

시각적 인지를 고려한 건축물의 3D 스테레오 내비게이션

신일규¹ 윤여진¹ 최진원² 최수미^{1*}

¹세종대학교 컴퓨터공학과

{ikshin, yjyoon}@gce.sejong.ac.kr, smchoi@sejong.ac.kr

²버추얼빌더스(주)

jchoi@vbuilders.co.kr

3D Stereoscopic Navigation of Buildings Considering Visual Perception

Il-Kyu Shin¹ Yeo-Jin Yoon¹ Jin-Won Choi² Soo-Mi Choi^{1*}

¹Department of Computer Engineering, Sejong University

²Virtualbuilders Co., Ltd.

요약

BIM(Building Information Modeling)과 같은 기법이 건축물 생산 과정에 널리 사용되면서 건축 모델을 현실감 있게 체험할 수 있는 방법의 필요성이 커지고 있다. 본 논문에서는 시각적 인지를 고려한 가상 건축물의 스테레오 내비게이션 방법을 제안한다. 먼저 스테레오 건축물을 내비게이션할 때 발생할 수 있는 시각적 불편함에 대해 분석하고, 이를 해결하기 위해 가상 카메라 간격을 자동으로 조절하는 방법을 개발한다. 또한 각 사용자의 깊이감에 대한 최소한의 자극 차이(Just Noticeable Difference)를 측정하고 그 결과를 가상 카메라의 간격과 움직임을 조절하는 데 적용한다. 제안된 방법은 사용자에게 적합한 스테레오 콘텐츠를 생성함으로써 다양한 건축 응용에 사용될 수 있다.

Abstract

As BIM(Building Information Modeling) is widely used in the construction process, the need for exploring building models realistically is also growing. In this paper, we present a 3D stereoscopic navigation method for virtual buildings considering visual perception. We first find out factors that may cause visual discomfort while navigating stereoscopic building models, and then develop a method for automatically adjusting the range of virtual camera separation. In addition, we measure each user's JND(Just Noticeable Difference) in depth to adjust virtual camera separation and movement. The presented method can be used for various architectural applications by creating user-customized 3D stereoscopic contents.

키워드: 3D 스테레오 내비게이션, 시각적 불편함, 건축응용

Keywords: 3D stereoscopic navigation, Visual discomfort, Architectural applications

1. 서론

스테레오 콘텐츠의 수요가 증가함에 따라 다양한 응용분야를 위한 스테레오 3D 콘텐츠에 관한 연구들이 활발히 진행되고 있다. 최근 건축분야에서도 Maya, 3D Max, Rhino와 같은 모델링 툴에서 건축물을 모델링한 후 이를 몰입감 있게 보기 위해 스테레오 렌더링을 적용한 사례가 늘고 있다.

스테레오의 원리는 크게 단안요인(monocular cue)과 양안요인(binocular cue)이 있다. 먼저 단안요인은 영상 내에서의 명암, 상대적 크기, 중첩, 조밀성, 대기원근법, 투시도법, 운동시차 등으로 세분화 된다. 이러한 단안요인은 일반적으로 경험적으로 체득된 깊이감 구별 방법을 말한다. 양안요인은 일정 거리를 두고 떨어져 있는 두 눈의 움직임에 의해 깊이감을 인지하게 되는 요인으로, 스테레오 영상이 이와 같은 원리를 이용한다. 양안요인에는 양안시차(binocular disparity)와 안구의 수렴작용(vergence)이 있다. 이 중 양안시차에 의한 스테레오 원리는 인간의 좌·우 각 망막에 맺히는 서로 다른 영상을 뇌에서 융합하여 입체로 느끼게 되는 것이다. 안구의 수렴작용은 양안이 하나의 물체에 집중할 때 눈과 물체 사이의 거리에 따라 안구의 수렴 각도가 달라지는 현상을 말한다.

본 논문에서는 스테레오 렌더링에서 주로 발생하는 양안단시를 기반으로 시각적 피로 요인을 분석하고 이를 해결하기 위해 가상 카메라의 간격을 조절하는 방법을 개발한다. 일반적으로 스테레오 영상에서 피로감을 유발하는 요인에는 영상의 양안시차, 안구의 조절-이항운동(vergence-accommodation), 망막경합영역에 상이 맺히는 경우가 있다. 첫째, 양안시차에 의한 경우는 영상의 양안시차가 실제 사용자 양안의 물리적 거리에 맞지 않을 때 발생하는데 영상의 시차가 커질수록 입체감 및 깊이감은 커지지만, 일정 간격을 넘어서면 사용자는 불편함을 느낀다. 둘째, 안구의 조절-이항운동에 의한 피로감은 물체가 양안에 너무 가까운 경우로, 안구의 근육의 긴장상태가 너무 커져서 물체를 제대로 인지할 수 없는 경우에 발생한다. 셋째, 한쪽 눈의 영상 내에서는 보이지만 다른 쪽 영상에서는 볼 수 없는 망막경합영역에 상이 맺히는 물체들의 경우 입체감을 제대로 인지할 수 없게 된다.

본 연구에서는 먼저 건축물 내부를 내비게이션 할 때, 안구의 조절-이항운동 또는 망막경합영역으로 인해 시각적으로 불편한 경우를 분석한다. 그리고 이를 완화하기 위해 양안시차 즉 가상 카메라간의 간격을 변경하는 방법을 개발하여 이를 스테레오 내비게이션에 적용한다. 이 과정에서 사용자의 인지 요소인 최소한의 자극차이(JND: Just Noticeable Difference)를 측정하고, 측정치를 반영한 스테레오 내비게이션을 수행하도록 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련 연구에 대해 기술하고, 3장에서는 시각적 편안함을 고려한 스테레

오 내비게이션 방법 및 적용 과정에 대하여 설명한다. 4장에서는 구현결과를 설명하고, 마지막으로 5장에서는 결론 및 향후연구를 제시한다.

