

체적 홀로그램을 이용한 실시간 홀로그래픽 디스플레이 연구

강훈중*, 안충현*, 이승현**

*한국전자통신연구원(ETRI)

**광운대학교 전자공학과

A study of real-time holographic display based on volume hologram

Hoonjong Kang*, Chunghyun Ahna*, Seunghyun Lee**

*Radio and Broadcasting Research Laboratory, ETRI

**Department Of Electronic Engineering, Kwangwoon University

E-mail : *khj63409@etri.re.kr, *hyun@etri.re.kr, **shlee@kw.ac.kr

Abstract

This study is focused on proposing a creative system that can display 3D hologram on the real-time basis. This method applies 3D display on volume hologram based on CGH. The process of implementing the system consists of two stages of fringe pattern recording for passive component that includes information on hologram, and irradiating object beam. Distinguished from an existing electronic holographic display system, this system is free from the process of a huge calculation that is necessary to compose CGH for a real-time 3D display.

먼저 공간 광 변조기와 광학계에 의해 디스플레이가 되는 범위가 제한된 가상공간 좌표계를 정의한다. 3 차원 그래픽상에서의 범위는 무한대이며 이를 모두 홀로그램으로 디스플레이 하는 것은 불가능하다. 따라서 범위가 무한대인 3 차원 그래픽 모델을 홀로그램으로 디스플레이 하기 위하여 3 차원 컴퓨터 그래픽상의 World space 를 범위가 제한되어 있는 가상공간으로 변환하여 디스플레이 하고자 하는 3 차원 모델이 자유공간에 디스플레이 될 수 있도록 가상공간을 정의한다.

I. 서론

본 논문에서 제안한 방법은 자유공간에 디스플레이 되는 영역의 모든 포인트에 대한 포인트 홀로그램을 생성하여 광굴절 기록 매질에 기록함으로써 홀로그래픽 수동소자를 제작하고 이를 이용해 TV의 주사선 방식과 유사한 방법으로 자유공간에 홀로그래픽 포인트들을 디스플레이 시킴으로써 3 차원 영상을 자유공간에 디스플레이 할 수 있는 방법이다[1]. 홀로그래픽 수동소자를 이용한 시스템은 다음과 같이 홀로그래픽 디스플레이 수동 소자 제작단계와 실시간 3 차원 홀로그래픽 디스플레이 단계로써 두 단계로 나뉘어 진다.

2.2 가상공간 샘플링

이렇게 범위가 정의된 가상공간을 공간 광 변조기의 공간 주파수와 디스플레이 시스템에 따라 정의된 샘플링 개수 - $(0, 0, 0) \sim (X-1, Y-1, Z-1)$ - 즉, X, Y, Z와 샘플링 이론에 따라 샘플링을 한다[2].

각 샘플링 개수와 샘플링 간격은 물리적인 값과 비례한다. 즉, 공간 광 변조기를 이용하여 홀로그래픽 디스플레이를 할 때 홀로그램은 자유 공간상에 디스플레이 되며, 자유 공간상에 디스플레이 되는 범위는 제한되어 있다. 따라서 가상 공간상에서의 샘플링 개수는 자유 공간상에서의 3 차원 영상을 구성하는 포인트 개수와 동일하며, 가상 공간상에서의 샘플링 간격과 자유 공간상에서의 샘플링 간격은 서로

II. 홀로그래픽 수동소자 제작

2.1 가상공간 정의

동일하다.

2.3 포인트 홀로그램 생성

3 차원 공간의 가상공간을 샘플링 하여 생성된 디지털 가상공간의 각 샘플링 포인트에 따라 포인트 홀로그램을 생성한다[3-5]. CGH(computer-generated hologram)를 생성하기 위한 많은 알고리즘이 연구되고 있다. 그 중 본 논문에서는 모든 방향에 대한 회절 성분을 포함하는 Fresnel Hologram 생성 알고리즘을 이용하였다. 만일 광 굴절 매질의 기록밀도 문제 및 수평방향의 회절만을 필요로 한다면 HPO(Horizontal Parallax Only) Hologram 생성 알고리즘을 이용하면 될 것이다[5]. Fresnel Hologram 생성 알고리즘을 이용하여 포인트 홀로그램을 생성하는 과정을 그림 1 에 나타내었다.

