

컬러 홀로그래픽 디스플레이를 위한 시공간적 다중화 홀로그램 데이터의 고속 스트리밍

*김재한 **설기수 *조성배 *김진웅

* 한국전자통신연구원 미디어연구본부 디지털홀로그래피연구실, **아스텔(주)

kimjhan@etri.re.kr

Streaming of Spatiotemporally Multiplexed Hologram data for Digital Color Holographic Table-top Display

*Jaehan Kim **Kisu Seol *Seoungbae Cho, *Jinwoong Kim

*ETRI, **ASTEL

요약

완전 입체 3차원 영상을 구현할 수 있는 디지털 홀로그래픽 디스플레이에서 테이블위에 실제 물체가 있는 것과 같이 수평 방향 360도 전 영역에서 홀로그램을 볼 수 있도록 하기 위해서는, 홀로그램 영상을 수십 KHz정도의 프레임률로 시공간 다중화하여야 하며 동영상 재현을 위해서는 스트리밍 방식의 고속 대용량 홀로그램 데이터의 전송이 요구된다.

본 연구에서는 이를 위하여 홀로그램 데이터를 저장할 수 있는 스트리밍 서버를 구축하였고 서버내의 비디오 플레이어에서는 사전 정의된 데이터 포맷에 맞추어 제작된 CGH 데이터를 고속으로 전송하고, 설계 제작된 인터페이스 보드를 통하여 데이터를 수신하여 실시간으로 컬러 홀로그램을 재현하는 기능을 구현하였다.

1. 서론

홀로그래픽 디스플레이의 공간광변조기로 사용되는 상용 DMD의 픽셀의 크기는 10um 정도이어서 시야각이 수 도 이하로 작게 형성된다. 테이블탑형 디지털 홀로그래픽 디스플레이를 통해 수평 방향 360도 모든 영역에서 홀로그램을 볼 수 있도록 하기 위해 13.68um 픽셀 크기를 이용하고 5배정도 확대를 하는 경우에는 수평 시점별 818개 이상의 홀로그램 영상을 360도 공간에 생성해야 하며, 동시에 동영상 디스플레이를 위해서는 시간 다중화를 해야 하므로 수십 KHz 프레임률의 시공간 다중화가 요구된다.[1][2]

상용 DMD 모듈은 최대 4GB 정도의 제한된 용량의 on-board SDRAM 메모리를 내장하고 있으며 이 모듈로 영상 재생을 하려면, 데이터를 내장 메모리에 pre-download한 후에 이 데이터를 읽어 재생하는 방식만이 가능하다. 홀로그램 데이터는 대용량이므로 테이블탑 디스플레이의 수평방향 1,024시점에 대하여 상용 DMD 모듈을 개조 없이 그대로 사용하여 1,024x768 해상도의 XGA급 홀로그램을 30fps로 재현하는 경우에는 약 1.3초를, 1,920x1080 해상도의 HD급 홀로그램의 경우에는 약 0.5초 정도의 짧은 시간 동안 만을 재생할 수 있다.

그러므로, 360도 재현 홀로그램의 구현과 함께 동영상 동작의 한계를 개선하기 위해서는, 홀로그램 데이터를 download가 아닌 streaming 방식으로 전송해야 하며, 그 경우에는 재생 용량의 한계 없이 연속으로 실시간 홀로그래픽 디스플레이가 가능하게 된다. 그러나 홀로그램의 특성상 데이터량이 막대하고, random성이 높은 CGH 영상에 대하여 압축이 용이하지 않으므로 프레임률을 높이는 데 어려움이 있다.[3]

2. 홀로그램 데이터의 스트리밍 전송 방식

본 연구에서는 XGA급 해상도의 공간 광변조기인 DMD로 RGB 컬러 홀로그램 동영상을 실시간 디스플레이하기 위하여, 대용량의 홀로그램 데이터를 고속으로 실시간 스트리밍하는 전송 서버와 HDMI 기반 데이터 송수신 인터페이스 장치를 개발하였다.

홀로그래픽 디스플레이에서 사용된 상용 DMD 모듈은 Wintech사의 W-4100이며, 0.7 inch 크기와 1,024x768 해상도 및 1비트 스위칭률이 22,727Hz인 디지털 마이크로 미러 구조의 이진 소자이다. 본 연구에서는 홀로그램 데이터 인터페이스 보드를 설계 제작한 후 이를 DMD 버퍼에 연결함으로써 DMD에 스트리밍 기능을 부여하였다.