2. 관련 연구

최근 스테레오 콘텐츠를 이용할 때 느끼는 시각적 피로도를 줄이기 위해 다양한 연구들이 시도되고 있다. 영상의 양안시차를 조절하는 방법으로는 사용자의 양안시차를 고려하여 영상의 시차가 사용자의 물리적 양안간격보다 큰 경우에 중간 시점 영상을 생성하는 방법이 있다[1, 2]. 이 연구에서는 뷰 포핑 방법에 의해 중간시점 영상을 생성하고, 남겨진 홀부분을 보간된 영상의 좌·우 영상 정보를 이용해서 채운다. 이 방법은 홀 주변의 픽셀 정보를 참조하여 보간하는 기존 방법에 비해 좌·우 영상 간의 스테레오 일관성을 유지할 수 있다. Oskam 은 동적 3D 환경에서 인지된 깊이감을 조절함으로써 실시간으로 스테레오 렌더링을 할 수 있는 솔루션을 개발하였다[3]. 별도의 스테레오 카메라 장비를 구축하여 영상을 촬영하는 단계에서 주요 물체에 맞추어 카메라의 양안시차를 조절하는 방법도 소개되었다[4].

영상 내에서 사용자의 시선이 집중되는 영역을 찾아 스테레오 렌더링에 이용한 예로는 세일리언시 맵(saliency map)과 깊이맵을 적용한 방법이 있다[5]. 세일리언시 맵은 사람이 시각적으로 집중하게 되는 영역을 나타내는 정보로 색상, 방향성, 곡률, 크기, 움직임에 의해 자극이 가해지는 과정을 근사화한 방법이다. Chamaret 등은 영상 내에서 사용자의 시선이 집중되는 영역을 찾고, 해당 영역이 양안단시(binocular single vision)영역에 위치하도록 양안간격을 조절하는 방법을 제시하였다[6]. 유사하게 Lang 등은 세일리언시 맵을 이용하여 해당 영역의 객체들이 콤포트존(comfort zone) 안에 위치하도록 양안시차를 변경하고, 이미지 왜곡(warping) 기법을 사용하여 영상에서 홀이 발생하지 않도록 하였다[7]. 그러나 집중되는 영역으로 결정된 객체 이외의 영역에서는 왜곡에 의한 왜곡현상이 발생하는 한계점이 있다.

인간의 시각적 인지 특성을 이용한 방법으로는 영상으로부터 추출한 공간주파수를 이용하여 안구의 수렴 각도를 계산하고, JND 측정을 통해 스테레오 영상의 가상 카메라 간격을 변경하는 방법이 있다[8]. 이 방법은 기존의 왜곡 방법에 비해 왜곡현상을 줄일 수 있었다. 안구의 조절-이항운동으로 인해 발생하는 시각적 피로를 감소시키기 위한 연구로는 시각적인 집중도가 낮은 영역에 블러링을 적용하는 방법이 있다[9, 10].

본 논문에서는 Oskam [3]의 방법처럼 동적 3D 환경에서 사용자가 인지하는 깊이감을 조절하는 것을 목표로 한다. 특히 건축물에서는 건물의 크기 및 공간에 대한 정확한 정보를 제공해야 하기 때문에 Oskam의 방법에서 사용한 비선

형 방식이 아닌 선형 방식을 통해 가상 카메라의 간격을 변경하도록 한다. 또한 사용자의 시각적 불편함을 줄이기 위해, 렌더링한 결과에 대한 JND를 측정한다. 이렇게 측정된 JND는 사용자가 인지하지 못하는 범위 내에서 카메라 간격과 뷰 프러스텀(view frustum)을 조절하는 데 이용된다.

3. 시각적 인지를 고려한 스테레오 내비게이션 방법

스테레오 렌더링 시 장면 안에 들어오는 물체는 패넌의 융합영역 안에 들어오는 경우로 제한하였다. 그림 1은 패넌의 융합영역을 나타낸다.

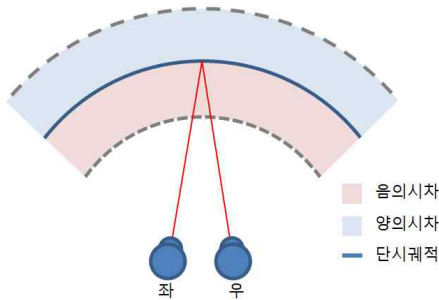


그림 1 패넌의 융합영역

단시계적을 기준으로 음의 시차를 가지는 영역에서는 교차시차(crossed disparity)가 발생한다. 여기서 단시계적은 양안 시차가 0인 영역으로, 모노 영상과 동일하게 평면적으로 보이는 현상을 말한다. 반대로 양의 시차를 가지는 영역에서는 비교차시차(uncrossed disparity)가 발생하게 된다. 일반적으로 안구의 수렴 상태가 패넌의 융합영역을 벗어나게 되면, 입체감을 느낄 수 없게 되어 복시(diplopia), 중첩(superimposition), 망막경합(retinal rivalry), 억제(suppression)와 같은 시각적 피로가 발생하게 된다[11, 12, 14]. 따라서 이러한 패넌의 융합영역을 기반으로 앞서 언급한 피로 발생 영역과 컴포트존을 정의할 수 있다.

3.1 건축물 내에서의 시각적 피로요인

건축물을 내비게이션 하는 과정에서 발생하는 주요 시각적 피로요인은 앞서 기술한 패넌의 융합영역으로 설명이 가능하다. 그림 2는 패넌의 융합영역 및 가상 카메라와 뷰 프러스텀에 의해 정의되는 컴포트존을 보여준다. 건축물 내에서 발생하는 시각적 피로요인은 매우 다양하지만, 본 논문에서는 가상 카메라와 컴포트존에 의해 발생하는 몇 가지 주요 요인들을 고려하고자 한다.