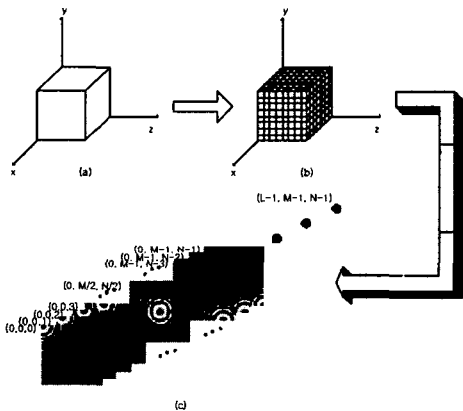


그림 1. 각각의 샘플링 포인트에 대한 포인트 홀로그램 생성 과정

2.4 포인트 홀로그램 기록

홀로그래픽 수동소자를 만드는 마지막 단계로서 위와 같은 방법에 의해 생성된 포인트 홀로그램을 광굴절 기록 매질에 공간 광 변조기를 이용하여 회절 효율이 균일하게 기록 하는 것이다. 체적 광굴절 기록 매질에 다중 홀로그램을 기록하기 위해 각 다중화, 공간 다중화, 위상 다중화 등을 이용할 수 있다. 하지만 본 논문에서는 가장 일반적인 각 다중화를 이용하여 기록 및 디스플레이 하는 방법에 대해 기술하였다. 이에 대한 과정을 그림 2 에 나타내었다.

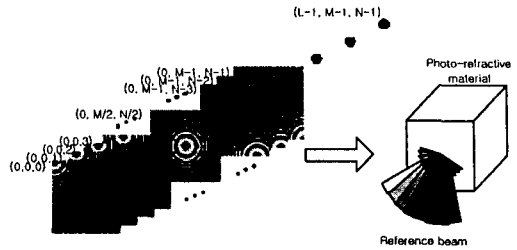


그림 2. 포인트 홀로그램 기록 과정

Fresnel Hologram 생성 알고리즘에 의해 $X \times Y \times Z$ 개의 생성된 포인트 홀로그램을 광굴절 매질에 첫번째 좌표인 $(0,0,0)$ 에 해당하는 포인트 홀로그램에서부터 마지막 좌표인 $(X-1, Y-1, Z-1)$ 를 나타내는 포인트 홀로그램까지 $\Delta\theta$ 간격으로 각 다중화 방법을 이용하여 기록을 한다. 이때, 포인트 홀로그램을 기록하는 동안 삭제 작용이 발생하기 때문에, 동일한 회절 효율의 포인트 홀로그램을 저장하기 위해서는 노출 스케줄에 따라 기록을 한다.

III. 실시간 홀로그래픽 디스플레이

가상공간상의 모든 포인트에 대한 포인트 홀로그램이 기록된 홀로그래픽 수동소자를 이용하여 3 차원 영상을 실시간으로 자유 공간상에 디스플레이 하는 방법은 다음과 같이 두 단계로 이루어진다.

3.1 가상공간 매핑

본 논문에서 제안한 시스템은 컴퓨터 그래픽에 의해 생성된 3 차원 영상 모델을 입력으로 한다. 따라서 입력된 3 차원 영상은 World space 좌표계에 의해 표현된 영상이며, 이를 공간 광 변조기 및 홀로그래픽 디스플레이 광학계의 특성에 맞게 정의된 가상공간 좌표계로 매핑 시킨다. 이는 3 차원 영상을 홀로그램으로 범위가 제한된 자유 공간상에 디스플레이를 위함이다.

3.2 홀로그래픽 디스플레이

위와 같이 디지털 가상 공간에 매핑된 3 차원 영상은 좌표 값 (x, y, z) 와 해당 포인트에 대한 amplitude 를 갖는다. 얻어진 정보 즉, 좌표값과 해당 좌표에 대한 amplitude 값을 이용하여 전 단계에서 제작된 홀로그래픽 수동 소자에 참조빔을 제어하여

입사 시킴으로써 홀로그래픽 디스플레이를 한다.

홀로그래픽 수동소자를 이용한 홀로그래픽 디스플레이의 기본 아이디어는 TV의 전자총에 의한 디스플레이이다. TV의 전자총은 2차원의 영상을 화면에 디스플레이 하기 위해 수평 및 수직으로 전자총의 전자 방출 강도를 조절하며 scanning을 하고, 1초에 30frame으로 디스플레이 한다. 그럼으로써 TV 화면에 2차원 영상을 디스플레이 한다.

홀로그래픽 수동소자에는 홀로그래픽 디스플레이 시스템에 의해 자유 공간상에 (0,0,0)에서부터 (X-1, Y-1, Z-1)까지 포인트로 디스플레이가 될 $X \times Y \times Z$ 개의 포인트 홀로그램이 기록되어 있다. 포인트 홀로그램이 기록되어 있는 홀로그래픽 수동 소자에 참조빔을 x, y, z 방향으로 scanning을 함으로써 자유공간상에 불투명한 홀로그래픽 디스플레이가 가능하며, 이를 1초에 여러 frame을 디스플레이 함으로써 동영상 홀로그램이 가능하다.

