicke, F., Wieland, P., & Lappe, M. (2011). Tuning self-motion perception in virtual reality with visual illusions. *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) Transactions on Visualization and Computer Graphics, 18*(7), 1068-1078.

Chicchi Giglioli, I. A., Pallavicini, F., Pedroli, E., Serino, S., & Riva, G. (2015). Augmented reality: A brand new challenge for the assessment and treatment of psychological disorders. *Computational and Mathematical Methods in Medicine, 2015*, 1-12.

Creem-Regehr, S. H., Stefanucci, J. K., & Thompson, W. B. (2015). Perceiving absolute scale in virtual environments: How theory and application have mutually informed the role of body-based perception. *In Psychology of Learning and Motivation, 62*, 195-224.

Creem-Regehr, S. H., Willemsen, P., Gooch, A. A., & Thompson, W. B. (2005). The influence of restricted viewing conditions on egocentric distance perception: Implications for real and virtual indoor environments. *Perception, 34*(2), 191-204.

Cumming, B. G., & DeAngelis, G. C. (2001). The physiology of stereopsis. *Annual Review of Neuroscience, 24*(1), 203-238.

Diaz, C., Walker, M., Szafir, D. A., & Szafir, D. (2017). Designing for depth perceptions in augmented reality. *2017 Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*, 111-122.

Drascic, D., & Milgram, P. (1996). Perceptual issues in augmented reality. *Stereoscopic Displays and Virtual Reality Systems III, 2653*, 123-134.

Durgin, F. H., Proffitt, D. R., Olson, T. J., & Reinke, K. S. (1995). Comparing depth from motion with depth from binocular disparity. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 21*(3), 679-699.

El Jamiy, F., & Marsh, R. (2019). Survey on depth perception in head mounted displays: distance estimation in virtual reality, augmented reality, and mixed reality. *The Institution of Engineering and Technology (IET) Image Processing, 13*(5), 707-712.

El-Seoud, S. A., Mady, A., & Rashed, E. (2019). An interactive mixed reality ray tracing rendering mobile application of medical data in minimally invasive surgeries. *International Journal of Interactive Mobile Technologies, 13*(3), 29-39.

Ellis, S. R., & Bucher, U. J. (1994). Distance perception of stereoscopically presented virtual objects optically superimposed on physical objects by a head-mounted see-through display. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting, 38*(19), 1300-1304.

Erkelens, C. J., & Collewijn, H. (1985). Eye movements and stereopsis during dichoptic viewing of moving random-dot stereograms. *Vision Research, 25*(11), 1689-1700.

Ferris, S. H. (1972). Motion parallax and absolute distance. *Journal of Experimental Psychology, 95*(2), 258-263.

Foley, J. M. (1980). Binocular distance perception. *Psychological Review, 87*(5), 411-434.

Fulvio, J. M., & Rokers, B. (2017). Use of cues in virtual reality depends on visual feedback. *Scientific Reports, 7*(1), 1-13.

Fulvio, J. M., Miao, H., & Rokers, B. (2021). Head jitter enhances three-dimensional motion perception. *Journal of Vision, 21*(3), 12-12.

Gao, Y., Peillard, E., Normand, J. M., Moreau, G., Liu, Y., & Wang, Y. (2019). Influence of virtual objects' shadows and lighting coherence on distance perception in optical see through augmented reality. *Journal of the Society for Information Display, 28*(2), 117-135.

Gogel, W. C., & Da Silva, J. A. (1987). Familiar size and the theory of off-sized perceptions. *Perception & Psychophysics, 41*(4), 318-328.

Hartley, R., & Zisserman, A. (2003). Estimation-2D projective transformations. Multiple View Geometry, 2nd ed.; Cambridge University Press: Cambridge, UK, 87-90.

Huang, F. C., Chen, K., Wetzstein, G. (2015). The light field stereoscope: Immersive computer graphics via factored near-eye light field displays with focus cues. *The Association for Computing Machinery (ACM) Transactions on Graphics, 34*(4), 1-12.

Huang, K. T., Ball, C., Francis, J., Ratan, R., Boumis, J., & Fordham, J. (2019). Augmented versus virtual reality in education: An exploratory study examining science

www.kci.go.kr

knowledge retention when using augmented reality/virtual reality mobile applications. *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking, 22*(2), 105-110.

Jones, J. A., Swan II, J. E., Singh, G., Franck, J., & Ellis, S. R. (2009). The effects of continued exposure to medium field augmented and virtual reality on the perception of egocentric depth. *Proceedings of the 6th Symposium on Applied Perception in Graphics and Visualization*, 138.

Jones, J. A., Swan II, J. E., Singh, G., Kolstad, E., & Ellis, S. R. (2008). The effects of virtual reality, augmented reality, and motion parallax on egocentric depth perception. *Proceedings of the 5th Symposium on Applied Perception in Graphics and Visualization*, 9-14.