첫째, 물체가 그림 2의 컴포트존을 음의시차 방향으로 벗어나게 되는 경우이다. 이는 가상 카메라와 물체가 매우 가깝게 위치하게 될 때 발생한다. 건축물 내에서는 내비게이션 도중 물체가 갑자기 튀어나오는 경우에 해당하므로, 튀어나오는 물체의 위치를 컴포트존 안쪽에 위치하도록 조정한다. 반대로, 양의시차 방향으로 패넌의 융합영역을 벗어나게 되면, 물체가 시야에서 너무 멀리 있기 때문에 입체감을 인지하기 어려운 상태가 된다. 따라서 물체와 가상 카메라의 거리를 일정 거리 이하로 유지하여 뷰 프러스텀 영역 안에 들어오도록 하였다.

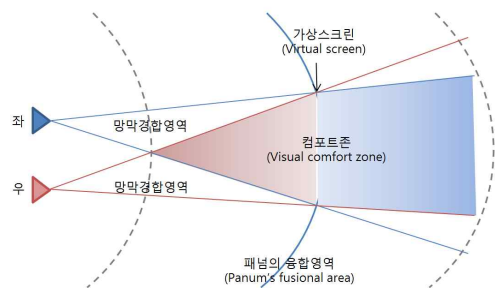


그림 2 망막경합영역과 컴포트존

둘째, 물체가 패넌의 융합영역 내에 위치하지만, 좌·우 뷰 프러스텀 영역의 차이로 인해 망막경합영역에 위치하게 되는 경우이다. 건축물 내에서는 문이나 좁은 통로를 통과하는 경우에 발생하며, 기둥이나 벽면의 모서리가 한쪽 가상 카메라에서는 보이지만 반대편 가상 카메라에서는 보이지 않는 현상에 해당한다. 이러한 경우 가상 카메라의 뷰 프러스텀을 변경하여 기둥이나 모서리가 컴포트존 안에 들어오게 하거나, 반대로 컴포트존 밖으로 위치하게 하여 망막경합영역을 벗어나도록 하였다.

셋째, 내비게이션 도중 영상의 양안시차가 사용자의 양안 간격 보다 커지는 경우이다. 본 연구에서는 내비게이션 과정에서 가상 카메라 간격을 사용자의 물리적 양안간격 이하로만 조절이 가능하도록 설정하였다.

넷째, 앞서 기술한 첫 번째와 두 번째 요인에 의해 급격하게 가상 카메라의 뷰 프러스텀이나 양안시차를 변경하는 경우, 사용자가 이를 인지할 수 있다는 점이다. 이렇게 영상에서 뷰 프러스텀이나 거리가 급격히 변하게 되면 사용자는 이로 인해 어려움을 느낄 수 있다. 따라서 이러한 변화에 대한 사용자의 인지 정도를 측정하고, 측정된 결과를 내비게이션 과정에서 가상 카메라의 간격 조절 및 이동속도 조절에 반영하였다.

3.2 가상 카메라의 간격 조절을 위한 JND 측정

JND는 감각의 강도에 대응하여 사람이 인지할 수 있는 최소식별차이를 찾는 기법이다. 본 논문에서는 스테레오 영상의 가상 카메라 간격 변화 정도에 대한 JND를 찾기 위해 각 사용자들을 대상으로 사용성 테스트를 수행하고 이를 내비게이션에 반영한다. 실험은 연령이 20~30대인 20명(남자 15명, 여자 5명)을 대상으로 하였으며, 모두 스테레오 장비를 사용한 경험이 있다. 실험대상군 선정 과정에서 스테레오 블라인드는 제외하였으며 서터글래스 방식의 스테레오 영상을 사용하였다.

먼저, 참가자는 디스플레이에 보여지는 두 장의 동일한 스테레오 영상을 보고 두 영상을 비교한다. 두 영상 중 왼쪽의 영상은 비교를 위한 참조영상이고, 오른쪽의 영상에서는 가상 카메라 간격을 서서히 증가시켜 자극의 정도를 변경한다. 오른쪽의 영상에서 가상 카메라의 간격을 계속 증가시킬 때 사용자가 두 영상 사이의 깊이감 차이를 느끼면 그 순간 두 영상의 가상 카메라 간격 차이를 저장한다. 실험은 건축물에서 발생하는 장면 중 4개의 주요 장면을 대상으로 하였으며, 실험에 사용한 영상은 그림 3과 같다. 그림 3 (a)와 (b)는 물체가 많은 일반적 스테레오 장면이며, (c)는 물체가 가상 카메라 쪽으로 튀어나오는 장면, (d)는 망막경합이 발생하는 장면에 해당한다. 참가자는 각 장면별로 서로 다른 카메라 간격을 가지는 여섯 가지 영상, 총 24개 영상에 대하여 JND를 측정하였으며, 1인당 소요시간은 약 30분 정도였다.

