

홀로그램 콘텐츠와 사용자 간에 상호작용 가능한 광시야각 홀로그래픽 디스플레이 시스템

*윤민성 김영준 정일권

한국전자통신연구원 차세대콘텐츠연구본부

*msyoon@etri.re.kr

Wide-viewing holographic display system enabling a user to interact with holographic 3D contents

*Yoon, MinSung Kim, Youngjun Jeong, Il-Kwon

Creative Content Research Division, Electronics and Telecommunications Research Institute,

요약

최근 디지털 홀로그래피는 3차원 영상을 획득, 처리 및 재생을 하지만, 디스플레이 전자 소자 특성에 의한 시야각이 작아서 사용자의 관찰 가능한 시역이 제한적인 단점이 있으며, 따라서 복원된 입체 영상과 사용자 사이에 상호작용 서비스 제공이 용이하지 않는 한계를 지니고 있다. 본 논문에서 우리는 360° 전방향 (1,024 시점)의 홀로그래피 3D 콘텐츠를 FFT 알고리즘을 이용하여 생성하고, 이 콘텐츠를 디스플레이할 수 있으면서 동시에 이 콘텐츠와 사용자 간 상호작용이 가능한, 광시야각 ($\pm 60^\circ$) 홀로그래픽 디스플레이 시스템의 설계 및 제작한 결과를 실증한다.

1. 서론

삼차원 입체 영상 콘텐츠 및 디스플레이 기술은 공연·방송, 게임·관광, 항공·군사, 그리고 교육·의료 등의 다양한 분야에서 매우 큰 관심을 불러일으켜 오고 있다 [1]. 특별히, 홀로그래피는 실제 물체와 같이 자연스러운 삼차원 영상을 재현하는 3D 디스플레이 기술이다. 이 기술은 물체에서 방출된 광파 (light wave)를 간섭 (interference) 현상을 통하여 기록하고 재생한다. 물체광의 파동과 조명광의 파동 간의 간섭 효과는 홀로그램 (hologram)으로 불리는 간섭 패턴 (fringe pattern)을 투명한 매질에 생성한다. 특히, 공간광변조기 (spatial light modulator, SLM)에 의해 삼차원 입체 이미지를 재생하는 디지털 홀로그래피 (electro-holography) 방법은 빛의 전파 과정, 간섭 등의 파동 광학적인 시뮬레이션에 의해 획득된 컴퓨터-생성-홀로그램 (computer-generated hologram, CGH)을 이 전기 표시 장치에서 디스플레이함으로써 3D 동영상 재생할 수 있다 [1]. 최근에 상호작용 가능한 3D 재생 시스템으로서 공중 띄움 (aerial floating) 디스플레이, 안개 스크린 (fog screen), 회전하는 3D 스크린 등을 이용한 3D 디스플레이 시스템들이 소개되었다 [2, 3, 4]. 이러한 시스템들은 여러 개의 프로젝터 또는 디스플레이 기기와 기계적 주변 장치 간의 고속 연동 프로세스 기술들을 요구하는 단점이 있다. 또한, 현재까지 개발된 디스플레이 소자의 픽셀 피치 크기의 한계로 인해 좁은 시야각의 홀로그래픽 영상이 재생되고 있다 [5]. 이러한 제한된 재생 공간 영역을 사람의 동공 영역으로 적절하게 전달하기 위해서 시간다중화 기법 또는 공간

다중화 기법을 적용하고 있다. 홀로그래픽 단말용 시야각 확대를 위해 대표적으로 사용되는 동공 추적 (pupil tracking) 기술은 사용자 눈에 대하여 정확한 4mm 내외의 정확한 위치 인식 기술 및 다수의 광학적인 디바이스들 간의 기구적으로 고정밀도의 시스템 제어 기술을 동시에 요구하는 단점들을 가지고 있다 [5]. 본 논문에서 우리는 넓은 시야각을 제공하면서 콘텐츠와 사용자 간에 양방향 상호작용 (bidirectional interaction)이 가능한 단일 표시 장치와 동작·음성 인식 센서 기반의 홀로그래픽 3D 디스플레이 시스템을 구현하고, 이를 이용하여 실증한 결과를 보고한다. 이 시스템은 영상을 관찰하는 사용자가 홀로그래픽 콘텐츠와 직접적으로 상호작용 가능한 서비스를 지원할 뿐만 아니라 사용자의 눈의 위치를 따라 광시야각의 홀로그래픽 복원 영상을 볼 수 있도록 디자인되었다.

