

논문-02-07-4-09

HMD 형태의 초다시점 3차원 영상 표시 장치

김 성 규*

HMD Type SMV 3Ddisplay System

Sung-Kyu Kim*

요 약

평면 영상 표시 장치로부터 3차원 영상 표시 장치로의 이동에 있어 큰 걸림돌로 알려져 있는 눈의 피로 현상의 중요 요인으로 알려져 있는 양안의 수렴 작용과 각각의 눈의 초점 조절 불일치의 해결 가능성을 갖고 있는 초다시점 조건을 만족하는 HMD 형태의 3차원 영상 표시 장치를 제안하고, 실험적으로 단안의 초점 조절을 만족할 수 있음을 확인하였고, 그 실험 결과를 포함하였다.

Abstract

The 3-dimensional image display system using only binocular disparity can induce the eye fatigue because of the mismatch between the accommodation of eye and the convergence of two eyes. A new 3-dimensional display system for one observer that can solve eye fatigue caused by mismatch between accommodation and convergence was introduced in this paper. A proof about the possibility of satisfaction of accommodation of one eye was given as the experimental result in this 3-dimensional display system.

I. 서 론

19세기 중엽, 입체감을 주는 요인으로 양안시차(binocular parallax)의 효과를 부여하는 방법이 입체 사진에 처음으로 시도된 이후로, 입체감을 줄 수 있는 디스플레이 장치를 개발하기 위한 노력은 계속되어 왔다. 1980년대 부터는 필름을 매체로 한 입체 영화에서 입체 TV로 연구개발이 이행되었다. 최근에는 특수 안경을 사용하지 않고 입체 TV 디스플레이를 실현하는 방법, 종래의 2차원 수상기와 양립할 수 있는 방법, 입체 TV에의 잡음 및 허용 기준에 관한 연구 등이 진행되고 있다. 입체 TV가 실용화되기 위해서는 시청자에게 피로를 주지 않고 자연스러운 입체감을 제공하고, 다수가 시청할 수 있을 정도로 넓은 시역(Viewing zone) 조건을 갖추는 것이 중요하다.

입체 TV의 실용화를 위해 최근, 여러 종류의 3차원 디스플레이가 개발되고 있다. 그러나, 디스플레이 개발의 기술적 측면이 너무 중요시 된 나머지, "사람이 보기위한 것"이라는 본래의 목적이 경시되고 있는 경향이 있다. 그 목적이란, 3차원 디스플레이와 인간의 입체시 기능과의 인터페이스라고 할 수 있다. 예를 들면, 복수의 정보 처리 장치를 회선 등에 접속하여, 어떤 기능을 실현하고자 할 때, 장치간의 인터페이스가 부적합하면, 그 기능이 전혀 작동되지 않는다는 것이다. 그것과 마찬가지로, 3차원 디스플레이로 표시된 영상과 그것을 받아들이는 인간의 시각 기능(視覺機能)이 부적합 하면 여러 가지 문제가 발생하게 된다.

3차원 영상 표시 장치 중에서 현재 가장 잘 알려지고 완성도가 높은 것이 특수 안경을 사용하는 양안 시차를 이용한 2안식 입체 영상 표시 장치이다^[1]. 이러한 종류의 3차원 영상 표시 장치는 빛의 편광 특성을 이용하거나 액정 셔터를 이용하는 것이 대표적이다. 특수 안경을 사용하는 양안 시차 3차원 영상 표시 장치는 일반적인 TV에 비하여 2배

* 한국과학기술연구원영상미디어센터
Korea Institute of Science and Technology, Imaging Media Research Center

또는 그 이하의 데이터양 만으로 실감있는 3차원 영상을 제공 가능하다. 보다 큰 스크린을 적용함으로써 몰입감을 극대화 시킬 수 있다. 실제로, 종래의 2안식(stereo) 입체 디스플레이는 시각 기능과의 부적합한 인터페이스 때문에, 여러 종류의 문제가 발생되고 있다. 관찰자가 옆으로 움직일 경우 운동시차가 제공되지 않는다든가, 카드보드 효과(Cardboard Effect)와 상정효과(Puppet Theater Effect)라고 불리는 입체 영상의 왜곡(일그러짐) 등의 문제로 인해 시청자가 자연스러운 입체 영상을 지각할 수 없게 된다. 특히 장시간 관람시 치명적인 눈의 피로 현상이 발생한다. 이러한 현상의 완벽한 규명은 아직 알려져 있지 않으나, 양안 시차와 각각의 눈에서 일어나는 초점 조절 현상의 불일치가 그 가장 큰 원인으로 발표되었다. 이러한 문제로 인하여 앞에서 언급한 여러 장점에도 불구하고 폭넓게 사용되지 못하고 있다.