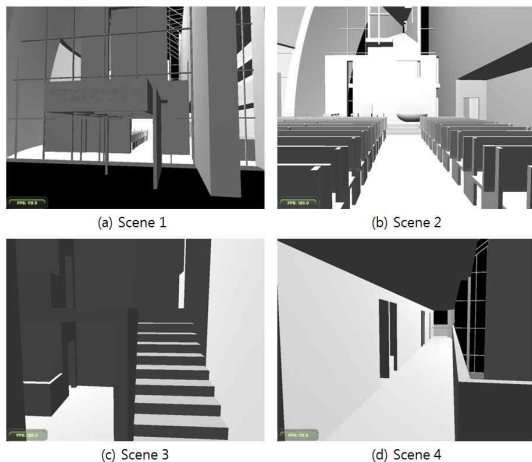


그림 3 JND측정을 위한 참조영상의 획득

그림 4는 그림 3에 제시된 각각의 장면에 대한 JND 측정 결과를 그래프로 나타낸 것이다. 일반적으로 성인의 양안간격 거리는 6.5cm 정도이므로 실험에서는 각 장면별로 가상 카메라의 간격을 균등하게 분할하여 0, 1.3, 2.6, 3.9, 5.2,

6.5cm의 여섯 가지 단계로 고정하고, 각 단계마다 2AFC(Two-Alternative Forced Choice) 방식으로 사용자가 깊이감 차이를 인지하는 순간의 가상 카메라 간격을 저장하였다[12]. 실험에서는 “두 영상 간의 차이가 느껴지는가?”라는 질문에 예, 아니오로 응답할 수 있도록 하였다. 그래프에서 양안 간격 1.3cm 인 Scene1 영상을 예로 들면, 실험에서 기본적으로 두 장의 스테레오 영상의 가상 카메라 간격은 1.3cm로 동일하다. 다음으로 오른쪽의 실험 영상의 가상 카메라 간격을 0.01cm씩 증가시켰을 때, 왼쪽의 참조영상과 입체감이 다르게 느껴지면, 그 순간 오른쪽 스테레오 영상의 가상 카메라 간격을 측정하고, 왼쪽 영상의 가상 카메라 간격과의 차이를 계산한다. 그림 4에서 가로축은 각 참조영상에서의 가상 카메라 간격을 나타내며, 세로축은 참가자가 입체감의 차이를 인지하게 될 때의 참조영상과의 카메라 간격 차이를 나타낸다. 즉 Scene1의 가상 카메라 간격 1.3cm인 영상에서는 오른쪽의 실험영상에서 1.8cm 정도로 가상 카메라 간격을 증가시켰을 때 평균적으로 두 영상의 깊이감 차이를 인지하게 된다.

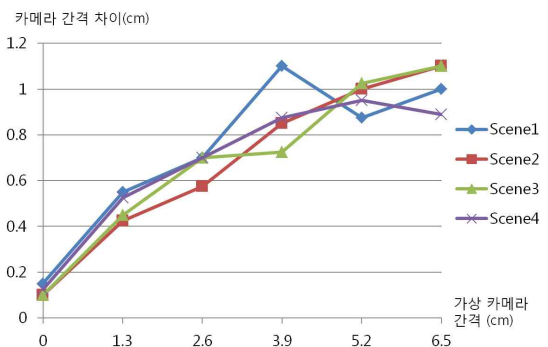


그림 4 가상 카메라 간격에 따른 인지범위 차이

그림 4의 그래프에서 나타났듯이 4개의 장면에 대하여 가로축의 가상 카메라의 간격이 커질수록 세로축의 사용자가 인지한 가상 카메라 간격 변화량도 전체적으로 증가하는 것을 알 수 있다. 따라서 베버의 법칙에 따라 스테레오 자극이 커질수록 자극의 변화에 덜 민감한 것을 알 수 있다. 베버의 법칙은 자극의 양이 증가할수록 자극의 변화를 인지하기 위한 초기자극에 비례하여 더 큰 자극이 주어져야 한다는 이론이다. 본 논문에서는 각 장면마다 다른 깊이감을 인지하게 되는 최소 카메라 간격을 1 JND로 간주한다. 이 결과를 이용해 단위 시간 당 가상 카메라 간격 조절의 범위를 1 JND 이하로 설정하면, 사용자는 영상의 변화를 크게 인지하지 못하는 상태로 내비게이션 영상의 컴포지션 범위를 변경할 수 있다.

3.3 가상 카메라 간격의 조절방법

본 논문에서는 건축물의 스테레오 내비게이션 과정에서 그림 2의 킴포트존을 구현하기 위해 off-axis방법을 사용하였다[13]. 이 방법은 좌·우 뷰 프러스텀의 가상스크린을 일치시키게 교차시키기 때문에 안구의 수렴을 표현할 수 있으며, 단시계적과 유사한 가상스크린을 정의할 수 있다는 장점을 가진다.

Off-axis 방법에서 킴포트존을 변경할 수 있는 방법은 두 가지가 있다. 첫째, 가상 카메라의 간격을 줄이는 방법이다. 두 가상 카메라의 간격을 줄이게 되면, 각 가상 카메라가 향하고 있는 시선벡터의 교차 각도가 줄어드는 효과를 보인다. 두 번째, 직접 뷰 프러스텀의 수렴 각도를 조절하는 방법이다. 그러나 직접 뷰 프러스텀의 수렴 각도를 변경하게 될 경우 가상 스크린의 깊이가 계속해서 변하게 된다. 이 경우에는 망막경합영역의 크기가 가상 카메라 간격만 조절하는 경우에 비해 더욱 커지기 때문에 시각적으로 더욱 불편해진다. 따라서 본 논문에서는 가상 카메라 간격을 조절하는 방법을 이용하여 시각적 피로를 줄인다. 그림 5는 off-axis 기반에서 가상 카메라 간격을 조절할 경우 시선벡터의 각도 변화를 보여준다. 그림 5(a)의 시선벡터의 각 θ 가 그림 5(b)에서 가상 카메라 간격 조절에 의해 줄어든 것을 볼 수 있다.