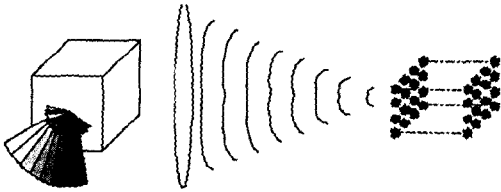


그림 3. 포인트 홀로그램이 기록되어 있는 광굴절 기록 매질에 의한 홀로그래픽 디스플레이

범위가 제한된 자유공간상의 모든 포인트에 대한 포인트 홀로그램이 기록된 광굴절 기록 매질에 첫 포인트 (0,0,0)에 해당하는 포인트 홀로그램이 기록되어 있는 $\Delta\theta$ 위치에 기록시 동일한 참조빔을 입사 시킴으로써 기록되어 있던 포인트 홀로그램에 의해 참조빔이 굴절 및 회절 되어 자유공간상의 좌표 (0,0,0)에 포인트로 나타난다. 이어서 입사각 $2\Delta\theta$ 에 참조빔을 입사 시킴으로써 자유공간 (0,0,1)에 포인트를 나타낼 수 있다. 이러한 방법으로 입사각 $(X \times Y \times Z) \Delta\theta$ 까지 순차적으로 입사 시킴으로써 자유공간 (0,0,0)에서부터 (X-1, Y-1, Z-1)까지 모든 포인트를 나타낼 수 있다. 즉, 이것은 범위가 제한된 자유공간상의 모든 포인트를 광굴절 기록 매질의 순차적인 굴절 및 회절에 의해 나타낼 수 있음을 나타낸다. 이때 입사빔의 강도를 조절할 경우 강도가 서로 다른 포인트가 디스플레이 됨으로써 홀로그램

영상이 가능하다. 이러한 개념은 TV의 주사선의 개념을 3차원으로 확장한 개념이며, 홀로그래픽 수동소자에 의해 가능한 것이다. 이에 대한 내용을 그림 3에 나타내었다.

IV. 홀로그래픽 디스플레이 시스템

4.1 광굴절 매질의 위치

그림 4는 공간 광 변조기에 의해 회절된 빔을 광굴절 매질에 기록하기 위한 광학계를 나타낸 것이다[2]. 단색 평면파는 공간 광 변조기에 입사되며, 입사된 평면파는 공간 광 변조기의 픽셀에 의해 회절된다. 회절된 파는 렌즈 L1과 L2에 의해 점선 위치에서 렌즈 L1과 L2의 초점거리의 비율에 비례하게 크기가 변환되어 나타나게 된다. 이 위치에 광굴절 매질을 위치시켜 회절된 모든 빔이 포함되어있는 축소된 포인트 홀로그램을 기록할 수 있다. 이때 크기의 변화도 있지만 공간 광 변조기에 의한 회절 각도를 증가시킬 수 있으므로 픽셀의 크기가 큰 공간 광 변조기를 사용하더라도 광학계에 픽셀의 크기가 작은 공간 광 변조기를 이용하는 효과를 얻을 수 있다.

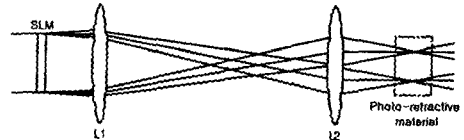


그림 4. 회절 광학 시스템과 광굴절 매질의 위치

4.2 포인트 홀로그램 기록 시스템

제한된 범위를 갖는 자유공간상의 (0,0,0)에 대한 포인트 홀로그램을 초기 입사각인 $\Delta\theta$ 위치에 계산된 기록 시간에 따라 기록을 한다. 두 번째로 참조빔의 입사각을 $2\Delta\theta$ 로 하고 (0,0,1)에 해당하는 포인트 홀로그램을 위와 동일한 방법으로 기록을 한다. 이를 반복하여 (X-1, Y-1, Z-1)에 해당하는 포인트 홀로그램까지 기록을 한다.

그림 5에 광굴절 기록 매질에 포인트 홀로그램을 각 다중화 방법으로 기록하는 시스템을 나타내었다. 레이저 빔은 빔 분배기에 의해 물체빔과 참조빔으로 분배된다. 물체빔의 폭은 렌즈 1, 2에 의해 확대되며, SLM(Spatial Light Modulator)에 의해 변조된다. 변조된

물체파는 렌즈 3, 4에 의해 광굴절 기록 매질에 기록될 수 있도록 축소된다. 참조파는 미러 1, 2에 의해 반사되어 광굴절 기록 매질에 다양한 각도로 입사될 수 있도록 빔 경로를 제어할 수 있는 AOD(Acousto-Optic Deflector)에 입사된다. 참조파는 AOD에 의해 deflection 되어 렌즈 6, 7에 의해 원하는 각도로 광굴절 기록 매질에 입사된다. 각 좌표에 해당하는 포인트 홀로그램을 SLM에 나타나게 한 뒤 AOD를 이용해 해당 입사각으로 참조빔이 입사될 수 있도록 빔을 제어한다. 이와 같은 방법을 반복함으로써 광굴절 기록 매질에 자유공간상의 모든 포인트에 대한 포인트 홀로그램을 기록할 수 있다.