1. 본론

컴퓨터-생성-홀로그램 (CGH)은 3D 콘텐츠로부터 빠른 푸리에 변환 (Fast Fourier Transformation, FFT) 알고리즘을 통하여 계산된다 [6]. 디지털 홀로그램 계산 및 콘텐츠 제작 시, 양안 간격은 6.5 cm, 그리고 사용자의 눈과 홀로그래픽 단말 간의 거리는 75 cm로 설정하였다 (그림 1 (a) 참조). 그리고, 컴퓨터 그래픽 (CG)에 의한 3D 모델링 및 360° 전방향 (총1,024 시점) 3D 콘텐츠를 만들기 위해 Maya2018 소프트웨어가 사용되었다. 여기서 3D 콘텐츠는 주어진 3D 모델에 의해 획득된 CGH 계산을 위한 입력 데이터로서 점 구름 (point

clouds) 형태 [7]와 컬러-깊이 맵 (RGB-depth map) 형태 [8]로 크게 나누어진다. 최근에 딥 러닝 (deep learning) 기반의 고속 영상 처리 기술이 향상됨에 따라 깊이 맵 추출과 관련된 3D 콘텐츠용 획득 과정에서 실시간성 및 용이성이 급격히 향상되고 있기 때문에 이 논문에서는 컬러-깊이 맵 형태의 데이터를 기반으로 한 FFT 연산에 의한 CGH를 계산하는 하는 방식을 사용하였다 [8, 9].

그림 1은 AR/VR 영상 콘텐츠 복원 기술 분야로 응용에 적합한 HMD 타입의 디스플레이 단말 또는 모바일 단말 타입에 적용이 가능하도록 디스플레이 시스템 형상 및 제작된 결과를 보여준다. 이 시스템은 양안 영상 시차 (binocular disparity)를 가진 한 쌍의 홀로그래프를 이용하여 복원된 3D 영상을 사용자의 좌안 및 우안 위치에서 시청할 수 있다. 이 시스템은 이와 동시에 사용자의 음성 또는 동작을 통하여 홀로그래픽 콘텐츠와 직접적인 상호작용할 수 있는 기능을 제공하는 디스플레이 장치이다.

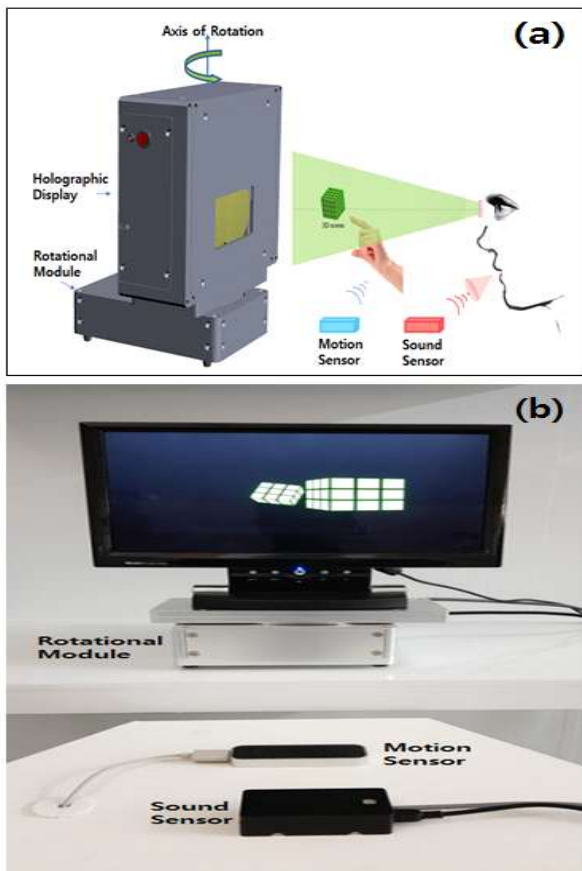


그림 1. 상호작용 가능한 홀로그래픽 단말 시스템. (a) 개념도. (b) 회전 모듈을 포함한 단말 시스템 사진.

그림 1 (a)는 3D 콘텐츠와 사용자 간 상호작용이 가능한 이 홀로그래픽 단말 시스템의 개념도를 보여준다. 그림 1(b)는 구현된 홀로그래픽 디스플레이 시스템을 보여주는 사진이다. 양안식 홀로그래픽 디스플레이 시스템이 움직이는 사용자의 얼굴 위치에 따라서 아래에서 설명할 두 종류의 방식에 의해 디스플레이 모듈의 좌회전 또는 우회전이 가능하며, 이 모듈의 회전과 연동되어 홀로그래픽 이미지도 함께 회전하기 때문에 넓은 범위의 시야각을 사용자에게 제공할 수 있다.