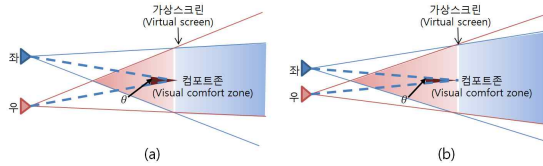


그림 5 Off-axis기반의 가상 카메라 간격 조절방법 (a) 가상 카메라 간격 조절 전; (b)가상 카메라 간격 조절 후

가상 카메라의 간격 변경 과정에서는 벽이나 장애물이 망막경합영역에 위치하거나 시야에 너무 가까워지는 피로 요소를 함께 고려한다. 먼저, 장애물이 그림 2의 가상스크린에 가까운 망막경합영역에 존재하는 경우에는 스테레오 영상을 보는데 크게 방해가 되지 않는다. 하지만 물체가 가상 카메라에 가까운 망막경합영역에 존재할수록 시각적으로 더 많은 피로를 느끼게 된다. 따라서 그림 6과 같이 가상 카메라와 인접한 쪽의 킴포트존 내에 충돌관정을 위한 프러스텀을 설정하고, 가상 카메라의 간격을 자동으로 변경한다. 그림 6 (a)는 망막경합영역에 들어온 장애물이 충돌관정 프러스텀에 들어오는 경우로, 오른쪽 그림에서 흰 색 점선으로 표시된 영역의 물체가 이 망막경합이 발생하는 영역에 해당한다. 내비게이션 수행 과정에서는 문이나 모서리와 같은 장

애물이 충돌관정 프러스텀 영역에 들어오면 이 영역을 피하도록 가상 카메라의 간격을 줄여서 좁은 공간을 통과하도록 하였다. 그림 6 (b)는 장애물이 시야에 매우 가까이 나타나게 되는 경우를 나타낸다. 오른쪽 그림에서 보이는 것과 같이 영상의 가운데 부분에 보이는 벽면이 가상 카메라에 가깝게 튀어나온 것을 확인할 수 있다. 이 경우에는 (a)의 경우와 반대로 물체가 킴포트존 안에 들어오도록 가상 카메라의 간격을 변경한다.

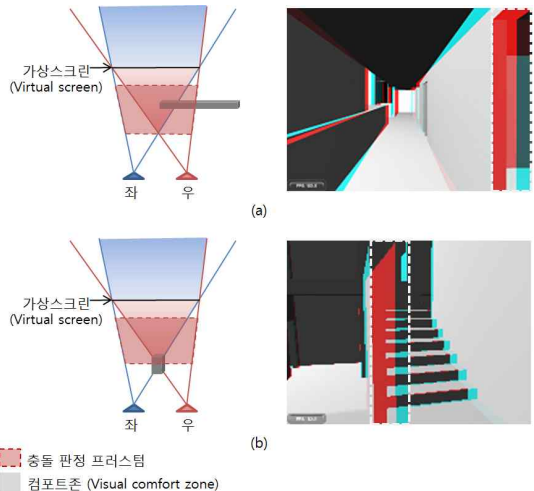


그림 6 킴포트존 내부 프러스텀 설정을 통한 장애물 충돌관정 (a)가상 카메라에 가까운 망막경합영역에 물체가 들어오는 경우; (b)물체가 가상 카메라쪽으로 튀어나온 경우

3.4 JND를 이용한 가상 카메라의 간격 및 속도 조절방법

건축물과 같은 공간을 내비게이션 하는 과정에서는 가상 카메라의 이동속도에 따라 영상이 급속도로 변하기 때문에 카메라의 간격 뿐 아니라 이동 속도도 고려해야 한다. 따라서 3.2절에서 측정된 JND를 기준으로 각 장면별 내비게이션에 적합한 가상 카메라 이동 속도를 알기 위한 사용자 테스트를 수행하였다. 실험 환경 및 참가자는 3.2절의 JND 실험 참가자와 동일하다. 먼저, 모노 영상과 스테레오 영상에서 적합한 가상 카메라 속도가 서로 다르지 측정하기 위한 실험을 수행하였다. 참가자는 건축물 내비게이션에서 나타나는 4개 장면을 모노와 스테레오로 분리하여 총 8 가지 장면에 대하여 적합한 카메라 이동 속도를 찾는 실험을 수행하였다. 가상 카메라 이동 속도는 각 장면마다 OpenGL unit/frame의 속도로 0부터 10씩 증가시켰을 때, 선호하는

가상 카메라 이동 속도를 선택하도록 하였다. 그림 7은 각 장면에 대해 참가자들이 선호한 가상 카메라 이동 속도를 보여준다. 실험에서 사용한 스테레오 영상의 가상 카메라 간격은 1.3cm 이다.

그래프에서 보이는 것과 같이 실험에 사용한 모든 장면에 대하여 참가자는 모노 영상일 때 보다 스테레오 영상일 때 더 느린 가상 카메라 속도를 선호하는 것으로 나타났다. 또한 그래프의 오차막대를 살펴보면, Scene1과 Scene2와 같이 다른 영상에 비해 상대적으로 망막경합영역이나 물체가 튀어나오는 등의 시각적 피로요소가 적은 영상일수록 가상 카메라 이동속도에 대한 개인 차이가 상대적으로 큰 것으로 나타났다.

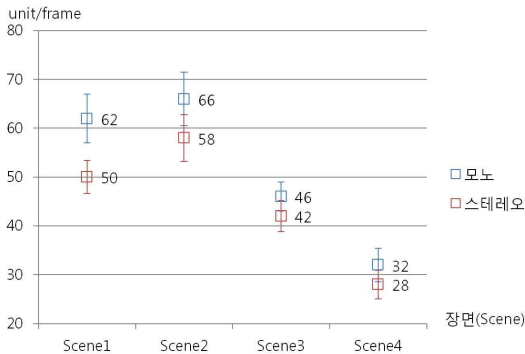


그림 7 모노 영상과 스테레오 영상의 가상 카메라 이동 속도의 사용자 선호도

두 번째로, 선택한 가상 카메라 속도를 기준으로 각 장면마다 적합한 가상 카메라 간격을 찾으려 하였다. 앞서 측정 한 가상 카메라 속도를 각 장면에 적용하고, 3.2절에 측정 한 6가지 단계의 가상 카메라 간격 중 해당 장면에 적합한 가상 카메라 간격 한 가지를 선택하도록 하였다.