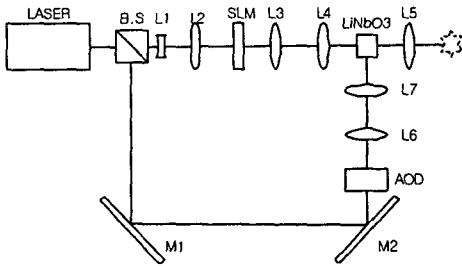


그림 5. 포인트 홀로그램 기록 시스템

이와 같은 방법에 의해 광굴절 기록 매질은 홀로그래픽 수동소자로 만들 수 있으며, 이를 이용하여 아래와 같은 방법에 의해 홀로그래픽 디스플레이를 할 수 있다.

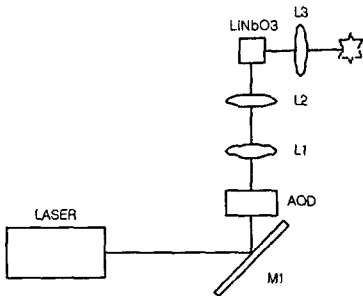


그림 6. 홀로그래픽 3차원 디스플레이 시스템

4.3 홀로그래픽 디스플레이 시스템

그림 6은 홀로그래픽 수동소자를 이용하여 홀로그래픽 디스플레이를 할 수 있는 시스템이다. 디스플레이 시스템은 기본적으로 TV의 주사선과 같이 AOD를 $\Delta\theta$ 간격으로 마지막 포인트 홀로그램이

기록되어 있는 $(X+Y+Z)\Delta\theta$ 까지 scanning 함으로써 자유공간에 모든 포인트를 나타낼 수 있다.

가상공간 좌표계로 매핑된 3차원 영상은 3차원 영상에 대한 포인트 데이터의 좌표값과 amplitude 값을 가지고 있다. AOD는 $\Delta\theta$ 에서부터 $(X+Y+Z)\Delta\theta$ 까지 scanning 한다. 이때 해당 좌표에 대한 amplitude가 0일 때 빔을 off시키며 0이 아닐 때 on을 시킴으로써 3차원 영상이 존재하는 해당 포인트만 자유공간에 디스플레이시킬 수 있다.

V. 결론

Real-time 3D holographic display를 위해서는 과다한 계산량으로 인해 높은 해상도의 홀로그램 디스플레이가 불가능하지만 본 논문에서 제안한 시스템은 가상공간의 모든 포인트에 대한 포인트 홀로그램을 광굴절매질에 미리 저장하여 수동소자로서 이용함으로써 실시간 고해상도 홀로그램 디스플레이가 가능하다. 광 굴절 매질 등 체적 홀로그램 소자의 발전에 따라 입력 영상의 해상도를 높이고 어드레싱 장치가 간단히 이루어지게 되면 범용적인 실시간 홀로그래픽 디스플레이 장치가 구현 가능하리라 기대된다.

감사의 글

본 연구는 정보통신부 출연 "SmarTV 기술 개발" 사업의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

- [1]. Hoonjong K., Chunghyun A., Chietek A., and Seunghyun L. "A Real-time 3D Display System based on Volume Hologram", Proc. SPIE 5005, pp.168-178, 2003
- [2]. Joseph W. Goodman, Introduction to Fourier Optics. New York, McGraw-Hill, 1968
- [3]. P. St. Hilaire, S. A. Benton, M. Lucente, M. L. Jepsen, J. Kollin, H. Yoshikawa, and J. Underkoffler, "Electronic Display System for Computational Holography.," in S. A. Benton, editor, SPIE Proc. Vol. #1212, Practical Display Holography IV, Jan. 1990.
- [4]. T. Honda, "About the Advanced 3-D Image Telecommunication Project," Proc. TAO First International Symposium of Three Dimensional Image Communication Technologies, J.Tsujuchi, editor, S-6-4, 1993.
- [5]. H. Yoshikawa, "Fast Computation of Fresnel Holograms Employing Difference", Optical Review, 8, 5, pp.331-335, 2001