홀로그램 서버에서는 정의된 데이터 포맷에 맞추어 제작된 CGH 데이터를 SSD Storage에 저장한 후, 비디오 플레이어를 이용하여 데이터를 읽어 인터페이스 보드로 출력한다. 출력된 홀로그램 스트리밍 데이터는 12Gbps로 인터페이스 보드로 수신되며 인터페이스 보드에서는 홀로그램 데이터의 헤더를 디코딩 처리 한 후, 해당 홀로그램을 순차적으로 DMD의 버퍼 메모리로 전달하는 기능을 수행한다.

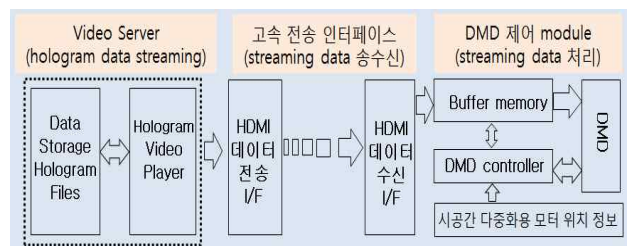


그림 1. 홀로그램 데이터의 스트리밍 전송 인터페이스 구조

스트리밍 방식으로 수신된 데이터에 대한 버퍼 제어 기능이 W-4100 제어 보드에 장착된 FPGA에 구현되었고, 그림1과 같이 회전 모터의 위치에 동기되어 발생하는 주기적 펄스 신호는, 버퍼 제어 및 DMD로의 데이터 load 신호로 이용되어, 수평 360도 1,024시점에 대해 시공간 다중화된 홀로그램을 디스플레이 하도록 하였다.

3. 스트리밍 데이터의 전송 포맷

스트리밍 데이터는 수신 보드내 버퍼 메모리의 bandwidth와 홀로그램 재현 영상의 시점 수, frame별 데이터 처리 과정 등을 고려하여 1,024x768 해상도의 홀로그램 영상에서 실험 영역을 cropping하여 768x768 정방형 영상으로 만들었다.

이 홀로그램 영상을 스트리밍 전송용 포맷인 HDMI1.4기반 3,840x2,160 UHD 출력 영상에 효율적으로 mapping하기 위하여 그림2와 표1과 같은 포맷을 정의하여 24bit 디지털 영상 신호의 1,920x1,080해상도 FHD규격으로 재구성하였다.

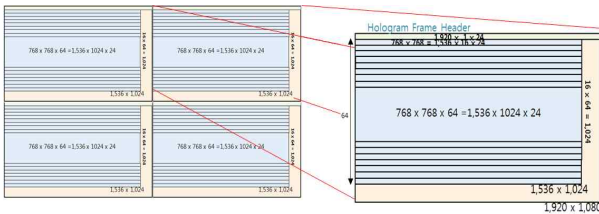


그림 2. 전송용 홀로그램 데이터의 프레임 구조

첫 번째 line인 1,920x1 영역을 프레임 헤더로 하고, 이어서 2번째 line에서 부터 1,536x16개의 영역에 768x768 홀로그램 한 개 프레임을 할당된다. 이와 같은 방법으로 1,536x16 블록을 64개 순차 배열하여 16개 홀로그램 영상을 한 FHD 영상에 배치한다. 따라서, 4개의 HDMI 채널에 동시에 한 개 프레임이 전송되면 64x4=256개의 홀로그램 영상이 전송되는 것이다.

Image Header											
Pixel Pos	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	
0	Reserved				TAG(23:0)			TAG(31:24)			
1	Reserved										
2	Reserved		Video Mode		Reserved		RGB				
3	Reserved		Angle Tag		Reserved		Frame Tag				
4	Frame Number										
5	Sync(angle)										
6-1919	Reserved										