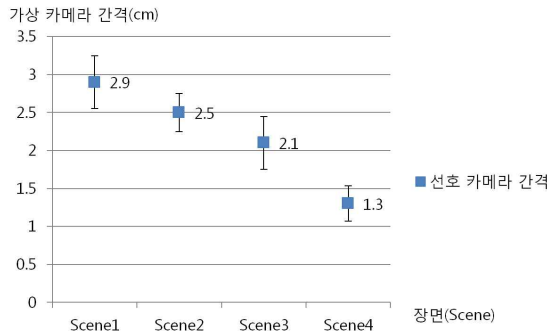


그림 8 장면별 가상 카메라 간격의 사용자 선호도

그림 8은 장면별로 참가자가 선택한 가상 카메라 간격을 그래프로 보여준다. 그래프에 보이는 것과 같이 망막경합과 같은 피로요소가 발생할수록 좁은 카메라 간격을 선호하는 것으로 나타났다.

실제 내비게이션에서는 실험 결과를 고려하여 가상 카메라 이동속도를 적용하였다. 또한 장면 복잡도가 높아지거나 망막경합, 물체가 튀어나오는 현상이 발생하는 장면에서 가상 카메라 거리를 조절하여 내비게이션 영상의 양안시차를 자동으로 변경하도록 하였다.

4. 구현결과

4.1 렌더링 프레임워크

본 논문에서 사용한 렌더링 프레임워크는 기본적으로 FPS(First Person Shooting) 게임들과 같이 마우스와 키보드를 이용하여 사용자가 직접 방향을 조작하며 진행할 수 있도록 구현하였다. 내비게이션에 사용한 스테레오 방식은 액티브 스테레오를 사용하였다. 이 방식은 셔터글래스를 사용하여 양안영상을 시간축에 따라 빠르게 바꾸어 출력한다. 구현은 Windows API와 OpenGL을 기반으로 하는 오픈소스 그래픽 엔진인 Ogre3D에 스테레오 렌더링 기능을 추가하였다. 하드웨어는 Geforce Quadro FX3800을 사용한 그래픽 환경에서 120Hz LCD모니터와 셔터글래스를 사용하였다. 그림 9는 본 논문에서 사용한 하드웨어 구성 및 내비게이션 장면을 보여준다.



(a) (b)

그림 9 렌더링 프레임워크를 위한 하드웨어 구성 (a) 하드웨어 구성: 스테레오 디스플레이, 셔터글래스, 에미터, 키보드; (b) 스테레오 내비게이션 수행 장면

4.2 구현결과

본 논문에서 제안한 방법을 검증하기 위해 기존의 가상 카메라 간격 및 이동속도를 고정한 채로 내비게이션을 수행한 결과와 실험에서 측정한 사용자 인지 결과를 고려하여 가상 카메라의 간격 및 이동속도를 자동으로 변경한 결과를 비교 하였다. 구현 과정에서 기본적으로 가상스크린의 깊이는 사용자가 원하는 깊이로 설정이 가능하지만 실험에서는 사용

자의 물리적 양안간격을 기준으로 1m 전방을 바라보고 있다고 가정하여 가상스크린의 깊이를 고정하였다. 그림 10은 내비게이션 과정에서 발생하는 가상 카메라 간격의 변화량을 나타낸 그래프이다. 가상 카메라의 간격을 성인의 양안 간격인 6.5cm로 고정된 상태로 내비게이션을 수행한 경우보다 실험을 통해 획득한 데이터를 기준으로 동적으로 가상 카메라의 간격 및 속도를 변경한 경우, 장면별 특성에 따라 동적으로 카메라의 간격이 변경되는 것을 볼 수 있다. 그래프에 보이는 것과 같이 Scene2와 Scene4에서 가상 카메라 간격이 빈번하게 변화하는 것을 볼 수 있다. 이는 해당 장면에서 시각적 피로요소가 많이 존재하는 것을 나타낸다.

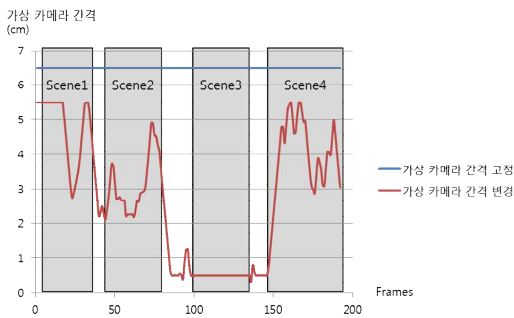


그림 10 내비게이션 시 가상 카메라 간격의 변화 비교

그림 11은 그림 10의 실험 결과를 장면별로 시간축을 따라 적청 에너지리프로 나타낸 결과이다. 각 영상의 상단 그림은 양안간격을 고정된 영상이며, 하단의 영상은 본 논문에서 획득한 실험결과를 적용한 영상이다. 그림 11 (a)와 (b)에서는 가상 카메라 간격의 변화가 크지 않았다. 하지만 그림 11 (c), (d)에서는 상·하 두 영상에서 차이가 크게 나타나는 것을 볼 수 있다. 따라서 그림에 나타난 것과 같이 계단이나 복도와 같이 망막경합이 발생하는 장면일수록 그 차이가 커지는 것을 알 수 있다.

