

디지털 홀로그래픽 테이블탑형 디스플레이 기술

김재한, 박민식, 남제호, 문경애, 김진웅
한국전자통신연구원

요약

본고에서는 기가코리아(Giga KOREA) 연구사업에서 개발할 디지털 홀로그래픽 테이블탑형(Table-top) 디스플레이의 기술과 개발 현황을 소개한다. 먼저 3차원 입체 디스플레이의 국내외 기술 동향을 살펴보고 디지털 홀로그래픽 테이블탑형 디스플레이의 주요 요구사항과 핵심요소 기술 및 기술개발 추진계획을 기술한다.

I. 서론

눈에 보이는 장면들을 그대로 기록하려는 인간의 노력은 1830년대 프랑스 다게르(Daguerre)가 발명한 최초 은판사진술을 시작으로 오늘날의 고선명 컬러 사진으로 발전하였다. 한편, 비슷한 시기에 찰스 휘스톤(Charles Wheatstone)은 양안 입체시에 대한 연구를 통하여 입체 영상에 대한 원리를 이해하였다. 1860년대에는 양안 사진을 이용하는 방식을 상용화한 홈즈(Holmes)의 입체경이 큰 인기를 끌었고 1880년대에는 적색과 청색 필터를 이용하는 적청 안경식 입체 사진(anaglyph)이 다시 선풍적인 인기를 누렸다.

이러한 현상은 우리가 보는 것들을 그대로 기록하고 이를 3차원으로 다시 재현시켜 보려는 욕구에 의한 것으로 볼 수 있다. 이후 1922년에는 적청 안경식 영화가 등장하였으며 1937년에는 편광 필터를 이용한 3차원 기술이 입체영상 및 영화로 상용화를 시작하였다. 이후 몇 번의 3D에 대한 일시적인 붐이 일어나다가, 2009년에 3차원 영화인 아바타가 흥행에 성공하면서 3차원 영상에 대한 관심이 전 세계적으로 고조되었고, 작년부턴 국내에서는 시범적으로 양안식 3DTV 방송을 실시하고 있으나 대중화에는 이르지 못하고 있다. 기술적인 면에서 볼 때, 이와 같이 3차원 영상이 지속적인 인기를 얻지 못하는 가장 큰 이유는 시각적인 피로감에 기인한다.

현재까지 상용화된 3차원 입체 영상은 스크린 상에서 2차원 영상으로 구현되었으므로 실제의 3차원 영상을 보는 것과는 차

이가 있다. 기술적으로 어려운 문제점으로는 영상을 다른 각도에서 볼 때 이에 대응하는 다른 면을 관찰할 수 있는 이동 시차(motion parallax)가 실제와 같이 연속적으로 완전하게 제공되지 못하는 점이다. 아울러 시청자가 시각 피로감을 느끼지 않도록 시청시 3차원 공간상에 초점을 맞추면 그 위치에서 물체가 관찰되도록 할 수 있게 하는 기능의 영상을 제공하여야 한다. 그러나 이러한 두 가지 조건을 만족하는 형태의 입체 영상 재현 방식은 기존의 스크린 방식으로는 가능하지 않으며, 초다시점 영상 등이 제한된 기능으로 이를 대신할 수 있으나, 최적의 방안인 홀로그래픽 영상만이 유일하게 완전한 3차원 입체 영상을 제공할 수 있다.

본 논문에서는 기가 코리아 홀로그래픽 단말과제에서 수행하고 있는 디지털 홀로그래픽 테이블탑형 디스플레이 기술 동향에 대해서 살펴보고, 본 과제에서 요구하는 정량목표 및 핵심요소 기술을 개략적으로 소개하고자 한다.

II. 입체 디스플레이 기술동향

본 장에서는 기가코리아 사업의 홀로그래픽 단말과제에서 목표로 하는 홀로그래픽 입체영상을 전 방향에서 시청이 가능한 360도 시야각의 디지털 홀로그래픽디스플레이 개발에 대한 기술 개발 동향을 살펴보고자 한다. 현재까지 개발된 홀로그래픽 디스플레이는 기존의 TV처럼 360도 시야각을 제공하는 것이 아니라 디스플레이 전방 한 방향에서만 홀로그램 시청이 가능한 평판형 디스플레이 형태이다. 최근에 개발된 360도 시야각 입체 디스플레이는 이용자가 디스플레이 360도 주위에서 시청이 가능하지만 홀로그램 영상이 아닌 2D 영상을 무안경식으로 관찰할 수 있는 형태의 테이블탑형 디스플레이 시스템이다.

1. 홀로그래픽 입체 디스플레이 기술

본 절에서는 광시야각 및 대화면 제공이 가능한 평판형 홀로그래픽 디스플레이에 대하여 미국의 MIT, 영국의 QinetiQ, 독

일의 SeeReal, ETRI등에서 개발한 주요 연구 내용을 소개하고자 한다.

1.1 MIT

MIT의 미디어 랩(Meida Laboratory)에서는 1990년대 초부터 다양한 홀로그래픽 비디오 시스템인 Mark I과 II를 개발하였다[1]. 평면파 광변조를 위하여 압전 소자에 대하여 전기신호를 인가하여 압전소자에 대한 기계적인 진동을 발생시켜 평면파를 발생시키면 입사되는 광파가 회절되는 음향광학(acousto-optic)적인 현상이 발생된다.

이런 현상을 이용하여 홀로그래픽 패턴 신호를 전기신호로 변환하여 음향 평면파를 발생시키며 입사된 입사파(incident wave)를 회절시킴으로써 홀로그래픽 영상을 재현할 수 있다. 투명한 고체에서 이러한 음향광학(acousto-optic) 현상이 발생하는 소자를 AOM(Acousto-Optic Modulator) 또는 브래그 셀(Bragg cell)이라고 한다. MIT는 <그림 1>과 같이 AOM 소자를 공간광변조기(Spatial Light Modulator, SLM)로 사용하여 홀로그래픽 비디오 시스템을 개발하였는데, 수평 회전미러를 이용하여 수평 라인상에 영상을 생성시키는 수평 스캐닝을 제공하고 수직 미러는 수평 미러보다 느린 속도로 회전시킴으로써 수직 스캐닝을 할 수 있다. 약 3도의 회절각을 제공하는 AOM으로 15도 정도의 시야각이 생성되도록 광학적으로 영상을 생성하였