Name	Width	Default	Description
TAG	32	0x484F4C4F	HOLO(Ascii Code, Hologram 영상 인식용)
RGB	4	0x1	No DLP Display : '00', R: '01', G: '10', B: '11'
Video Mode	4	0x0	0x0 : Hologram 영상 0x1 : 단색 영상 0x2 : 24bit Counter 0x3 : 32bit Counter 0x4~0xf : Reserved 0x0 : Normal Mode 0x1~0xf : Data 광동용도
Angle Tag	2	0x0	0~3 순서대로 Rotate: 1024시점 전송용 HDMI Port 1 개당 4 Frame 필요. 1024시점 = 64시점 x 4 HDMI Port x 4 Frame
Frame Tag	5	0x0	0~27 순서대로 Rotate
Frame Number	20	0x0	DDR Memory 에 시점당 28 Frame 저장 가능, Frame 메모리 관리용으로 사용
Sync	10	0x0	시점 Start Point, Frame 당 64시점 전송 가능 (0, 64, 128, 192, ... 960)

표 1. 전송용 홀로그램 프레임의 헤더 정의

4개 프레임이 전송되면, 표2과 같이 총 256x4=1,024개의 영상이 전송되며 이것은 테이블탑 디스플레이의 수평방향으로 재현되는 1,024개의 홀로그램이며 한 개의 홀로그램 프레임에 해당된다.

HDMI Port	1st Frame	2nd Frame	3rd Frame	4th Frame
Port 0	0 ~ 63 시점	256 ~ 319 시점	512 ~ 575 시점	768 ~ 831 시점
Port 1	64 ~ 127 시점	320 ~ 383 시점	576 ~ 639 시점	832 ~ 895 시점
Port 2	128 ~ 191 시점	384 ~ 447 시점	640 ~ 703 시점	896 ~ 959 시점
Port 3	192 ~ 255 시점	448 ~ 511 시점	704 ~ 767 시점	960 ~ 1023 시점

표 2. 전송서버의 4개 출력 포트를 통한 홀로그램 프레임 구성

홀로그램 데이터 전송 서버의 4개 출력 Display Port를 이용하여

병렬로 데이터를 출력하며, 인터페이스 보드에서는 이 신호를 HDMI 규격으로 바꾸어 4개의 HDMI Port를 통해 수신하도록 설계 제작되었다. 인터페이스 전송 규격은 HDMI ver.1.4 이며 전송 속도는 각 출력 port당 약 3Gbps이다.

즉, 서버에서는 FHD영상 4개를 2x2 형태로 이어붙여 4K UHD인 해상도 3,840x2,160의 영상으로 구성하고, 서버내에 설치된 4K 비디오 플레이어는 UHD영상을 60fps로 동작시키게 되므로, 데이터는 12Gbps정도 (3,840x2,160x24x60 =11.94Gbps)로 출력된다.

즉, 4개의 HDMI 채널이 4프레임을 전송하면 홀로그램 한 프레임이 출력되는 것이므로 1,024시점 홀로그램 프레임은 15fps로 동작된다.

이 경우에서, 실제 데이터는 1,024x768x768x15이므로 9Gbps가 되고 (1,920x1,080x24x4x15)/(1,024x768x768)을 계산하면 19.77[fps]가 되므로, 상기 구조의 홀로그램 데이터 포맷으로는 XGA 홀로그램 데이터 영상으로 최대 19fps의 홀로그램 재현이 가능하다.

4. 홀로그램 스트리밍 데이터 수신용 인터페이스 구현

스트리밍 데이터는 구현된 인터페이스 보드 입력단의 영상 수신 처리부에 있는 4개 HDMI 포트에 입력된다. FHD 포맷의 홀로그램 데이터는 비동기로 수신된 후에 그림3과 같이 frame header를 decoding하여 시점 정보와 프레임 정보 및 동기화 정보를 추출한 후에 홀로그램 데이터를 버퍼내에 순차적으로 정렬시킨다.

수신되는 데이터를 프레임 단위로 버퍼링하기 위하여 보드 내장 메모리를 이용하는 제어기를 설계하여 구현하였다. 구현에 사용된 SO-DIMM DDR2 메모리는 2GB 크기이므로 테이블탑 디스플레이의 수평방향 360도 재현용 홀로그램을 약 26프레임 정도(16Gbit≒768x768x1024x26.5) 저장이 가능하다.