이러한 문제로부터 출발하여, 양안의 수렴 작용과 각각의 눈의 초점 조절 불일치를 해결 할 수 있는 1인의 관찰자만을 위한 HMD(Head Mounted Display) 형태의 3차원 영상 표시 장치를 본 논문에서 설명하고 그 가능성을 실험 결과로 검증하였다.

II. 기본 원리

종래의 2안식 입체 영상 표시 장치는 양안의 수렴을 유도한 정보가 양안의 융합상이 보여주는 위치에 있었으나, 각각의 눈에서 발생하는 조절 자극은 그림 1과 같이 디스플레이면에 있었다. 따라서, 양안 망막에 맺힌 영상상의 부등(Binocular Retinal disparity)에 의해 크게 두드러지듯이 보이는 융합영상에서는, 수렴 반응과 조절 반응의 모순이 발생

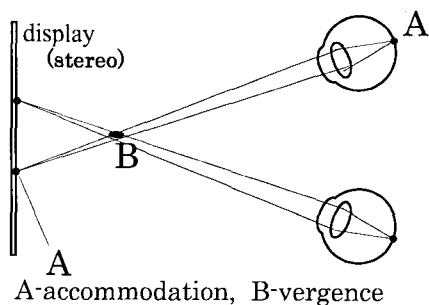


그림 1. 스테레오스코픽 디스플레이에서의 수렴각과 단안 조절의 불일치
Fig. 1. Mismatch between convergence and accommodation of the stereoscopic display system

하는 경우가 있다. 그것과 관련하여, 눈의 조절과 수렴 및 동공의 시차 측정을 실시 검증한 연구 보고서가 있다^{[2][3]}.

사람의 눈의 동공의 크기는 평균적으로 약 2~8mm로 주위의 밝기에 따라 자연스럽게 조절된다. 따라서 초다시점(SMV: Super Multi-View)^[4]의 조건을 만족하기 위해서는 동공의 크기가 가장 작은 경우에도 수평/수직 방향에 각각 최소한 2개 이상의 시차영상이 제공되어야 함을 알 수 있다. 이러한 경우에 각 눈의 수정체 렌즈는 일정 깊이의 표 현하고자 하는 점에 초점을 맞출 수 있을 것이라고 생각된다. 물론, 이러한 조건을 만족시킬 수 있는 3차원 영상 표시 장치가 있는 경우에는 보다 정확한 만족의 조건을 찾을 수 있으나, 아직까지 다시점 영상을 기초하여 초다시점 영역까지 제공 가능한 3차원 영상 표시 장치가 없으므로 구체적인 조건을 검증할 수 없다^{[4][6]}. 또한 시스템적인 조건 이외에도 3차원 영상의 인식은 사람의 눈의 시세포의 크기, 분포와 뇌의 인식 작용과 연관되어 있으므로 진정한 검증은 보다 많은 실험적 근거를 필요로 한다.