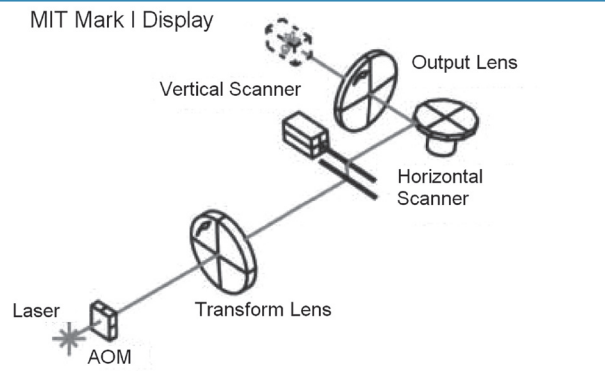


그림 1. MIT Mark I 시스템 구조도

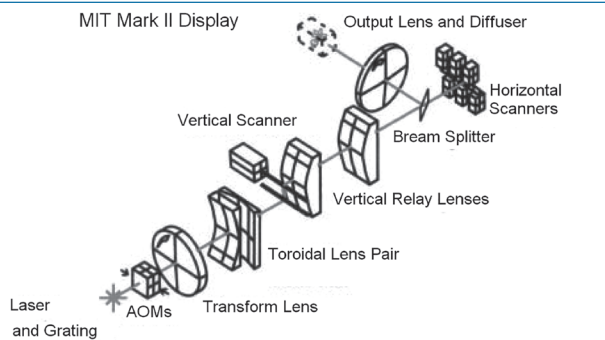


그림 2. MIT Mark II 시스템 구조도

고, 5mm 정도의 홀로그래픽 영상을 재현한다.

성능이 향상된 Mark II에서는 <그림 2>에서와 같이 AOM을 사용하여 18개 채널을 구성하였으며, 이로써 병렬로 18개의 스캔 라인들을 출력하도록 하였고, 선형으로 배열된 갈바노미터 스캐너(galvanometric scanner)를 이용하여 기존 미러들을 교체하였다. 이와 같은 구조로 많은 AOM 채널과 수평 미러를 추가하여 홀로그래픽 영상의 크기와 해상도를 크게 증가시켰다. 이로써 Mark II는 30도의 시야각을 갖고, 150mm×75mm×150mm (가로×세로×깊이) 체적의 홀로그래픽 디스플레이를 재현하였다.

1.2 QinetiQ

홀로그래픽 디스플레이에서 높은 공간대역폭을 얻기 위하여 MIT Mark II처럼 여러 개의 AOM을 적층하여 홀로그래픽 패턴을 이어 붙여 타일링(tiling)하는 방법이 있으며, 디지털 마이크로 미러의 2차원 어레이로 구성된 DMD(Digital Micromirror Display)나 LCoS(Liquid Crystal on Silicon)와 같은 EASLM(Electronically Addressed SLM)을 사용하여 광학적인 타일링 방식으로 높은 공간대역폭을 얻는 영국의 QinetiQ社에서 개발한 방식이 있다[2].

하나의 EASLM을 사용하여 여러 개의 홀로그래픽 영상을 고속으로 생성하여 타일링하면 한 장의 홀로그래픽 영상이 가지고 있는 공간대역폭 이상의 홀로그래픽 영상을 생성할 수가 있다.

<그림 3>에서와 같이 광셔터(shutter) 배열을 이용하여 하나의 EASLM로 부터 25개(5×5)의 홀로그래픽 영상을 OASLM(Optically Addressed SLM) 영역에 투영함으로써, 1,024×1,024 해상도를 5,120×5,120 해상도로 5배 증가시키는 것이 가능하다. 또한 집적 광학계를 통하여 투영되는 홀로그래픽 영상을 50% 이상 축소시킴으로써, OASLM에 투영되는 홀로그래픽 영상의 픽셀피치가 13.2um에서 6.6um로 줄어들어 EASLM의 시야각의 2배 이상인 약 5도로 시야각이 증가되는 효과를 가질 수 있다.

이 디스플레이 소자는 광센서 배열을 적응한 LCD(Liquid Crystal Display) 패널로서 시정수에 의하여 픽셀피치를 더 작게 할 수 없는 EASLM의 박막 트랜지스터의 기술적 한계를 극복한 패널 기술이라고 할 수 있다.

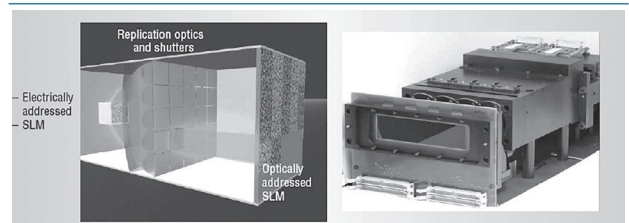


그림 3. QinetiQ 홀로그래픽 디스플레이 구조

QinetiQ社は 상기 모듈 4개를 평행하게 이어 붙여서 약 100M(5,120×20,480)픽셀 정도의 해상도를 갖는 홀로그램 영상을 생성하는 디스플레이 시스템을 개발하였다.

1.3 SeeReal

독일의 SeeReal社에서는 서브홀로그램이라는 특허 기술을 적용하여 <그림 4>와 같이 시청자의 동공의 크기에 맞게 3D 객체의 파면필드(wave field)를 제한된 각 주파수로 재현하는 방식을 구현하였다[3].

홀로그래픽 디스플레이에서는 완전시차를 지원하여야 하며 큰 시야장을 갖도록 홀로그램을 재현하여야 한다. 이러한 요구 조건이 만족될 때에 기존의 고해상도 아날로그 홀로그램 기록물처럼 전이나 기록용 입체 영상의 기능을 갖는다. 이를 위하여 확대를 통해 물체를 효과적으로 인식하는 현미경이나 망원경과 같과 마찬가지로 서브홀로그래픽 디스플레이도 인간의 인지 특성을 고려하여 시스템이 설계되었다.

홀로그래픽 디스플레이를 구현하기 위해서는 홀로그래픽 영상을 실시간으로 생성하고 재현하여야 하는데 이 경우에 막대한 양의 데이터를 다루어야 하므로 기술적인 어려움이 있게 된다. 이를 극복하기 위하여, 독일의 SeeReal社에서는 이용자의 동공에 해당하는 작은 시야장을 형성하고 동공보다 조금 큰 영역에 대하여 홀로그램을 생성한다. 이렇게 되면 전체 화면의 홀로그램 영역보다 처리량이 작아지며 처리 데이터양이 급격히 감소하여 홀로그램 영상의 실시간 생성이 가능해진다. SeeReal社は 20.1인치 LCD 패널을 통하여 상기 기능을 갖는 VISIO 20 이라는 홀로그래픽 디스플레이를 구현하였다. <그림 5>의 VISIO 20은 해상도가 2,560×6,144 픽셀이며, 픽셀 피치가 가로와 세로 각각 52um와 156um인 기존 상용 LCD 패널을 사용하여 시스템을 구현하였다. 영상 재현율은 60Hz이고 수평시차만 제공하는 컬러 홀로그램을 재현하였다.