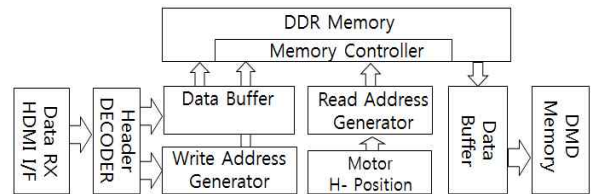


그림 3. 수신용 인터페이스 보드내 데이터 처리도

이를 이용하여 입력 처리부로부터 수신된 홀로그램 데이터를 저장하여 버퍼링하는 동시에 비동기로 입력되는 4 port 각각의 HDMI 입력 데이터에 대한 동기화가 수행된다.

즉, 그림4와 같이 공간 다중화용 회전 모터의 동기 펄스 신호를 이용하여 DLPC410에 신호를 입력하면 DDR2 메모리에 저장된 홀로그램 데이터를 400MHz 32bit LVDS 버스 인터페이스를 통해 순차적으로 읽어 DMD로 보냄으로써 홀로그램을 연속 재현하게 된다.

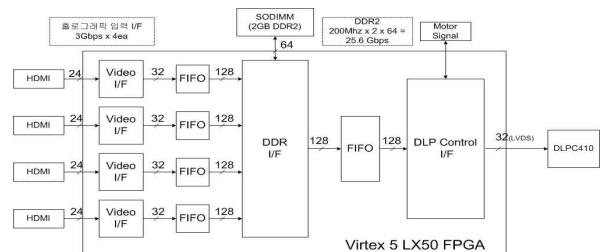


그림 4. 홀로그램 데이터 수신용 인터페이스 보드의 구성도

스트리밍 전송 서버에서 출력된 스트리밍 데이터는 그림5와 같이 구현된 인터페이스 보드를 이용하여 수신한 후, 스트리밍 데이터 버퍼 제어 및 모터와의 동기화 제어를 통하여, 실시간 홀로그래픽 디스플레이를 하며, 12Gbps급 고속 대용량 전송 인터페이스의 기능은 실제 전송 실험 및 홀로그램 영상의 재현을 통해 검증하였다.

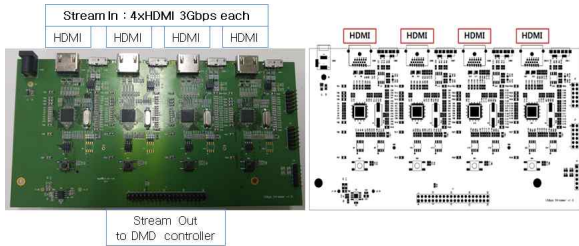


그림 5. 구현된 홀로그램 스트리밍 데이터 수신용 인터페이스 보드

5. 고속 스트리밍에 의한 컬러 동영상 홀로그램 재현

RGB 컴포넌트별 홀로그램 데이터는 그림6과 같이 홀로그램 데이터 스트리밍 전송 서버로부터 R,G,B 각각은 12Gbps의 HDMI 전송채널을 통해 수신용 인터페이스 보드로 보내진 후 DMD 모듈로 전송된다.

서버에서는 비디오 플레이어를 이용하여 8K 포맷의 영상을 30fps 속도로 출력 포트 4개를 통해 출력하며 4개의 출력 포트중 1~3번의 각 포트에는 RGB 영상이 각각 4K 포맷으로 출력되며 나머지 1개는 null 영상이 출력되어 사용되지 않는다.

서버에서의 3개 영상 출력 데이터는 동기화되지 않으며 동기화는 데이터 수신후 버퍼에서 RGB 영상의 헤더에 기록된 frame 동기 신호와 내부 frame counter 정보들을 분석하여 홀로그램을 영상 재정렬한 후에 RGB 공통의 master 동기신호를 인가하면 이 신호에 의해 같은 프레임의 번호의 홀로그램이 DMD에 load 되어 R,G,B 각 홀로그램을 동기화 시킴으로써 컬러 홀로그램이 디스플레이 되도록 하였다.

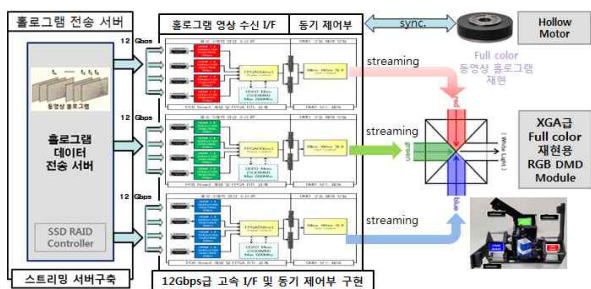


그림 6. RGB 컴포넌트별 전송 I/F 및 컬러 홀로그램 재현 구성도

전송 서버에서는 8K 영상이 30fps로 출력되고 RGB 각각은 4K출력이 HD포맷의 HDMI 규격의 3개 채널로 출력되도록 구성되었으므로, RGB 채널은 6Gbps로 데이터가 출력되어 수평방향 1,024시점에 대해 약 7fps로 홀로그램을 재현 할 수 있고 512시점에서는 15fps로 재현이 가능하다.