첫째, 그림 2에서 보여주는 것과 같이 이 시스템은 음성 인식 기반 상호작용 연동방식을 지원한다. 이 연동방식에서 디스플레이 모듈의 회전 각의 크기 및 회전 방향은 음성인식 센서를 통한 음성 명령에 의해 결정된다. 음성인식 센서로 사용된 제품은 SpeakUp 2 시리즈의 MIKROE-2375 모델이다. 이 센서 보드를 이용하여 기본적으로 8종류의 사람의 음성 명령을 분별 가능하게 프로그래밍을 하였다. 프로그램 시작 시, 음성 모듈에 ‘시작’이라고 말하면 데이터 전송이 시작된다. 정의된 음성 명령은 ‘시작’, ‘끝’, ‘좌로’, ‘우로’, ‘더’, ‘원점’, ‘빠르게’, 그리고 ‘느리게’ 등으로 구성되어 있다. 이 음성 명령에 일치하는 음성 신호가 회전 모듈로 입력되면, 이 음성 신호는 모터 제어에 맞는 신호로 변경되어 회전 모듈로 전송되고 모듈을 회전시킨다. 기본 값으로 설정되어 있는 음성 신호에 대한 회전 모듈의 최소 단위 회전각은 0.352°이며, 회전 모듈의 최대 가능한 회전 각도는 정면 기준으로 ±60°이다. 그리고 각 음성 명령의 입력에 의해서 모듈을 기계적으로 작동시킴과 동시에 가상 키보드 이벤트를 통해 디스플레이되는 영상도 업데이트시킨다. 회전에 따른 업데이트될 영상 데이터는 총 1,024장으로 이루어져 있으며, 1°당 3장의 영상 단위로 변경되도록 설정되어 있다. 모든 과정을 마칠 때, 음성 명령 ‘끝’을 입력하면, 프로그램은 종료된다. 그림 4(a)는 사용자가 음성 센서를 이용하여 음성 명령을 통해 회전 모듈 및 콘텐츠를 제어하고 있는 데모 장면을 보여준다.

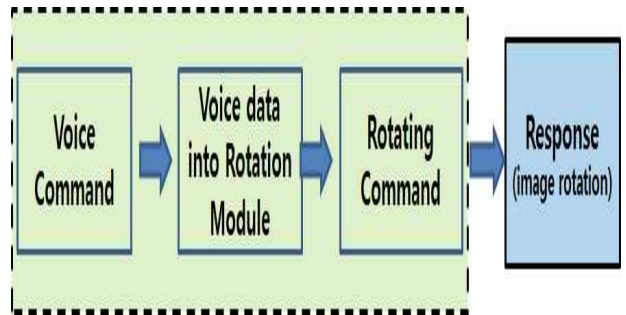


그림 2. 음성 인식 기반 상호작용 연동된 영상 데이터 처리 과정을 보여주는 block-diagram.

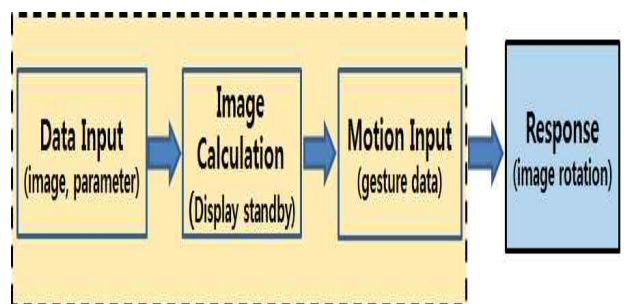


그림 3. 동작 인식 기반 상호작용 연동된 영상 데이터 처리 과정을 보여주는 block-diagram.

둘째, 이 시스템은 동작 인식 센서를 통한 사용자의 제스처와 상호작용 연동방식을 지원한다. 여기서 동작 인식 센서로서 LEAP Motion™을 사용하였다. 그림 3은 이 제스처 인식 센서를 이용하여 홀로그래픽 영상 콘텐츠를 제어하는 순서를 보여준다. 프로그램 시작 시, 변수들과 이미지 경로를 입력한다. 변수는 window size, number of

images, image size가 있다. 이 변수들을 입력하면, 프로그램은 영상을 스테레오 방식 (그림 4 (b))으로 사용자에게 보여주기 위해 시차를 갖는 2개의 영상 세트 (Left, Right)를 준비하고, 모니터 상에 디스플레이 된다. 이 상태에서 영상을 제어할 수 있는 4개의 swipe gestures, 즉 normal left, fast left, normal right, fast right 중에 하나가 입력되면, 디스플레이되는 영상 세트는 주어진 명령에 맞도록 업데이트된다. 나아가 우리는 이상에서 설명한 2종류의 인식 센서 프로세스들을 동시에 연동시키는 통합 제어 프로그램을 개발하였다. 따라서, 1대의 제어용 PC를 통해 사용자의 음성 또는 제스처 입력 정보로부터 회전 모듈의 구동 및 영상 콘텐츠 업데이트 프로세스를 동시에 제어할 수 있다.