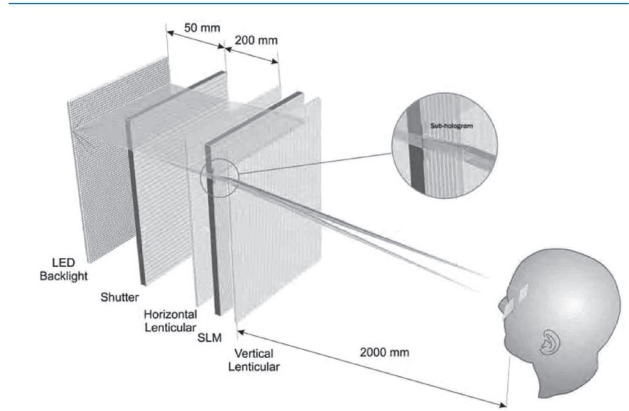


그림 5. VISIO 20 광학계 구조도

1.4 ETRI

ETRI에서는 20인치급 LCD 패널을 이용한 대화면의 양안식 천연색 3D 홀로그래픽 디스플레이를 개발하였다[4]. 광변조를 위해 사용한 LCD패널은 IBM社의 T221로 픽셀 피치가 124.5x124.5um이며 픽셀 수는 3840x2400개 이다. 홀로그램의 회절각은 홀로그램이 기록된 매질의 픽셀 피치와 반비례하므로 픽셀피치가 124.5um인 상기 패널만으로 시청자가 만족할만한 충분한 공간대역폭을 갖도록 하는 홀로그래픽 디스플레이 구현이 쉽지 않다. 이런 문제를 극복하기 위하여 ETRI 홀로그래픽 디스플레이에서는 SLM을 통해 복원된 홀로그램 영상을 관측자의 좌우안 동공에 정확히 집속하여 양안 홀로그램을 제

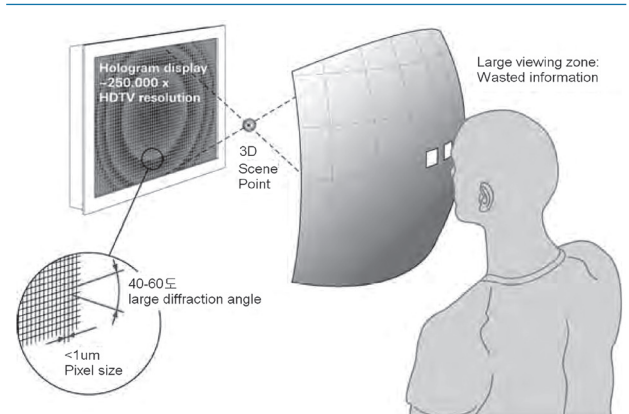
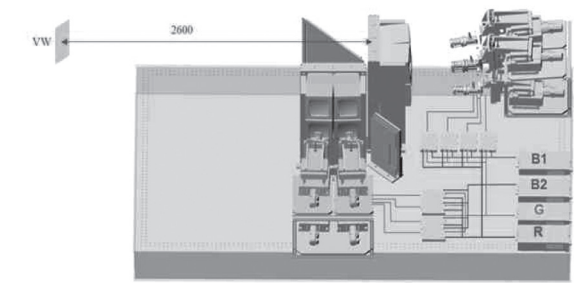


그림 4. 시야장 기반 홀로그래피 기본 원리

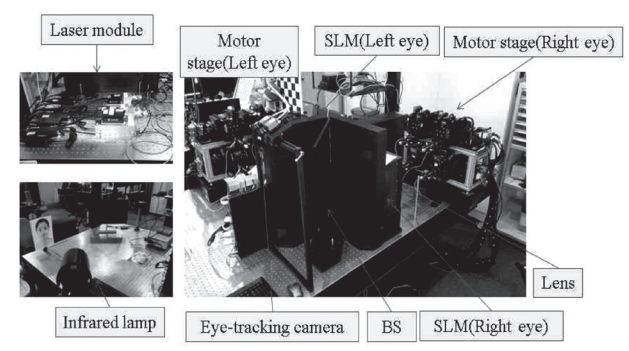


그림 6. 광시야각 대화면 홀로그래픽 디스플레이

공함으로써 큰 픽셀피치로 인한 좁은 시야각 한계의 단점을 보완하였다. 20인치급 대면적 공간 광변조 액정패널을 이용하여 구축한 ETRI의 홀로그래픽 디스플레이 시스템을 아래 <그림 6>에서 보여주고 있다.

본 디스플레이는 관찰자의 시점 이동 시 광원의 위치를 제어 (steering)함으로써 시야장 위치를 이동 시킬 수 있도록 동공의 위치를 계산하는 카메라 기반 동공 추적모듈과 간섭성 광원을 생성하는 광섬유 기반의 광원 모듈과 광원의 위치를 제어하는 모터기반 스테이지 모듈로 구성된다. 광원 모듈은 RGB 각 파장의 광섬유 레이저 광원에 대하여 색선택 거울(dichroic mirror)이 내장된 RGB 광결합기(beam combiner)를 통하여 RGB 광원을 백색광으로 만드는 구조를 갖는다.

2개의 공간광변조기를 통하여 복원된 좌우안용 홀로그램 영상 중, 좌안용 홀로그램은 광분리기(beam splitter)에 의해 반사되어 좌안에 입사되며, 우안용 홀로그램은 광분리기에서 투과되어 우안에 입사된다. 상기 방법으로 각 시점에 대응하는 양안 홀로그램 영상을 제공함으로써 3D 입체시의 가장 큰 인지오인인 양안시차를 갖는 3차원 영상을 생성하는 홀로그래픽 디스플레이를 구현하였다.

2. 360도 시야각 입체 디스플레이

본 절에서는 360도 수평 시야각이 제공 가능하도록 미국의 USC대에서 개발한 체적형 3D 디스플레이와 일본의 NICT 및 미국의 Microsoft에서 개발한 테이블탑형 3D 디스플레이의 주요 개발 내용을 살펴보고자 한다.

2.1 체적형 3D 디스플레이

무안경 입체 디스플레이의 한 종류인 체적형(volumetric) 디스플레이는 고속으로 회전하는 반사거울을 이용하여 공간상에 입체감을 갖는 물체상을 제공하는 하는 3차원 영상 재현 기술이다.