Kaufmann, H., & Schmalstieg, D. (2002). Mathematics and geometry education with collaborative augmented reality. *The Association for Computing Machinery (ACM) Special Interest Group on GRAPHics and Interactive Techniques (SIGGRAPH) 2002 Conference Abstracts and Applications*, 37-41.

Kham, K., & Lee, J.-H. (2003). The effect of inter-pupillary distance on stereopsis. *Korean Journal of Cognitive Science, 14*(3), 37-49.

Kytö, M., Mäkinen, A., Häkkinen, J., & Oittinen, P. (2013). Improving relative depth judgments in augmented reality with auxiliary augmentations. *The Association for Computing Machinery (ACM) Transactions on Applied Perception (TAP), 10*(1), 1-21.

Ling, H. (2017). Augmented reality in reality. *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) MultiMedia, 24*(3), 10-15.

Linton, P. (2020). Does vision extract absolute distance from vergence?. *Attention, Perception, & Psychophysics, 82*, 3176-3195.

Livingston, M. A., Ai, Z., & Decker, J. W. (2009). A user study towards understanding stereo perception in head-worn augmented reality displays. *In 2009 8th Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, 53-56.

Livingston, M. A., Swan, J. E., Gabbard, J. L., Hollerer, T. H., Hix, D., Julier, S. J., Baillot, Y., & Brown, D. (2003). *Resolving multiple occluded layers in augmented reality. In The Second Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) and The Association for Computing Machinery (ACM) International Symposium on Mixed and Augmented Reality, 2003. Proceedings*, 56-65.

McIntire, J. P., Havig, P. R., Harrington, L. K., Wright, S. T., Watamaniuk, S. N., & Heft, E. L. (2014). Clinically normal stereopsis does not ensure a performance benefit from stereoscopic 3D depth cues. *3D Research, 5*(3), 1-23.

Mon-Williams, M., & Tresilian, J. R. (1999). Some recent studies on the extraretinal contribution to distance perception. *Perception, 28*(2), 167-181.

Mon-Williams, M., & Tresilian, J. R. (2000). Ordinal depth information from accommodation?. *Ergonomics, 43*(3), 391-404.

Mon-Williams, M., Tresilian, J. R., & Roberts, A. (2000). Vergence provides veridical depth perception from horizontal retinal image disparities. *Experimental Brain Research, 133*(3), 407-413.

Norman, J. F., Dawson, T. E., & Butler, A. K. (2000). The effects of age upon the perception of depth and 3-D shape from differential motion and binocular disparity. *Perception, 29*(11), 1335-1359.

Pallavicini, F., Serino, S., Cipresso, P., Pedroli, E., Chicchi Giglioli, I. A., Chirico, A., ... & Riva, G. (2016). Testing augmented reality for cue exposure in obese patients: an exploratory study. *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking, 19*(2), 107-114.

Palmisano, S., Gillam, B., Govan, D. G., Allison, R. S., & Harris, J. M. (2010). Stereoscopic perception of real depths at large distances. *Journal of Vision, 10*(6), 1-16.

Parker, A. J. (2007). Binocular depth perception and the cerebral cortex. *Nature Reviews Neuroscience, 8*(5), 379-391.

Peillard, E., Argelaguet, F., Normand, J. M., Lécuyer, A., & Moreau, G. (2019). Studying Exocentric Distance Perception in Optical See-Through Augmented Reality. *2019 Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*, 115-122.

Philbeck, J. W., & Loomis, J. M. (1997). Comparison of two indicators of perceived egocentric distance under full-cue and reduced-cue conditions. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 23*(1), 72-85.

Poggio, G. F. (1995). Mechanisms of stereopsis in monkey visual cortex. *Cerebral Cortex, 5*(3), 193-204.

Pouget, A., & Sejnowski, T. J. (1994). A neural model of the cortical representation of egocentric distance. *Cerebral*

www.kci.go.kr

Cortex, 4, 314-314.

Qian, N. (1997). Binocular disparity and the perception of depth. *Neuron, 18*(3), 359-368.

Robinett, W., & Rolland, J. P. (1991). A computational model for the stereographic optics of a head-mounted display. *In SPIE 1457 Stereographic Displays and Applications, 11*, 140-160.

Rolland, J. P., Gibson, W., & Ariely, D. (1995). Towards quantifying depth and size perception in virtual environments. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments, 4*(1), 24-49.

Rolland, J. P., Meyer, C., Arthur, K., & Rinalducci, E. (2002). Method of adjustments versus method of constant stimuli in the quantification of accuracy and precision of rendered depth in head-mounted displays. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments, 11*(6), 610-625.

Rolland, J. P., Meyer, C., Arthur, K., & Rinalducci, E. (2002). Method of adjustments versus method of constant stimuli in the quantification of accuracy and precision of rendered depth in head-mounted displays. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments, 11*(6), 610-625.