그림7은 전송 서버에서 4K UHD 포맷으로 홀로그램 데이터를 출력시킨 후, FHD 3개 출력 포트에 RGB 각 채널을 할당하는 방법으로 전송된 홀로그램 데이터를 RGB 각각의 인터페이스 보드에서 수신하여 처리하고 있는 하드웨어 실험 구성 및 동작 상태의 사진이다.

그림7의 사진을 보면, 인터페이스 보드와 DMD로 이루어진 RGB

각각의 광학 모듈이 좌우 및 하단에 있으며, 중앙에 위치한 X-cube (cross dichroic cube prism)를 이용하여 RGB 영상을 컬러로 합성하는 구조로 홀로그램 컬러 동영상의 재현한 실험 구성을 보이고 있다.

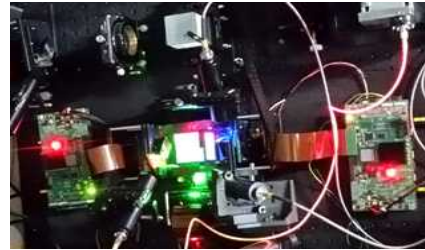


그림 7. RGB 스트리밍 데이터 수신용 인터페이스 보드

그림8의 좌측은 디지털 홀로그래픽 테이블탑형 디스플레이의 상부 사진이며, 우측은 RGB 데이터 스트리밍이 적용된 홀로그래픽 디스플레이에서 컬러로 재현된 루빅스 큐브 동영상의 스틸 사진이다.

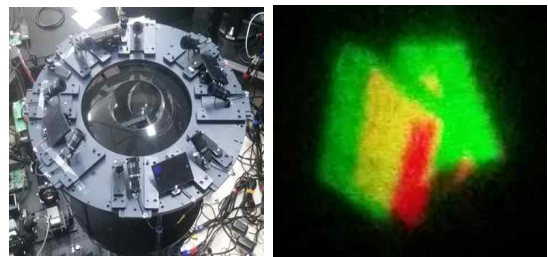


그림 8. RGB 데이터 스트리밍에 의한 컬러 동영상 홀로그램 재현 (좌) 홀로그래픽 디스플레이 상부, (우) 재현된 컬러 홀로그램 (큐브)

6. 결론

본 논문에서는 홀로그램 동영상을 디지털 홀로그래픽 테이블탑형 디스플레이에서 실시간으로 재현하기 위하여, 홀로그램 영상을 시공간 다중화하고 스트리밍할 수 있는 전송 방식과 인터페이스 하드웨어의 설계 및 구현한 내용을 소개하였다. 실제 구현을 통하여 15fps의 컬러 홀로그램 동영상의 정상적인 재현을 실험으로 확인하였으나, 추후 30fps이상의 구현이 요구된다. 이를 위해 데이터 압축 방식 도입이나 스트리밍 속도 향상에 관한 지속적인 연구 개발이 요구되며 차후 이 연구결과는 Holo-TV의 전송방식 등으로 활용될 수 있을 것이다.

[Acknowledgment]

본 연구는 『Giga KOREA 디지털 홀로그래픽 테이블탑형 단말 기술개발 사업 [과제번호: GK-19D0100]의 정부 출연금으로 수행되었음

[참고문헌]

- [1] Jeahan Kim et al, "Full color tabletop display with video streaming function," IMID2018, no. P3-104, pp.637, August 2018
- [2] 김재한, 임용준, 홍기훈, 김진웅 외, "Full parallax Digital Holographic Tabletop Display," 한국광학회 동계학술발표회, no.F1A-III-2, pp.221, Feb. 2018
- [3] Kunihiko Takano et al, "Transmitting technique for holographic 3-D television using network streaming," Optical Engineering, vol.45, no.9, pp.97401~7, Sept. 2006