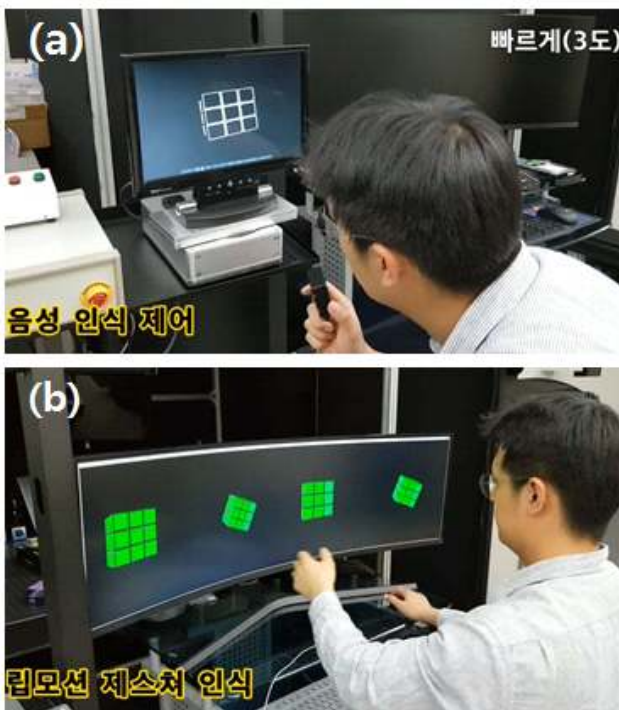


그림 4. 사용자와 홀로그래픽 콘텐츠 간 상호작용을 데모하는 사진. (a) 음성 인식 기반 상호작용. (b) 모션 인식 기반 상호작용.

3. 결론

본 논문에서 우리는 360° 전방향의 1,024시점 홀로그래픽 콘텐츠를 생성하고 이를 디스플레이 할 수 있으면서 이 콘텐츠와 사용자 간의 상호작용이 가능한, 정면 기준으로 $\pm 60^\circ$ 범위의 광시야각의 홀로그래픽 디스플레이 시스템을 설계 및 제작한 결과를 실증하였다. 사용자와 홀로그래픽 3D 콘텐츠 간에 실시간 양방향 상호작용 기술은 게임 또는 문화 콘텐츠 산업 및 체험을 토대로 한 교육 관련 산업에서 우선 적용될 것으로 기대된다. 향후 연구 과제로 우리는 TFT-LCD 기반의 진폭변조 방식의 모바일 형태의 공간광변조기와 가간섭성 (coherence) 을 제공하는 조명 광학계로 구성된 얇은 두께를 갖는 디스플레이 모듈을 제작 중에 있다. 이 디스플레이 모듈은 본 연구에서 구현된 회전 모듈 위에 장착되도록 설계되어 있으며, 따라서 이 디스플레이 단말은 기계적으로 사용자의 얼굴을 향해 음성 또는 동작 명령으로 회전될 수 있다. 본 연구에서 제작된 디지털 홀로그래픽 콘텐츠와 기존의 고화질의 진폭 변조 방식에 적합한 인코딩 (amplitude-modulating &

modified complex modulating encoding) 기법 [9]을 적용한 후, 구현된 상호작용 가능한 홀로그래픽 단말 시스템에서 실제 공간에 광학적으로 복원된 입체 영상과 사용자가 직접 상호작용하는 것을 검증할 예정이다.

4. 참고 문헌

- [1] H. Sato, *et al.* "Real-time colour hologram generation based on ray-sampling plane with multi-GPU acceleration," Scientific reports 8.1, 1500, 2018.
- [2] H. Yamamoto, *et al.* "Floating aerial LED signage based on aerial imaging by retro-reflection," Opt. Express 22, 26919 - 26924, 2014.
- [3] Y. Tokuda, *et al.* "Adaptive shape changing fog screens," Proc. CHI' 17, 4383 - 4395, 2017.
- [4] T. Grossman, *et al.* "Multi-finger gestural interaction with 3D volumetric displays," Proc. UIST 04, 61 - 70, 2004.
- [5] R. Häussler, *et al.* "Large real-time holographic 3D displays: enabling components and results," Applied optics 56.13, F45-F52, 2017.
- [6] H. Kim, *et al.* "Iterative Fourier transform algorithm with regularization for the optimal design of diffractive optical elements," JOSA A 21.12, 2353-2365, 2004.
- [7] P. James, "Holographic Image Synthesis Utilizing Theoretical Method," Appl. Phys. Lett 9.11, 405-407, 1996.
- [8] S. Park *et al.* "Characteristics of complex light modulation through an amplitude-phase double-layer spatial light modulator," Optics express 25.4, 3469-3480, 2017.
- [9] M. Yoon, *et al.* "A spatial light modulating LC device applicable to amplitude-modulated holographic mobile devices," Industrial Informatics (INDIN), 678-681, 2015.