4.3 사용성 테스트

구현된 스테레오 내비게이션의 결과를 검증하기 위해 사용성 테스트를 수행하였다. 실험에서는 성인의 양안간격인 6.5cm를 가상 카메라 간격으로 고정하고, 속도는 40unit/frame으로 고정한 내비게이션을 수행한 영상과 본 논문에서 제시한 방법대로 동적으로 가상 카메라 속도와 간격을 변경한 영상을 각각 시청한 후, 두 영상 중 편안하게 보이는 스테레오 영상을 선택하도록 하였다. 동적으로 가상 카메라 간격을 변경한 내비게이션 영상은 앞서 측정된 JND의 평균값을 각 장면별로 반영하였다. 즉, Scene1에서는 최적 가상 카메라 간격으로 측정된 2.9cm에서 평균 JND가 약

0.9cm이기 때문에 카메라 간격 변경의 범위가 3.8cm를 초과하지 않는 범위에서 가상 카메라의 간격을 변경하였다. 이와 같은 방식으로 Scene2에서는 2.5~3.2cm, Scene3 구간에서는 2.1~2.7cm, Scene 4 구간에서는 1.3~1.8cm로 가상 카메라 간격 변경의 범위를 제한하였다. 실험에 참여한 참가자는 총 25명으로 앞서 실험한 것과 동일하게 20~30대의 남녀로 구성하였으며, 스테레오 블라인드는 제외하였다. 실험 결과에 따르면, 총 참여자 중 21명이 가상 카메라의 속도 및 카메라 간격이 동적으로 변경되는 영상이 변경되지 않은 영상보다 편안하게 느껴졌다고 응답하였으며, 그 이유로 내비게이션 도중 스테레오 장면이 깨지는 현상이 적었기 때문이라고 응답하였다. 상대적으로 편안하지 못한 내비게이션 영상에서는 전체 내비게이션 구간 중 계단 장면에서 특히 불편했다고 응답하였다. 나머지 3명은 두 영상 간 큰 차이를 느낄 수 없다고 응답하였으며, 이 중 1명은 계단 장면에서 약간의 차이가 느껴진다고 응답하였다. 따라서 본 논문에서 제안한 방법을 적용한 영상이 가상 카메라 간격 및 속도를 고정된 채로 내비게이션을 수행하는 경우보다 건축물의 스테레오 내비게이션에 더 효과적이라는 것을 검증할 수 있었다.

5. 결론 및 향후연구

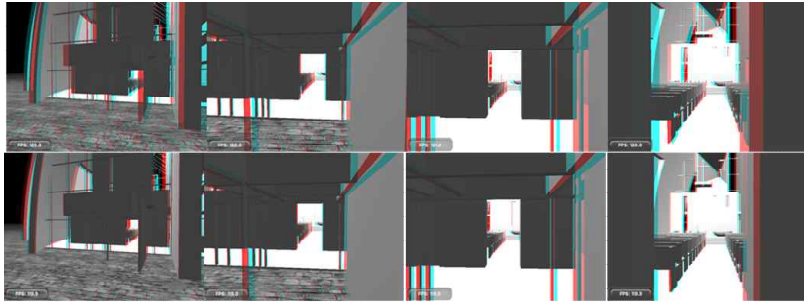
본 논문에서는 스테레오 내비게이션 과정에서 사용자가 건물 내부를 통과하는 동안 발생할 수 있는 시각적 피로를 감소시키는 방법을 제안하였다. 건축물 내부 내비게이션에서는 다른 스테레오 렌더링 방법에 비해 왜곡이 없는 정확한 공간감을 제공해야 한다는 제약이 있기 때문에 선형 카메라 변경 방법을 사용하였다. 본 논문에서 제안한 가상 카메라 간격 변경 방법은 간단한 연산으로 수행되기 때문에 구현이 쉽고 렌더링 속도에 지장을 주지 않는다는 장점을 가진다. 또한 사용자 개개인에 대한 가상 카메라 간격에 대한 JND를 반영하여 사용자가 장면의 급격한 변화를 인지하지 못하는 범위 내에서 가상 카메라 간격 및 속도를 조절하여 기존의 스테레오 기반의 렌더링 방법보다 편안한 영상을 제공할 수 있었다. 제안한 방법은 실시간으로 스테레오 내비게이션을 이용한 어플리케이션에 활용이 가능하다. 향후에는 본 논문에서 고려한 망막경합영역 이외에도 다양한 경합 영역에 대한 연구가 진행되어야 할 것이며, 건물 내부 물체의 색상이나 텍스처, 조명과 같은 요소들로 인해 발생하는 시각적 불편 요소들을 해결해야 할 것이다.

감사의 글

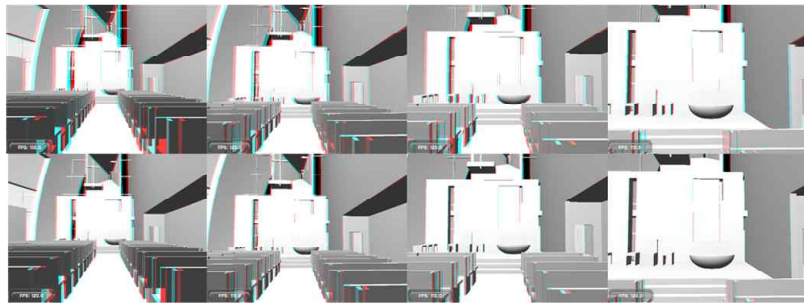
본 연구는 한국연구재단의 지원(2010-0003685, 2010-0019373)을 받아 수행되었음.