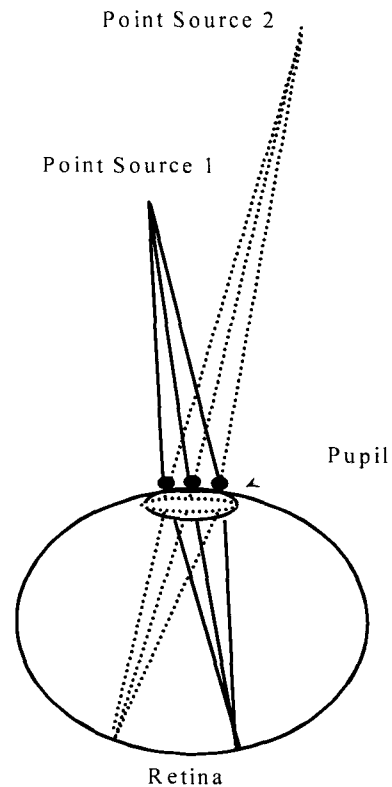


그림 2. 초점 조절의 만족
Fig. 2. The basic idea of the satisfaction of accommodation

본 논문의 기본 아이디어를 그림 2에 나타내었다. 그림 2에 세 개의 수평 시차 영상만으로 한쪽 눈의 초점 조절을 만족시키는 상황을 표시하였다. 그림 2의 동공 부분에 표시한 세 점은 세 개의 수평시차 영상들 각각의 수렴점을 나타낸다. 점광원 1의 경우에는 눈의 수정체 렌즈가 두꺼워짐으로써 망막상에 상을 일치시킬 수 있고, 그림에서의 수정체 렌즈를 실선으로 표시하였다. 그리고 점광원 2의 경우에는 점광원 1의 경우에 비하여 수정체 렌즈는 얇아짐으로써 망막상에 점광원 2의 상을 일치시킬 수 있게 되고, 이 경우의 수정체 렌즈를 점선으로 표시하였다. 이러한 경우에는 실제의 영상과 가상적으로 제공하는 3차원 영상과의 차이를 최소화시킬 수 있다.

이러한 가정을 만족할 수 있는 시스템은 필요한 정보량이 방대하고, 광학적으로 구현하기가 매우 어렵다. 따라서 현재 상태에서는 관찰자 두 눈 각각에 대하여 만 상기 조건을 만족할 수 있는 시스템은 현재의 기술로 구현할 수 있다. 이러한 경우 시스템은 각각의 눈에 해당할 수 있도록 두개의 유닛으로 구성된다. 또한 수평 및 수직의 모든 방향에 대한 초다시점 조건을 만족시키는 것이 가장 자연스러우나 이 또한 광학적으로 구현하기가 어렵다. 따라서 우선

적으로 수평 방향에 한하여 두 눈 각각에 초다시점의 조건을 만족하는 시차영상을 제공하는 시스템을 구성하였다. 이러한 경우에 관찰자의 수직 방향 자유도를 제한하는 경우에는 수평 방향만의 초다시점 조건 만족의 시차 영상만으로도 각 눈의 초점 조절을 만족시킬 수 있다.

III. 실험 장치

그림 2의 상황을 만족시킬 수 있는 시스템을 그림 3에 두었다. 이 시스템에서는 FLC(D(Ferroelectric Liquid Crystal Display, Made by Displaytech INC.)를 공간 광 변조기(SLM: Spatial Light Modulator)로 사용하였다. FLCD의 공간 해상도는 256x256이고 최대의 초당 프레임 갱신률은 2.5KHz이다. 또한 각 픽셀은 1bit(On/Off)의 데이터만 표현 가능하고 128 프레임에 해당하는 데이터를 프레임 메모리에 저장할 수 있다. 본 실험에서는 40개의 시차영상을 30Hz의 갱신률로 재생하였다. 따라서 전체 초당 갱신률은 1.2KHz이다. 이러한 40개의 시차영상은 동공 주위에 수평적으로 약 4mm의 폭에 균등하게 위치한다.

