

이중 슬릿-미러 배열체를 이용하여 아이박스를 확장한 가변초점 근안 디스플레이 연구

한지윤 / 서울대학교 3D Optical Engineering Lab.

다양한 매체를 이용하여 현실과 더욱 가까운 가상 환경을 경험하고자 하는 사용자의 수가 증가함에 따라, 일반적인 평판 디스플레이 대비 깊은 몰입감을 제공할 수 있는 장치 중 하나인 근안 디스플레이에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

아이박스, 시야각(Field of View), 자연스러운 깊이 표현은 근안 디스플레이 사용자에게 큰 영향을 미치는 요소로 작용한다. 기존의 근안 디스플레이는 두 눈의 시차를 고려하여 생성한 시점 영상을 제공함으로써 사용자가 양안 시차를 통해 3차원 입체 영상을 인지하도록 한다. 이때, 각 눈의 초점 조절에 의해 인지되는 가상 영상의 깊이와 두 눈의 수렴을 통해 인지되는 가상 영상의 깊이 차이가 발생하는데, 이러한 현상을 수렴-초점 불일치라고 한다. 수렴-초점 불일치는 사용자의 눈이 초점을 맺는 위치가 고정되지 못해 쉽게 피로감을 느끼도록 하며, 영상 깊이를 정확히 인지하는 것에 어려움을 유발할 수 있다. 이러한 문제를 완화하기 위한 방법으로 사용자가 인지하는 깊이에 가상 영상이 표현될 수 있도록 광학계의 초점 거리를 조절하는 가변초점 근안 디스플레이 방식이 적용될 수 있다.

가변초점 근안 디스플레이를 구현하기 위한 핵심 소자인 초점 변환 렌즈는, 전기 신호를 인가하여 렌즈의 형태를 물리적으로 변경하는 방식으로 굴절력을 조절하는 것이 일반적이다. 이와 같은 렌즈의 동작 특성은 3차원 정보 표현을 위한 고속 구동이 가능한 렌즈의 구경을 극히 제한한다는 문제로 이어진다. 렌즈 구경의 제한은 시스템의 에텐듀(Etendue)를 감소시키고, 장시간 착용을 위한 작은 규격의 광학계가 요구되는 근안 디스플레이 구조에서는 고정된 에텐듀에서 아이박스와 시야각 간의 상충 관계가 특히 부각된다. 따라서, 초점 변환 렌즈의 구경이 제한되면 아이박스와 시야각의 상충 관계가 더욱 심화되어, 충분한 크기의 아이박스와 시야각을 동시에 확보하는 것이 어려워진다.

이러한 한계를 극복하기 위하여 본 연구에서는 가변초점 근안 디스플레이 구조에 이중 슬릿-미러 배열체를 결합하여 수렴-초점 불일치 문제를 완화하면서도, 초점 변환 렌즈의 작은 구경에 따른 아이박스 제한을 개선할 수 있는 광학 구조를 제안한다.

이중 슬릿-미러 배열체는 투과형 채귀반사체의 한 종류로, 얇은 거울이 조밀하게 정렬된 두 배열이 수직으로 쌓

졸업논문 소개

여 있는 구조를 가진다. 광원으로부터 배열체에 입사된 빛은 배열체의 수직인 각 층에서 홀수-홀수 번의 반사 과정을 겪은 뒤, 배열체 면을 기준으로 대칭된 위치에 광원의 실상을 형성한다. 만일 디스플레이를 광원으로 활용한다면, 디스플레이의 실상이 공중에 표현되는 플로팅 디스플레이를 구현할 수 있다.

본 연구에서는 이중 슬릿-미러 배열체의 특성을 활용하여 초점 변환 렌즈의 실상을 형성하고, 해당 위치에 사용자의 눈을 위치시켜 아이박스가 초점 변환 렌즈의 물리적 크기와 동일하게 확보되도록 하였다. 이는 아이박스가 시야각의 크기에 의존적이지 않고 고정적인 크기로 형성되므로, 시야각이 아이박스에 비의존적으로 확장될 수 있음을 의미한다.

제안하는 방법의 기능은 광학 실험을 통해 검증되었으며, 실험에서는 10mm 구경의 초점 변환 렌즈를 이용하여 시스템을 구성하였다. 아이박스의 크기는 영상의 시야각과 밝기 변화를 기준으로 정의하였으며, 이론적으로 계산한 것과 동일하게 초점 변환 렌즈의 구경과 일치하는 10mm의 크기로 아이박스가 형성됨을 확인하였다. 실험에서는 0.7인치 마이크로 디스플레이 패널을 사용하였으며, 이때의 시야각은 약 34도로 도출되었다. 그러나, 본 구조에서는 아이박스의 크기가 고정적이므로, 디스플레

이 패널의 크기를 증가시키거나 디스플레이 패널과 렌즈군 사이의 거리를 조절하여 시야각을 확장할 수 있으며, 실험을 통해 최대 70도의 시야각이 확보될 수 있음을 검증하였다.

마지막으로, 본 연구에서는 이중 슬릿-미러 배열체의 특성을 활용하여, 굴절 이상 시력을 가진 사용자에게 가상의 시력 보정 렌즈를 착용한 것과 동일한 효과를 얻을 수 있도록 하는 시력 보정 방법과, 초점 변환 렌즈와 이중 슬릿-미러 배열체의 광학적 수차에 의한 영상의 화질 저하를 개선하기 위한 입력 영상 선 보상 방법을 제안하였다. 특히, 초점 변환 렌즈의 외곽 부분에서 수차가 심화되기 때문에, 아이박스 내의 눈의 위치에 따라 달라지는 영상의 왜곡을 고려하여 영상 선 보상을 진행하였다. 이후 실험을 통해 시력 보정과 입력 영상 선 보상 기법 적용을 통한 화질 개선이 가능함을 검증하였다.

본 연구에서는 초점 변환 렌즈와 이중 슬릿-미러 배열체를 활용한 가변초점 근안 디스플레이 구조에서 아이박스를 확장하고, 영상의 화질을 개선할 수 있는 방법을 제안하였다. 향후 초점 변환 렌즈의 성능 개선이 이루어진다면, 제안하는 방법들을 활용하여 가변초점 근안 디스플레이의 성능을 더욱 효과적으로 발전시킬 수 있을 것으로 기대된다.



한 지윤

- 2017년 3월 ~ 2022년 2월 : 인하대학교 정보통신공학과 학사
- 2022년 3월 ~ 2024년 2월 : 인하대학교 전기컴퓨터공학과 석사
- 2024년 4월 ~ : 서울대학교 3차원광공학연구실 연구원
- 주관심분야 : 근안 디스플레이, 3차원 디스플레이