- USC

미국 USC대학교에서 개발한 체적형 디스플레이는 900~1200rpm의 속도로 360도 회전하는 분산경(diffusing mirror)에 768×768 해상도를 갖는 13cm×13cm 크기의 영상을 30~40Hz의 재생률로 고속 렌더링함으로써 360도 수평시야각을 갖는 입체영상을 재현할 수 있다[5].

이율러, 시선추적이 가능한 카메라 시스템과 연동하여 화자간의 상호작용이 가능한 3D 비디오 텔레컨퍼런스 기능을 제공할 수 있다. 하지만, 체적형 디스플레이는 기본적으로 2D 영상을 공간상에 제공하는 것이므로 3D 입체영상을 구성하는 깊이감을

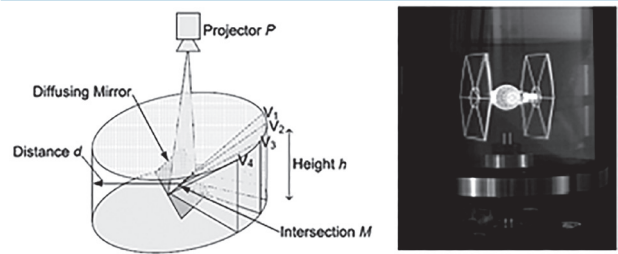


그림 7. 체적형 3D 디스플레이

재현하지는 못한다. 또한, 고속으로 회전하는 반사경과 같은 기계적 구성장치로 인한 시스템 크기, 진동, 내구성 등의 물리적 제약사항을 수반하는 단점을 갖고 있다.

2.2 테이블탑형 3D 디스플레이

테이블탑형 디스플레이는 사용자가 협업을 할 때 작업공간을 공유하거나, 다양한 작업을 하는 경우에 유용한 형태이다 테이블 위에서 많은 문서, 프로토타입 정보들이 공유되고 교환될 수 있다. 최근까지 컴퓨터 기반의 테이블탑 인터페이스를 제안한 많은 연구가 수행되어 왔다.

본 절에서는 기존에 개발된 테이블탑형 3D 디스플레이 중 대표적인 NICT와 Microsoft의 디스플레이 기술 현황에 대하여 살펴보기로 한다.

- NICT

NICT는 다음과 같은 요구사항을 갖는 새로운 양안식 3D 타입의 테이블탑 디스플레이를 구현하였다[6].

즉, 테이블 주위의 여러 사람이 방해 받지 않고 3D 영상을 시청할 수 있어야 하며, 3D 영상은 테이블 주위의 임의의 방향으로 관찰되어야 하며, 특정 3D 안경이 필요하지 않아야 하는 조건이 필요하다. 이러한 요구사항을 만족하는 테이블탑형 디스플레이를 개발하기 위하여 NICT는 <그림 8>과 같이 테이블상에서 3D 효과를 낼 수 있는 중요 광학적 장치를 제안하였다.

관찰자가 3D 영상을 제대로 관찰할 수 있는 영역을 시야 영역이라고 부른다. NICT는 이용자들이 테이블 주위로 협업을 하기 위해서는 <그림 8>에서와 같이 링 모양의 시야영역을 형성하는 것을 제안하였다.

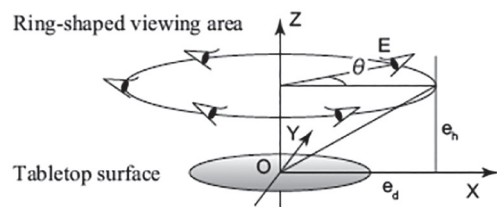


그림 8. 제안된 링 모양의 시야영역

이 시야 영역은 원형 경로에 따른 다른 시점의 영상을 제공함으로써 입체인식에 필요한 깊이감을 생성하도록 구현되었다. <그림 9>는 360도 시청이 가능한 테이블탑형 3D 디스플레이를 구현하기 위하여 요구되는 광필드 조건을 나타낸 것인데, 그림(a)는 수직방향으로 요구되는 광필드 조건이고 그림(b)는 수평방향으로 요구되는 광필드 조건이다.

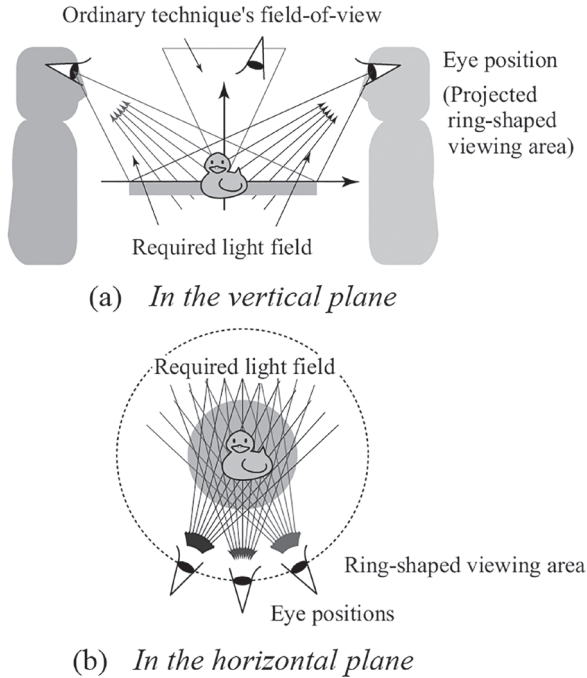


그림 9. 테이블탑형 3D 디스플레이에서의 광필드

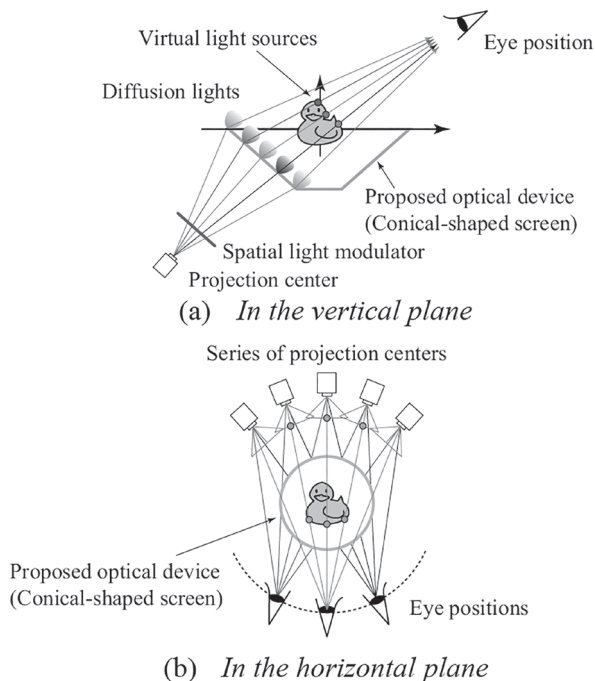


그림 10. 광필드를 재생성 하는 방법

수평 및 수직의 광필드 조건을 만족하도록 구성하기 위하여 <그림 10> 과 같이 실린더 또는 원뿔 모양의 광학 장치를 통하여 입사되는 빛을 확산시켜 수직방향의 시야각을 확장시키고, 여러 프로젝터를 수평 및 원형으로 배치시켜 여러 시점의 영상을 생성하여 수평으로 시차를 관찰할 수 있게 하였다.