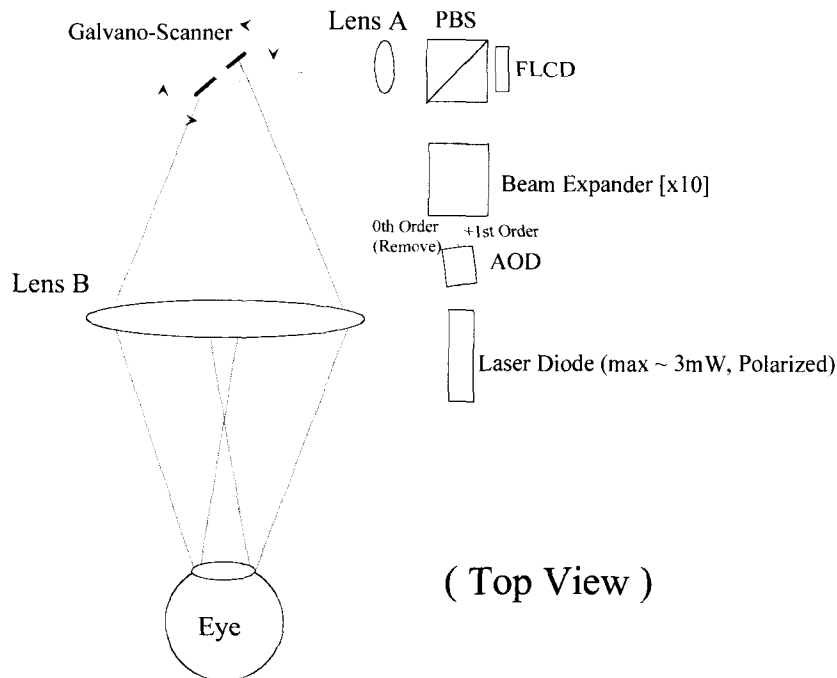


그림 3. HMD 형태의 SMV 3차원 영상 표시 장치(한쪽 눈의 경우)
 Fig. 3. HMD type SMV 3D display unit for only one eye

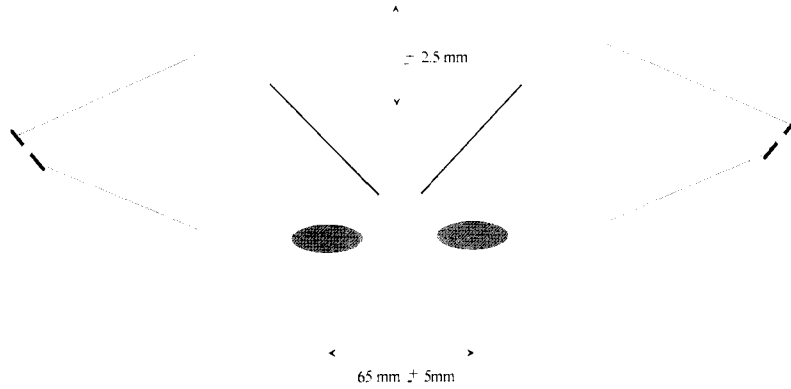


그림 4. HMD 형태의 SMV 3차원 영상 표시 장치(양쪽 눈의 경우)
 Fig. 4. HMD type SMV 3D display unit for both eyes

렌즈 A와 렌즈 B의 초점 거리는 각각 30mm 와 74mm 이다. 렌즈 A와 갈바노 스캐너(Galvano-Scanner)사이의 거리는 65mm 이고 갈바노 스캐너와 렌즈 B사이의 거리는 140mm이다. 그리고 렌즈 B와 눈 사이의 거리는 130mm이다.

그림 3에서 입사되는 레이저 빔은 AOD(Acousto-Optic Deflector)를 지나면 연속 레이저광(He-Ne Laser, 633nm)에서 펄스 모드로 변환된다. 이러한 변환으로 순간순간 재생되는 FLCD의 영상이 갈바노 스캐너에 의하여 수평적으로 흐려지는 것을 막는다. 펄스화된 레이저 입력 빔은 빔 확장기(Beam Expander)에 의하여 확대되어 FLCD의 전체 면적을 사용 가능케 한다. 편광 특성을 이용하는 FLCD에 확대된 레이저 빔이 반사되면서 2차원 시차영상의 정보가 포함되고 편광 광 분할기(PBS: Polarization Beam Splitter)를 지나 갈바노 스캐너의 미러에 반사되어 각각의 시차 영상이 형성된다. 이러한 각각의 시차영상이 눈의 주위에 수렴할 수 있게 하기 위하여 렌즈 A와 렌즈 B를 사용한다. 본 실험 장치에서의 갈바노 스캐너의 진동 각도는 4도로 하였다. 그 결과로 수평 방향의 시야각은 최대의 경우 17도를 얻을 수 있다. 또한 수직 방향의 시야각은 10도 이다.

본 논문의 수평 방향 초다시점 만족 3차원 영상 표시 장치를 양쪽 눈에 모두 사용하기 위한 확장을 그림 4에 두었다. 그림 4의 시스템을 구축하는 경우에 중심부의 미러를 이동함으로써 각각의 관찰자의 양안 거리가 다른 경우에 조절 가능하게 할 수 있다.

