

회절 광도파로를 통한 컴퓨터 생성 홀로그램 이미지 전달 시뮬레이션

Numerical simulation of computer-generated hologram image delivery through a diffractive waveguide

이우림, 정세현, 김휘*
고려대학교 세종캠퍼스 전자·정보공학과
*hwikim@korea.ac.kr

Abstract— 본 논문에서는 파동 광학적 수치 해석을 활용하여, 광도파로에서 컴퓨터 생성 홀로그램 이미지 전달 시뮬레이션을 제안한다. 대면적 광학 구조에서의 광필드 분포와 위상 프로파일을 분석을 통해 이미지 전달시 발생하는 수차를 보정 할 수 있다.

I. 서론 및 배경

현재 증강현실 근안 디스플레이 연구 중 광도파로 기반의 홀로그래픽 디스플레이 연구들이 각광 받고 있으며 관련 연구 중 복원된 홀로그램 품질 개선을 위해 카메라 인 더 루프(Camera in the loop, CITL)와 같은 출력단 위상 수차 분석을 통한 컴퓨터 생성 홀로그램(Computer Generated hologram; CGH) end-to-end 최적화 방법이 보고 되고 있다.^{(1),(2)} 이 기술은 계산된 CGH와 홀로그래픽 디스플레이 시스템 셋업에서 복원된 홀로그램의 차이를 Deep-learning 기술로 보상하여 홀로그램의 품질을 높이는 방법이다.

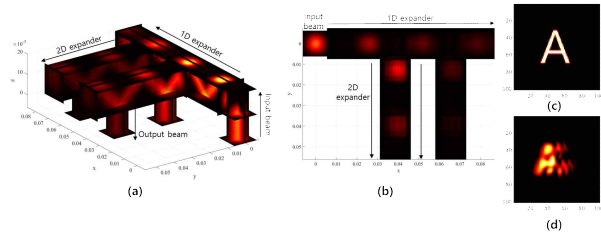
그러나 end-to-end 홀로그램 최적화 방식은 광도파로 광학 시스템에서 발생하는 수차 정보를 수치 해석적으로는 규명하지 못하고 사용자의 눈으로 들어오는 파면의 위상 정보를 측정하고 이를 보정한다는 한계점을 가지고 있다. 따라서 광도파로 홀로그래픽 디스플레이의 수차를 정확하게 보정하기 위해서는 입력단에서 입사한 광정보를 광도파로 내부로 진행시켜 출력단에서 출사되는 위상 정보의 계산이 필요하다. 이처럼 광도파로를 파동 광학적 분석을 위해 제시된 방법 중 하나로 파동 전파 방법(Wave Propagation Method, WPM)이 제시되었다.⁽³⁾

본 연구에서는 기존의 end-to-end 최적화를 통한 출력단 파면 보정 방법이 아닌 WPM을 기반으로 광도파로 내부 광파의 위상을 분석하여 수차를 일으키는 원인을 규명하고 이를 보정하는 방법을 제안한다.

II. 연구 내용 및 결과

WPM은 연속적인 파동 방정식을 격자로 이산화 하여 계산하는 방법론으로, 경계 조건을 설정하기 때문에, 비균질(in-homogeneous) 매질에서의 계산도 큰 오차 없이 가능하다. 따라서, 파동 전파의 복잡한 특성을 분석하는 데 강력한 도구

로 쓸 수 있으며, 특히 대면적 광도파로 시스템 내에서의 파동 전파를 해석하는 데 효과적이다.



[그림 1] (a), (b) Diffractive waveguide 내부 광전파 시뮬레이션 (c) 광도파로 입사단의 input CGH (d) 광도파로 출력단의 output image

[그림 1] (a), (b)는 회절 광도파로에서의 가우시안 빔(Gaussian Beam) 전파 시뮬레이션 결과를 보여준다. 1D expander에서 2D expander로 빛이 전파될 때, 기존 광 필드에 2D expander 방향 위상 프로파일을 곱하여 전파 시킨다. [그림 1] (c)는 광도파로를 통해 전달되는 입력 CGH를 나타낸다. 이에 따라 [그림 1] (d)에서 광도파로의 출사 동공에서 복제되는 CGH를 관측할 수 있다.

결론적으로, 본 연구에서는 WPM을 기반으로 광도파로에서 CGH 이미지 전달 시뮬레이션을 제시하고, 내부의 위상 프로파일 분포를 계산 및 분석하여 광도파로 디스플레이의 수차를 정확하게 보정할 수 있음을 보이고 있다.

사사

This work was supported by Alchemist Project grant funded by Korea Planning & Evaluation Institute of Industrial Technology (KEIT) & the Korea Government (MOTIE) (Project Number: 1415185027, 20019169).

참고문헌

- [1] Jang, C et al, “Waveguide holography for 3D augmented reality glasses”, Nature Communications, Vol. 15 no. 1, 1-12 (2024).
- [2] Gopakumar, M, et al, “Full-colour 3D holographic augmented-reality displays with metasurface waveguides”, Nature, 613, 123-128 (2024).
- [3] S. Schmidt, et al, “Wave-optical modeling beyond the thin-element-approximation”, Optics express, Vol. 24, No. 26, 30188-30200 (2016).