<그림 11>은 NICT의 테이블형 디스플레이에서 약 25도 정도 다른 3개의 시점의 복원된 영상을 사진으로 찍은 영상이며, 다른 시점의 영상이 잘 복원됨을 확인할 수 있다[6].

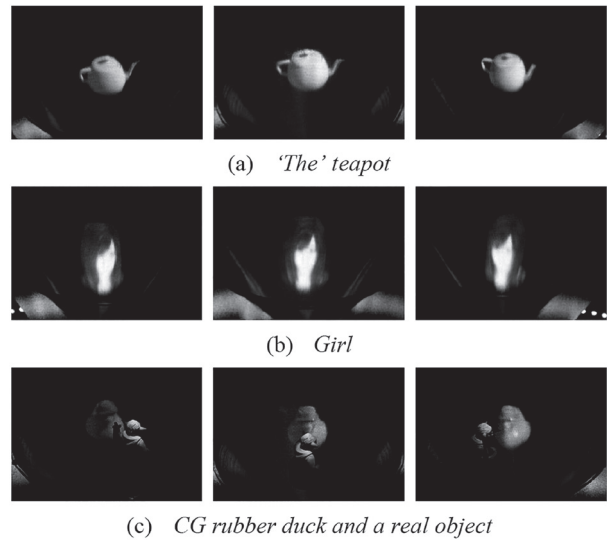


그림 11. 복원된 3D 영상

• Microsoft

Microsoft는 NICT와 달리 수 백대의 프로젝터를 사용하지 않고 360도 시청이 가능한 3D 디스플레이를 제안하였다[7]. 또한 3D 영상과 인터랙션하는 장치를 추가 개발하여 상용으로 활용할 수 있는 가능성을 제시하였다. 이를 구현하기 위하여 광학적인 착시현상을 일으키는 두 개의 파라볼릭 거울(parabolic mirror)를 사용한 시스템을 개발하였다. 또한 디스플레이 위에 Kinect Camera를 위치시켜 손가락을 인식하여 3D 영상과 인터랙션이 가능하도록 하였다. 또한 적외선 카메라를 이용하여 사용자 입력 패턴을 구현하는 작업을 수행하였다.

<그림 12>의 시스템은 한 쌍의 파라볼릭 거울 밑에 위치하고 있는 회전하는 광학계를 통하여 360도 시청 가능한 테이블탑형 디스플레이를 구현하였다. 파라볼릭 거울은 직경이 50cm인 Opti-Gone Mirage 제품을 사용하였고, 프로젝션 스크린은 회전하는 스테이지 위에 45도 기울어진 채로 구현되었다. 또한 Animatics 사의 SM2316D Smart Motor와 벨트(belt)를 사용하여 스테이지를 회전시키는 기능을 구현하였다. 3D 영상의 다중 렌더링은 고속 DMD 프로젝터를 사용하여 구현하였는데, 고속 DMD 프로젝터와 Smart Motor와 시간적으로 동기화시켜

해당 재생 시간에 대응되는 시점(view point)의 영상을 프로젝션 스크린에 투영되도록 하였다. 추가적으로 적외선 카메라를 장착하여 사용자 입력을 감지하도록 하게 하였다.

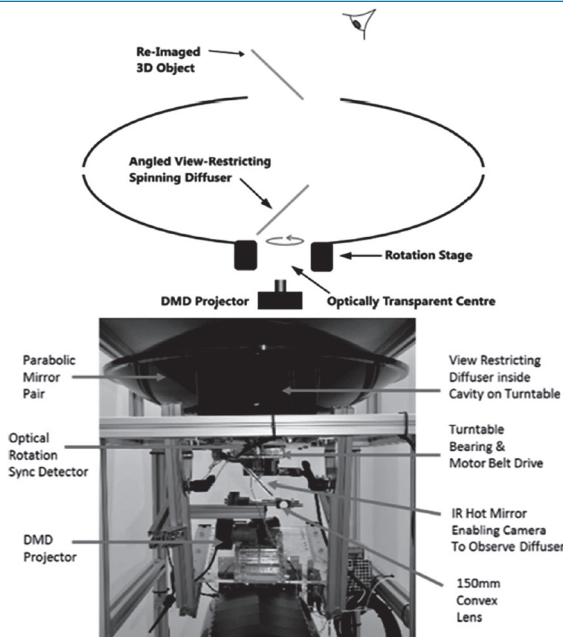


그림 12. 파라볼릭 거울형 시스템 구성

시스템을 구성하는 모듈 및 기능에 대한 상세한 설명은 다음과 같다.

① 시야각이 제한된 확산판

디스플레이 주변에 있는 다중 사용자에게 충분히 다른 시점을 제공하기 위해서는 인접한 영상의 분리가 가능하도록 좁은 시야각이 요구된다. 이를 위하여 특수 필름으로 제조된 확산판을 사용하여 요구되는 좁은 시야각을 제공한다.

② 고속 프로젝션과 렌더링

회전 확산판을 통하여 다중 시점의 영상을 제공하기 위하여 TI社의 DMD인 0.7인치 XGA D4100 고속 프로젝터를 사용하였다. 360도 회전하는 동안에 192개의 시점영상을 생성하기 위하여 한 시점이 수평 시야각이 1.875도가 되도록 구현하였다. 24 bit DVI 프레임을 24 이진 DMD 영상으로 분리하는 인터페이스를 사용하였다. 한 PC로부터 프로젝터로 전송된 각각의 한 24비트 RGB DVI 프레임은 24개의 이진(binary) 영상들을 포함하고 있다. DVI 단자는 120Hz 속도로 작동되고 초당 총 2,880 이진 프로젝터 영상을 생성할 수가 있다. 이는 360도 회전하는 동안에 192개의 시점 영상을 투영하는 경우에 초당 15Hz의 재생율의 디스플레이를 구현할 수가 있다

③ 동기화

기계적으로 회전하는 모듈과 투영된 영상간의 동기화는 일관성 있는 360도 시점 영상을 재생하기에 매우 중요하다. 입력 DVI 프레임을 복호화하는 FPGA가 360도마다 첫번째 이진 영상의 처음 15라인에 내장된 패턴을 감지할 수 있도록 설계되었다. 2us 펄스가 360도 회전하는 시점에서 발생되며, 확산판이 기준점을 지날 때 한 LED와 포토다이오드 광학 센서는 1초 동안 펄스를 생성한다. TI MSP430 마이크로프로세서는 입력되는 펄스들간의 시간 차이를 모니터링 함으로써 제어 루프(loop) 동안에 모터의 회전속도와 일련의 영상의 프레임이 동기되어 확산판의 기준 위치에서 적절히 투영되도록 한다.