IV. 결 과

본 HMD형 3차원 영상 표시 장치의 구성에 따른 눈의 초점 조절 만족에 대한 실험 결과를 그림 5에 두었다. 사람이 인식하는 3차원 영상의 실험 결과를 동일하게 촬영할 수 있는 방법이 없으므로, 구경 약 5mm인 인공적 동공을 디지털 비디오 카메라의 입사 렌즈 앞에 부착하여 최대한 사람의 관찰과 유사한 상황에서 초점 조절 실험을 하였다. 구경을 5mm로 실험한 것은, 동공의 크기가 평균적으로 2~8mm이므로 이의 중간 값을 사용한 것이다. 그림 5에서의 촬영 결과 그림들은 관찰자 수명이 실제의 눈으로 경험한 결과를 3가지의 대표적 거리에 초점을 두어 촬영한 것이다. 실험을 위한 3차원 영상은 컴퓨터로 관찰자로부터 200mm, 1200mm, 그리고 10200mm 떨어진 각각 세 개의 수직선으로 구성된 가상 물체를 40개의 수평 시차영상을 계산하여 준비하였다. 그림 5에서 맨 아래와 중간 그리고 가장 위의 각각의 세 개의 수직선들은 관찰자의 눈으로부터 200mm, 1200mm, 그리고 10200mm 떨어진 위치의 계산된 3차원 물체들이다. 사람의 눈과 비디오 카메라의 동일한 점은 비교적 가까이 있는 물체들은 구성 물체들의 깊이가 다를 때 동시에 구성 물체들에 초점을 맺을 수 없다는 것이다. 따라서 비디오 카메라의 렌즈의 초점을 각각의 세 개의 거리에 맞추어 촬영한 것은 눈으로 관찰한 결과와 일치한다. 그림 5(a)의 결과는 비디오 카메라의 입사 렌즈의 위치로부터 200mm떨어진 거리에 초점을 둔 경우의 결과이다. 이 결과로부터 맨 아래의 세개의 수직선은 선명하게

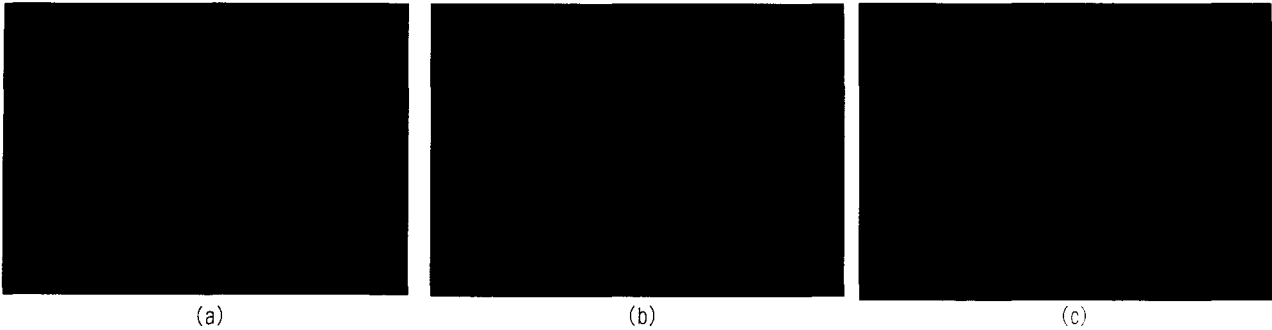


그림 5. 한쪽 눈의 초점조절에 대한 실험 (a) 눈으로부터 0.2m 떨어진 아래 세 개의 수직선에 초점을 둔 경우의 결과 (b) 눈으로부터 1.1m 떨어진 중간 세 개의 수직선에 초점을 둔 경우의 결과 (c) 눈으로부터 10.2m 떨어진 위 세 개의 수직선에 초점을 둔 경우의 결과
 Fig. 5. The experiment of the accommodation for one eye (a) Focused on the bottom three lines (0.2m from eye) (b) Focused on the middle three lines (1.1m from eye) (c) Focused on the top three lines (10.1m from eye)