참고 문헌

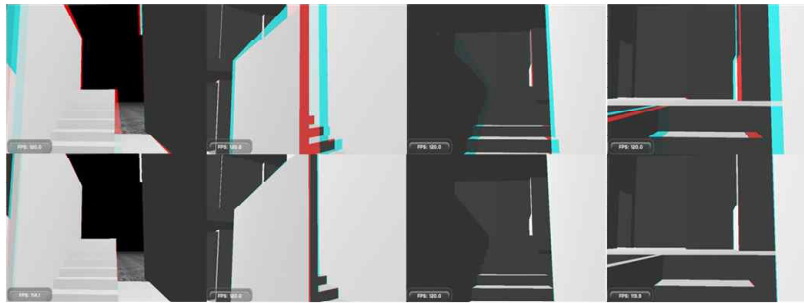
- [1] S.M. Rhee, J.M. Choi, and U. Neumann, "Stereoscopic View Synthesis by View Morphing", *Proceeding ISVC*, PP. 924-933, 2008.
- [2] S.M. Rhee, Y.J. Yoon, I.K. Shin, Y.G. Kim. Y.J. Choi, and S.M. Choi, "Stereo Image Synthesis by View Morphing with Stereo Consistency", *Journal of Applied Mathematics & Information Science*, Vol. 6(1S), pp. 195S-200S, 2012.
- [3] T. Oskam, A. Hornung, H. Bowles, K. Mitchell, and M. gross, "OSCAM - Optimized Stereoscopic Camera Control for Interactive 3D", *ACM Transactions on Graphics*, Vol. 30(6), 2011.
- [4] S. Heinzle, P. Greisen, D. Gallup, C. Chen, D. Saner, A. Smolic, A. Burg, W. Matusik, and M. Gross, "Computational Stereo Camera System with Programmable Control Loop", *ACM Transactions on Graphics*, Vol. 30(4), pp. 94, 2011.
- [5] L. Itti, and C. Koch, "A saliency-based search mechanism for overt and covert shifts of visual attention", *Vision Research*, Vol. 40(10-12), pp. 1489-1506.
- [6] C. Chamaret, S. Godeffroy, P. Lopez and O. Le Meur, "Adaptive 3D rendering based on Region-of-Interest", *Proceedings Stereoscopic Displays and Applications*, Vol. 7524, pp. 75240V-75240V-12, 2010.
- [7] M. Lang, A. Hornung, O. Wang, S. Poulkos, A.Smolic, and M. gross, "Nonlinear disparity mapping for stereoscopic 3D", *ACM Transactions on Graphics*, Vol. 29, no. 4, pp. 75, 2010.
- [8] P. Didyk, T. Ritschel, E. Eisemann, K. Myszkowski, and H. P. Seidel, "A Perceptual Model For Disparity", *ACM Transactions on Graphics*, Vol. 30(4), pp. 96, 2011.
- [9] D. M. Hoffman, A. R. Girshick, K. Akeley, and M. S. Banks, "Vergence-accomodation conflicts hinder visual performance and cause visual fatigue", *Journal of Vision*, Vol. 8(3), pp. 33, 2008.
- [10] T. Blum, M. Wieczorek, A. Aichert, R. Tibrewal, and N. Navab, "The Effect of Out-of-focus Blur on Visual Discomfort When Using Stereo displays", *ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, pp. 13-17, 2010.
- [11] M. Lambooi and W. IJsselsteijn, "Visual Discomfort and Visual Fatigue of Stereoscopic Displays : A Review", *Journal of Imaging Science and Technology*, Vol. 53(3), pp. 1-14, 2009.
- [12] J. P. Frisby and J. V. Stone, "Seeing : The Computational Approach to Biological Vision second edition", *Cambridge, Mass. : MIT press*, 2010.
- [13] S. Gateau and R. Neuman, "Stereoscopy from xy to z", *In SIGGRAPH ASIA Courses*, 2010.
- [14] 김남규, "3차원 입체 영상에서의 휴먼 팩터 연구", *한국정보과학회지*, Vol. 29(8), pp. 48-54, 2011.



(a) Scene 1



(b) Scene 2



(c) Scene 3



(d) Scene 4

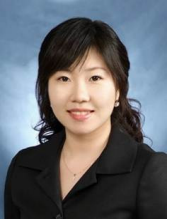
그림 11 가상 카메라 간격 및 속도 변경 전·후 결과 비교

〈저자 소개〉



신일규

- 2009년 호서대학교 멀티미디어공학과 학사
- 2011년 세종대학교 컴퓨터공학과 석사
- 2011년~현재 세종대학교 컴퓨터공학과 박사과정
- 관심분야: 컴퓨터그래픽스, 가상현실



윤여진

- 2005년 성결대학교 멀티미디어공학과 학사
- 2008년 세종대학교 컴퓨터공학과 석사
- 2011년~현재 세종대학교 컴퓨터공학과 박사과정
- 관심분야: 컴퓨터그래픽스, 가상현실, HCI



최진원

- 1984년 부산대학교 건축공학과 학사
- 1986년 부산대학교 건축공학과 석사
- 1992년 미국 오하이오 주립대 건축학 Master of Arch
- 1992년 미국 오하이오 주립대 건축CAD 박사
- 1996년 미국 버클리대학교 건축학과 Post.Doc
- 2000년 아주대학교 건축학과 조교수
- 2010년 연세대학교 주거환경학과 부교수
- 2010년~현재 버츄얼빌더스㈜ 대표이사
- 관심분야: BIM, 객체지향, 유비쿼터스, 융합IT 등



최수미 (교신저자)

- 1993년 이화여자대학교 전자계산학과 학사
- 1995년 이화여자대학교 전자계산학과 석사
- 2001년 이화여자대학교 컴퓨터학과 박사
- 1998년 독일 프라운호퍼 컴퓨터그래픽스연구소 (IGD) 방문연구원
- 2001년~2002년 이화여자대학교 컴퓨터그래픽스/가상현실센터 연구교수
- 2008년~2009년 스위스 취리히 연방공대 (ETH Zurich) 방문교수
- 2002년~현재 세종대학교 컴퓨터공학과 부교수
- 관심분야: 컴퓨터그래픽스, HCI, 가상현실, 의료영상 등