④ 인터랙션

〈그림 13〉은 Kinect Camera를 사용하여 손가락 끝을 추적하는 기능을 구현하였다. 이 기능은 갈만 필터를 사용하여 위치 정확도를 높였고, 손가락 끝을 찾은 후에 주변에 있는 깊이 값의 평균값을 계산한다.

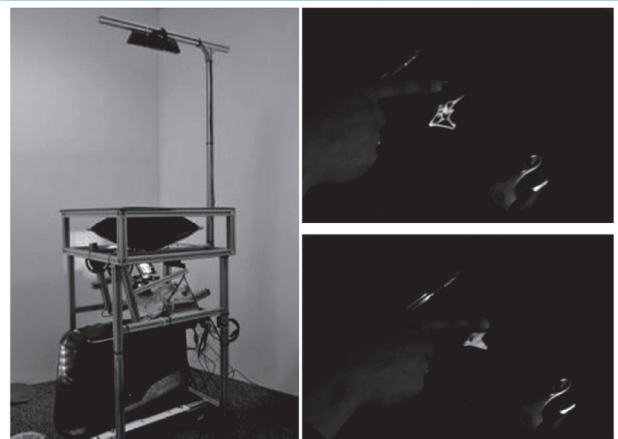


그림 13. 인터랙션이 가능한 디스플레이

상기 Kinect 카메라를 이용한 방법은 구성이 복잡하고, 폐색

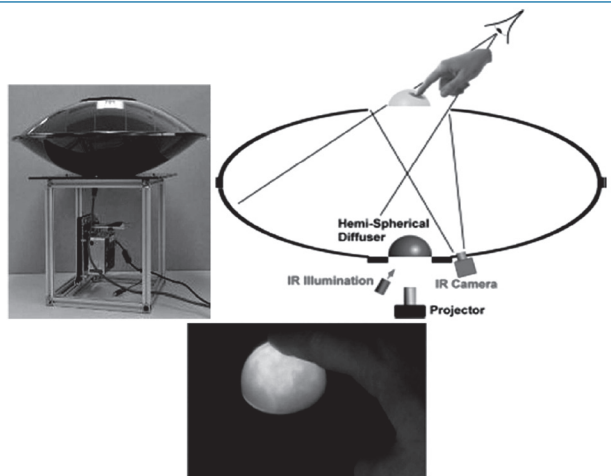


그림 14. 적외선 카메라를 이용한 손끝 감지

영역(occlusion)이 발생하는 문제점이 있다. 이를 해결하기 위하여 디스플레이 내부에 이를 감지할 수 있는 트랙킹 시스템이 필요하다. <그림 14>는 반구형 확산판과 적외선 조명, 적외선 카메라를 사용하여 손가락 끝을 추적하는 기능을 구현하였다. 이 기능은 칼만 필터를 사용하여 위치 정확도를 높였다.

Ⅲ. 테이블탑형 홀로그래픽 디스플레이

본 장에서는 기가코리아(Giga KOREA)연구 사업에서 추진하는 홀로그래픽 디스플레이 단말 시스템에 대한 개괄적인 소개와 기술적 특징과 함께, 현재 진행되고 있는 기술개발 추진방향에 대하여 서술한다.

1. 기술 요구사항

기가코리아의 홀로그래픽 단말은 <그림 15>처럼 이상적인 홀로그램 재현 형태인 공간상에 있는 것과 같은 입체영상을 재현함으로써 실재감 있는 텔레프레즌스 (tele-presence) 서비스를 제공할 수 있는 홀로그래픽 테이블탑형(tabletop) 디스플레이에 기반 한 단말 시스템으로서, 수평 360도 수직 60도의 시야각과 수평 및 수직 시차의 입체공간을 실시간 생성하고 재현하기 위한 관련 핵심 요소기술을 개발하는 것을 목표로 한다.



그림 15. 디지털 홀로그래픽 테이블탑형 단말 개념도

특히, 기존 홀로그래픽 디스플레이가 갖고 있는 제한된 시야각 범위를 획기적으로 확장함으로써, 완전 입체적 3차원 영상을 360도 방향에서 자유자재로 즐길 수 있는 홀로그래픽 고유의 특성을 실현한다는 점에서 매우 혁신적이며 도전적인 과제라 할 수 있다.

본 테이블탑 홀로그래픽 디스플레이 개발에서는 20인치급의 대화면 크기를 갖는 홀로그램 칼라 재현 영상을 4인 이상의 관찰자를 대상으로 수평방향으로 360도, 수직방향으로는 30도의

최대 시야범위 내에서 수평 및 수직 시차를 제공하는 것을 목표로 한다. 제한된 회절각을 갖는 공간광변조기(SLM)로서 상기와 같은 도전적 성능목표를 달성하기 위해서는 동공추적을 이용한 시야창(viewing window) 기반의 홀로그래픽 디스플레이 재현방식 또는 고속의 시공간적 분할(spatial and temporal multiplexing) 기법에 의해 홀로그램 재현되는 크기 및 시야각을 확장하는 방식에 기초를 두고 있다. 다음 절에서는 홀로그래픽 테이블탑 디스플레이 시스템과 관련된 핵심 요소 기술에 대하여 살펴본다.

2. 핵심 요소 기술

• 대화면 홀로그램 재현 기술

테이블탑형 홀로그래픽 디스플레이를 상용하기 위해서는 무엇보다 대화면 홀로그램 영상을 제공하는 것이 필요하다. 따라서 1단계에서는 10인치급 대화면 홀로그램을 재현하고, 2단계에서는 20인치급 홀로그램 재현을 최종 목표로 설정하였다. 이를 위해서는 여러 개의 SLM을 타일링하거나, SLM으로부터 재현된 홀로그램 영상을 고속으로 스캐닝 함으로써 대화면 홀로그램을 생성할 수가 있다.