촬영되고 중간과 위의 세 개의 수직선들은 초점이 맞질 않아 흐려지는 것을 확인할 수 있다. 그림 5(b)의 경우에는 1200mm 떨어진 중간의 세 개의 수직선에 초점을 두고 촬영한 결과이다. 맨 아래의 세 개의 수직선이 흐려짐을 확인할 수 있다. 그림 5(c)의 경우에는 맨 위의 세 개의 수직선에 해당하는 10200mm의 거리에 초점을 두고 촬영한 결과이다. 이 결과는 그림 5(b)의 결과와 큰 차이가 없다. 사람의 눈은 통상 수정체 렌즈의 조절만으로 정확히 초점을 맺을 수 있는 최대 거리가 평균적으로 2~3m이다. 또한 비디오 카메라도 정확하게 초점을 맞출 수 있는 것도 사람의 눈과 큰 차이가 없다. 따라서, 그림 5(C)가 사람과 마찬가지로 비디오 카메라의 초점 조절 만으로는 그림 5(b)의 결과와 큰 차이가 없게 된다. 초다시점 형태의 3차원 영상 표시 장치를 사용하여, 이와 같은 실험 결과로부터, 수평 방향의 초점 조절을 만족할 수 있는 가능성을 확인하였다. 이러한 결과의 중요성은 현재까지 알려진 3차원 영상 표시 장치의 가장 큰 문제인 눈의 피로 현상을 제거하거나 완화시킬 수 있는 가능성을 보여준다는 것이다.

V. 결론

시각적으로 인식한다는 것은 단순히 발생하는 사건이 아니며, 빛 에너지에서 출발한 시각적 자극이 시각세포에 의하여 신호화되어 신경 세포를 따라 뇌에 전달되고, 뇌에서는 경험적 지식을 참고하여 복잡한 분석, 처리 과정을 통해 인식을 수행한다. 이러한 정보가 뇌에서 처리되는데, 소요

되는 시간은 약 0.2~0.3초가 걸리는 지각 및 인식 작용이다. 3차원 영상을 볼 때 우리가 느끼는 입체감이라는 것은 단순한 시각 정보 처리의 의미 이외에 심리요인이 작용하고 있는 것이다. 그러므로 인간의 지각, 인지에 관련된 심리작용, 특히 시각 작용에 대한 연구가 본 논문의 결과와 연계되어 진행되어야 한다.

이러한 배경으로부터, 현존하는 3차원 영상 표시 장치의 가장 큰 문제인 눈의 피로 현상을 감소 또는 제거할 수 있는 초다시점 조건을 만족할 수 있는 시스템을 개발하여 단안의 초점 조절을 만족함을 실험적으로 확인하였다.

참고 문헌

- [1] Takehiro Izumi, 김은수이승현 역 : 3차원 영상의 기초, 기다리, 1998.
- [2] 奥山文雄, 村松知幸, 所敬: 調節・輻輳・瞳孔の同時測定, 日本眼光學學會誌, pp. 80-84, 1985.
- [3] 奥山文雄, 八名和夫, 池田貴司, 小山田健二: 立體映像による眼のピント調節と輻輳, *テレビジョン學會技術報告*, 20, 24, 13-18, 1996.
- [4] 梶木善裕, 吉川浩, 本田捷夫: 集束化光源列 (FLA) による超多眼式立體ディスプレイ 3次元畫像コンファレンス, 108-113, 1996
- [5] 永井大輔, 本田捷夫: 投影光學系扇形配列による立體表示裝置の開発, *高臨場感ディスプレイフォーラム2000*, 電子情報通信學會技術研究報告 2000, EID2000-231~242.
- [6] S. K. Kim, Y. Kajiki and T. Honda, "Three-dimensional display system for one observer usnig multiprojection of 2D images from an arc," *SPIE2001, Stereoscopic Displays and Applications XII, Proc.*, 2001.

저 자 소 개



김 성 규

- 1989년 : 고려대학교 물리학과 졸업 (이학학사)
- 1991년 : 고려대학교 양자광학 졸업 (이학석사)
- 2000년 : 고려대학교 양자광학 박사 학위 취득
- 1999년~2001년 : Telecommunications Advancement Organization, Japan (PostDoc)
- 2001년~현재 : 한국과학기술연구원 영상미디어 센터 연구원
- 주관심분야 : Holographic video system, SMV(Spouer-multi view) display system, Digital holography