Rosales, C. S., Pointon, G., Adams, H., Stefanucci, J., Creem-Regehr, S., Thompson, W. B., & Bodenheimer, B. (2019). Distance Judgments to On-and Off-Ground Objects in Augmented Reality. *2019 Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*, 237-243.

Sahm, C. S., Creem-Regehr, S. H., Thompson, W. B., & Willemsen, P. (2005). Throwing versus walking as indicators of distance perception in similar real and virtual environments. *The Association for Computing Machinery (ACM) Transactions on Applied Perception (TAP), 2*(1), 35-45.

Soranzo, A., Lugrin, J. L., & Wilson, C. J. (2013). The effects of belongingness on the simultaneous lightness contrast: a virtual reality study. *Vision Research, 86*, 97-106.

Statistics Korea. (2018). Annual survey of industrial activity in 2017.

Steinman, R. M., Cushman, W. B., & Martins, A. J. (1982). The precision of gaze. *Human Neurobiology, 1*, 97-109.

Swan, J. E., Jones, A., Kolstad, E., Livingston, M. A., & Smallman, H. S. (2007). Egocentric depth judgments in optical, see-through augmented reality. *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) Transactions on Visualization and Computer Graphics, 13*(3), 429-442.

Thompson, W., Fleming, R., Creem-Regehr, S., & Stefanucci, J. K. (2011). Visual perception from a computer graphics perspective. CRC Press.

Tittle, J. S., Norman, J. F., Perotti, V. J., & Phillips, F. (1998). The perception of scale-dependent and scale-independent surface structure from binocular disparity, texture, and shading. *Perception, 27*(2), 147-166.

Tittle, J. S., Todd, J. T., Perotti, V. J., & Norman, J. F. (1995). Systematic distortion of perceived three-dimensional structure from motion and binocular stereopsis. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 21*(3), 663-678.

Ventura, S., Baños, R. M., Botella, C., & Mohamudally, N. (2018). Virtual and augmented reality: New frontiers for clinical psychology. *State of the Art Virtual Reality and Augmented Reality Knowhow*, 99-118.

Vishwanath, D. (2014). Toward a new theory of stereopsis. *Psychological Review, 121*(2), 151-178.

Von Hofsten, C. (1976). The role of convergence in visual space perception. *Vision Research, 16*(2), 193-198.

Wanger, L. C., Ferwerda, J. A., & Greenberg, D. P. (1992). Perceiving spatial relationships in computer-generated images. *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) Computer Graphics and Applications, 12*(3), 44-58.

Westheimer, G. (1979). Cooperative neural processes involved in stereoscopic acuity. *Experimental Brain Research, 36*(3), 585-597.

Willemsen, P., Gooch, A. A., Thompson, W. B., & Creem-Regehr, S. H. (2008). Effects of stereo viewing conditions on distance perception in virtual environments. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments, 17*(1), 91-101.

Wu, W., Tošić, I., Berkner, K., & Balram, N. (2015). Depth-disparity calibration for augmented reality on binocular optical see-through displays. *Proceedings of the 6th The Association for Computing Machinery (ACM) Multimedia Systems Conference*, 120-129.

www.kci.go.kr

증강현실 환경에서의 3차원 깊이 지각

주성준, 이주형

부산대학교 심리학과

증강현실은 4차 산업혁명의 근간이 되는 핵심 기술 중의 하나이다. 증강현실 환경에서 가상 물체는 실제 물리적인 환경에 제시되고, 사용자는 물리적인 물체뿐만 아니라 가상 물체와 상호작용을 할 수 있다. 사실적이고 몰입감 있는 증강현실 환경을 구축하기 위해서 가상 물체에 대한 오류 없는 3차원 깊이 지각은 매우 중요하다. 하지만 가상현실 기술과는 달리 증강현실 환경에 제시된 가상 물체의 3차원 깊이 지각에 대한 연구는 아직 미미한 단계이다. 또한, 증강현실 환경에 제시된 가상 물체를 활용한 사전 연구는 가상 물체의 3차원 깊이지각에 대해 과소추정 또는 과대 추정을 보이는 혼재된 결과를 보였다. 본 논문에서는 증강현실 환경에 제시된 가상 물체에 대한 3차원 깊이 지각에 대한 결과를 요약하였다. 시각 시스템이 3차원 시지각을 위해 활용하는 단서들이 가상 환경에서 어떻게 다른가에 대해 논의하였다. 특히, 양안 부등과 수렴이 증강현실 환경에서 3차원 깊이 지각 오차를 야기하는 주된 단서임을 살펴 보았다. 끝으로 본 논문에서는 3차원 깊이 지각 오차를 수정하는 방법과 수렴조절 불일치와 같은 몰입감 있는 증강현실 환경 구축의 문제점을 해결할 수 있는 새로운 디스플레이 기술에 대해 소개하였다.

주제어: 증강현실, 3차원 시지각, 깊이 지각, 깊이 매칭

www.kci.go.kr