• 홀로그램 품질 향상 기술

홀로그램 재현영상의 품질 평가 항목으로 홀로그램의 광학적 영상 재현에 필요한 전체 데이터 용량과 기존 광학계의 성능을 평가하기 위하여 널리 사용되는 MTF(Modulation Transfer Function)를 사용하였다. 데이터 용량 항목은 단위 재현모듈 개수×SLM 해상도×RGB채널수×8bits로 계산된 data capacity(frame/sec)로 데이터로 정의하였고, MTF 항목은 주파수가 1.2cycle/mm의 Line & Spacing 패턴의 contrast ratio로 정의하였다.

1단계에서는 데이터 용량은 3G bit/frame이상, MTF는 30% 이상으로 설정하였고, 2단계에서는 데이터 용량은 6G bit/frame이상, MTF는 50% 이상으로 목표로 잡았다. 상기 목표를 성취하기 위해서는 여러 개의 단위 재현 모듈을 구성함으로써 데이터 용량을 증대시키고 광학계 최적 설계 및 화질 향상 공간광변조 알고리즘을 개발함으로써 MTF를 향상시킬 수가 있다.

• 시야각 확대 기술

시야각 확대는 시공간 다중화를 통하여 가능하며, SLM로부터 재현되는 홀로그램 영상을 고속으로 스캐닝하는 방법을 주로 사용한다. 시공간적 다중화하는 실제적인 방법으로는 DMD같은 고속 빔 편향 시스템을 이용하여 공간상에 시간차를

두고 해당 위치의 영상을 투사하여 시공간 확대를 할 수 있다.

다른 방식으로는 시청자의 시선방향을 카메라 장치를 이용하여 추적하며 이를 근거로 동공을 포함하는 영역에 시야창을 형성함으로써 시청자 전면 공간상에 큰 영상을 재현하는 것에 대한 기술적 한계점을 보완하여 제한된 하드웨어로 실제적인 시야각을 확대하는 결과를 얻을 수 있다.

DMD 방식의 구성에서는 레이저를 이용하는 광원 모듈과 공간 투사용 광학 장치가 요구된다. 동공 추적 방식으로 디스플레이 시스템을 구성하는 경우에는 동공의 위치로 광 시야각을 형성해 주는 적응형 빔 방향 제어 기능의 광학 장치가 요구된다. 특히 시청자의 움직임에 맞추어 실시간으로 동공을 추적하고 이 정보를 이용하여 실시간으로 시야각 형성 장치를 제어하며 동시에 홀로그래픽 영상을 생성하는 것이 중요하다.

특히 이용자가 늘어나는 경우에는 다수 시청자를 구별하여 각 시청자의 시선 방향과 함께 각자의 동공의 위치를 추출하는 기술이 필요한데, 기가코리아 사업에서는 최대 4명의 시청자들의 동공을 추적하여 각각의 시야창을 제공하는 테이블탑 홀로그래픽 디스플레이 기술의 개발을 목표로 하고 있다. 실제 시스템 구현에서는 디스플레이 장치의 구성에 영향을 주지 않는 동시에 시청자의 자유도에도 제한이 없는 상태로 다수의 동공을 실시간으로 추적해야 하는 기술 개발이 요구된다.

• 홀로그램 색상 재현 기술

홀로그램의 색상 재현은 Red, Green, Blue의 삼색광원으로 부터 조사되는 각각의 파장영역의 빛을 혼합함으로써 천연색 색상을 재현한다. 홀로그램 색상 재현의 품질은 재현된 홀로그램 영상을 색도계로 측정하여 표현할 수 있는 색 범위 측정하여 CIE 1976 NTSC 기준 색재현율(%)으로 평가할 수 있다.

홀로그램 색상 재현은 SLM의 회절효율에 영향을 끼치는 광원의 출력 성능과 품질에 따라 영향을 받으며, 특히 홀로그램 재현에는 시청 안정성 등을 고려하여 가간섭성(coherent) 레이저 광원 뿐 아니라 최근 주목을 받고 있는 LED 광원을 이용한 기술도 고려되고 있다.

• 홀로그래피 인터랙션 기술

테이블탑형 홀로그래픽 디스플레이 기술이 텔레프레즌스(Telepresence) 서비스 등 방송통신, 광고, 교육, 의료, 전시공연 등 다양한 서비스 분야에 활용되기 위해서는 사용자와 자연스러운 인터페이스가 필요하며, 이를 실현하기 위한 홀로그래피 인터랙션 기술이 요구된다.

적응형 3D GUI 기반 홀로그래픽 입체공간 인터랙션 기술, 제스처 인식 기반 실감 인터페이스 기술, 햅틱 기반 사용자 인터랙션을 통한 홀로그래픽 3D 영상 조작 기술, 사용자 친화적 홀

로그래픽 UI/UX 기술 등이 테이블탑형 홀로그래픽 디스플레이와 사용자간의 상호작용적 서비스 효능을 극대화하는 인터랙션 기술로 연구 개발될 예정이다.

3. 기술개발 추진 방향

디지털 홀로그래픽 테이블탑형 단말 기술개발은 기가코리아 연구사업의 전체 추진일정에 맞추어 1단계(2013년~2017년) 및 2단계(2018년~2020년)로 나누어 진행된다[8].

1단계 목표는 우선 수평 180도, 수직 30도의 시야각을 제공하는 10인치급 컬러 홀로그램 재현을 목표로 하고 있으며, 연차별로는 디지털 홀로그래픽 테이블탑 단말 요구사항 정의 및 구조연구, 구조기능 설계, 단일 모듈 구현 및 검증, 다수 모듈 결합 구현 및 검증, 통합 시작품 구현, 시작품 검증 및 보완의 연구개발 프로세스를 거쳐서 1단계 개발결과물로서 디지털 홀로그래픽 테이블탑형 단말 통합 시작품을 개발한다.

2단계에 이르러서는 최종적으로 수평 360도 수직 60도의 시야각과 수평/수직 시차를 갖는 20인치급 컬러 홀로그램의 재현과 사용자와의 상호작용에 기반한 인터랙티브 홀로그램 서비스 기능을 제공하는 인터랙티브 홀로그래픽 테이블탑형 단말 통합 시작품의 개발 완료를 주요 추진 목표로 한다.

디지털 홀로그래픽 테이블탑형 단말은 디스플레이 시스템 개발 이외에도 자연광 기반의 3차원 영상정보 및 360도 동영상 홀로그램 생성 기술 개발과 홀로그램 코덱 기술 개발 등을 포괄한다.

특히 1단계 결과물로서 수평 360도 홀로그램 생성과 대용량의 홀로그램 데이터에 대한 압축/복원 기술이 결합됨으로써 시스템적으로 통합된 홀로그래픽 테이블탑형 단말 시작품을 기반으로 2단계의 홀로그래픽 입체공간 인터랙션 기술, 햅틱 기반 사용자 인터랙션을 통한 홀로그래픽 3D 영상 조작 및 홀로그래픽 데이터 포맷, 화질평가 등에 대한 국내외 표준화를 통하여 사용자 친화적인 홀로그래픽 테이블탑 단말의 세계 시장 개척을 위한 실용화 추진이 본격적으로 진행될 것이다.

IV. 결론

빛의 간섭성을 이용하여 입체 정보를 기록하고, 이를 다시 복원하여 실제 사물과 동일한 3차원 입체 효과를 제공하는 홀로그래피기술은 기존의 3차원 영상 디스플레이 방식이 지니고 있는 시각 피로와 같은 문제점을 없앨 수 있는 기술로서 실제 물체를 보는 것과 같은 자연스러운 입체감을 제공한다.

이 기술은 2010년 IBM이 선정한 “향후 일어날 5대 혁신 기술”의 하나이며 2011년 및 2012년에 KISTEP과 지식경제부에서 선정한 정부 투자가 시급한 “10대 유망 기술과 100대 전략 제품 기술”로 발표되었다. 외국에서도 미래의 신기술로 인식하여 많은 연구가 이루어지고 있는데, 일본에서는 2022년 월드컵을 3D 홀로그램 영상으로 실시간 전송하는 Holo-TV방송 계획을 발표하였으며, 미국의 MIT 미디어랩에서는 2011년에 HoloVideo시스템을 개발하였고 Zebra Imaging사에서는 2006년에 홀로그래픽 프린팅 기술을 상용화 하였다.

현재까지 대부분의 홀로그래픽 디스플레이가 평판 디스플레이를 직시하는 형태였으나, 본 연구에서는 테이블탑형의 홀로그래픽 디스플레이를 개발하여 텔레프레즌스를 구현하는 도구로 사용하며, 광고나 전시 및 교육, 의료 국방 분야에 360도 방향에서 사람들이 협업하는 용도로 활용하도록 계획하고 있다.

이러한 개념의 홀로그래픽 디스플레이는 세계 최초이며, 개발 완료 시점에서는 다양한 응용 가능성과 국내외 시장 규모(2022년 세계시장 273억불, 국내시장 8,603억 예상)에 비추어 볼 때, 막대한 경제적 효과가 예상되고 있다.

또한 본 연구 과정에서는 각 구성품을 모듈 형태로 개발하게 되므로, 개발 완료시에는 광원이나 공간광변조기 및 광학 모듈들이 유사한 광학계 시스템이나 다른 디스플레이 시스템에 사용될 수 있게 되어, 차세대 실감방송통신 서비스를 촉발시키는 등의 기술적인 파급 효과도 매우 클 것으로 기대되고 있다.

Acknowledgement

본 연구는 미래창조과학부 ‘범부처 Giga KOREA 사업’의 일환으로 수행하였음. [GK13D0100, 디지털 홀로그래픽 테이블탑형 단말 기술 개발]

참고 문헌

[1] Pierre St-Hilaire, Stephen A. Benton, Mark Lucente, John D. Sutter, Wendy J. Plesniak, “Advances in Holographic Video”, Proc. SPIE Practical Holography VII, pp. 188-196, 1914

[2] Maurice Stanley, et al., “100 Mega-pixel computer generated holographic images from Active Tiling - a dynamic and scalable electro-optic modulator system”, Proc. SPIE-IS&T, vol. 5005, pp. 247-258, 2003

[3] Stephan Reichelt, et al., “Holographic 3-D Displays- Elector-holography within the Grasp of Commercialization”, Chap. 29, 2010

[4] Minsik Park, Hyuneui Kim, Byung Gyu Chae, Joonku Hahn, Hwi Kim, Cheong Hee Park, Kyungae Moon, Jinwoong Kim, “Large-Scale Digital Holographic Display with Wide Viewing Angle”, Proc. The International Display Workshops, vol. 20, pp. 1102-1105, 2013

[5] A. Jones et al., “Rendering for an Interactive 360° Light Field Display”, ACM SIGGRAPH07, San Diego, 2017

[6] Shunsuke Yoshida, Sumio Yano, and Hiroshi Ando, “ping of Glasses-Free Table-Sty for Tabletop Tasks”, SID 10 DIGEST, pp. 211-214, 2010

[7] Alex Butler, Otmar Hilliges, Shahram Izadi, Steve Hodges, David Molyneaux, David Kim,., “Vermeer:Direct Interaction with a 360° Viewable 3D Display”, Proc. UIST’11, pp. 569-576, 2011

[8] “디지털 홀로그래픽 테이블탑형 단말 기술 개발”, 범부처 Giga KOREA사업 계획서, 한국전자통신연구원, 2013년

약 력



김 재 한

1984년~1990년 국방과학연구소 연구원
 1992년~2000년 ETRI 선임연구원, 3DTV 연구실장
 2000년~2011년 호남대학교 전자공학과 교수
 2011년~현재 한국전자통신연구원 디지털홀로그래피 연구실, 책임연구원
 관심분야: 3차원 영상처리, 홀로그래피



박 민 식

1997년 광운대학교 전기공학과 학사
 1999년 광주과학기술원 기전공학과 석사
 2009년 충남대학교 컴퓨터공학과 박사과정 수료
 1999년~현재 한국전자통신연구원 디지털홀로그래피 연구실, 선임연구원
 관심분야: 디지털방송, 영상처리, 기계학습, 디지털 홀로그래피



남 제 호

1992년 홍익대학교 전기제어공학과 학사
 1996년 University of Minnesota, Electrical Engineering 석사
 2000년 University of Minnesota, Electrical Engineering 박사
 2001년~현재 한국전자통신연구원(ETRI) 실감방송 미디어연구부 책임연구원
 2007년~현재 과학기술연합대학원대학교(UST) 이동통신 및 디지털방송공학과 교수
 관심분야: 디지털신호처리, 디지털홀로그래피, 멀티미디어, 방송통신미디어



문 경 애

1985년 충남대학교 계산통계학과 이학사
 1988년 충남대학교 대학원 전산학과 이학석사
 1997년 충남대학교 대학원 전산학과 이학박사
 1991년~현재 한국전자통신연구원 디지털홀로그래피 연구실장, 책임연구원
 관심분야: 디지털방송기술, 멀티미디어시스템, 디지털홀로그래피 등



김 진 웅

1981년 서울대학교 공학사
 1983년 서울대학교 공학석사
 1993년 Texas A&M 대학교 공학박사
 1983년~현재 한국전자통신연구원 실감방송미디어 연구부 책임연구원
 관심분야: 디지털 방송, 실감미디어, 홀로그래피