

1. 서론

오늘날 우리는 디스플레이문화가 고도로 발달된 산업사회에서 살고 있다. 보다 더 많은 정보를 보다 정확하게, 빠르게, 현실감있게 전달하는 문제는 우리 사회, 문화의 어느 분야에서도 중요하다 아니 할 수 없다. 이런 관점에서 본다면 영상을 디스플레이하는 방법으로는 3차원 정보를 전달하는 방법이 우리의 최종 귀착지가 될 것이다. 3차원 영상디스플레이 방법 중에 깊이 단서(depth cue)를 모두 제공하는 것은 매우 드물며 그 중 하나가 홀로그램과 전기 전자적인 기술이 결합된 전자 홀로그램(electrohologram), 또는 홀로그래픽 비디오 시스템(holographic video system)이다. 홀로그래픽 비디오 시스템의 근간을 이루는 홀로그램

또는 실존하지 않는 영상을 전자홀로그램으로 만들려고 했던 일부 과학자들의 의도는 실현되지 못하였다.

그러나 80년대 말 MIT(Massachusetts Institute of Technology)에서 처음으로 실시간 홀로그래픽 영상을 만들었고 그것이 모태가 되어 홀로그래픽 비디오 시스템을 이용한 computer 연산 홀로그램(Computer Generated Hologram:CGH)이 활발히 연구되기 시작하였다.

본문에서는 3차원영상에서 깊이감을 느끼는 깊이 단서에 대하여 언급하고 홀로그래픽 비디오 디스플레이와 홀로그래피의 차이, CGH의 표본 추출(sampling)문제, 각국의 홀로그래픽 비디오 장비에 대하여 살펴보고 KIST에 구축된 홀로그래픽 비디오 시스템을 예로 제시하면서 홀로그래픽 비디오에 대한 전망을 기술하겠다.

특집 ─ 3차원 영상기술 I

홀로그래픽 비디오시스템 (Holographic Video System)

최 현 희**, 우 정 원**

에 대한 아이디어는 이미 1940년대 Dennis Garbor 교수에 의해 태동되었고 1960년대 레이저의 출현으로 본격적인 홀로그래피를 이용한 영상과 정보의 기록과 재생이 시작되었다. 이 홀로그램은 결이 맞는 가시광을 이용하여 기록매질에 기록광에 의해서 산란된 빛의 강도뿐만 아니라 위상정보까지도 모두 기록함으로써 기록하는 물체의 모든 정보를 담고 있다고 할 수 있다. 기록 매질에 기록되는 간섭 무늬의 간격은 사용된 가시광선의 파장정도의 크기를 갖는다. 이러한 미세한 간섭 무늬의 특성상 광학적인 홀로그램은 그 속에 엄청난 양의 정보를 담고 있어 홀로그래피가 본격적으로 연구되던 60년대 무렵에 영상매체로서 무한한 가능성을 가지고 있는 홀로그램을 이용하여 움직이는 영상

2. 본론

2.1 3차원 영상의 깊이 단서(depth cues)[1]

3차원영상에서 깊이감을 느끼는 단서로서 다음과 같은 네가지 단서를 들 수 있다. 동안 단서(oculomotor cues), 그림 단서(pictorial cues), 운동 생성 단서(movement-produced cues), 그리고 양안 부등(binocular disparity)이 그 단서들이다.

동안 단서라 함은 가까이 있는 대상을 보려고 두 눈을 수렴시키거나 조절할 때 생기는 두 눈의 느낌에 기인한다. 그림 단서는 한 눈을 사용하여 깊이감을 느끼기

* 이화여자대학교 물리학과, jwww@ewha.ac.kr

** 한국과학기술연구원 영상미디어 센터, bluesky@ewha.ac.kr

때문에 단안 깊이 단서(monocular depth cue)라고도 하며 중첩이나 크기, 높이, 조망 방식 등과 관련되어 있다. 운동 생성 단서는 운동 시차 (motion parallax), 가려지기와 나타나기로 기술된다. 여기서 운동시차는 깊이감에 미치는 운동의 영향에 관해서 설명하는 것이다. 가까운 대상과 먼 대상의 운동 속도 차이를 운동시차라 하며 우리는 우리가 운동할 때 이런 대상들의 거리를 지각하는 단서로서 이 운동시차를 이용할 수 있다. 즉 먼 대상은 서서히 움직이고 가까운 대상은 빠르게 움직인다. 또한 가려지기와 나타나기는 두 물체의 중첩에 기인하며 두 표면이 서로에 대해 상대적으로 작용함으로 운동 시차와 관련하여 모서리에서의 깊이를 탐지하는데 특히 효과적이다.

이러한 모든 단서들은 수렴을 제외하면 단안깊이의 단서들로 한 눈을 통해서 볼 때에도 그 기능이 발휘되기 때문이다. 이에 반해 양안 부등은 두 눈의 깊이 단서에 관련되어 있고 두 눈이 보는 상이 약간 달라짐으로써 얻어지는 단서이다. 왼쪽 눈의 상과 오른쪽 눈의 상이 약간 다름(부등, disparity)이 입체시(stereopsis)를 야기한다. 앞에서 언급한 시각의 깊이감에 대한 이해는 홀로그램과 다른 3차원 디스플레이를 비교할 때 특히 중요하며 또한 KIST에 구축되어 있는 홀로그래픽 비디오 시스템과도 쉽게 비교 될 수 있다. 이러한 3차원 디스플레이는 보는 사람으로 하여금 3차원 물체의 모양, 상대적인 위치 등을 보다 정확히 그리고 효과적으로 알 수 있게 하며 특히 단안 깊이 단서가

부족할 경우 교육적, 의학적, 산업적 디자인 또는 과학적인 정보를 담고 있는 3차원 데이터의 시각화에 매우 유용하다.

일반적인 3차원 디스플레이는 양안 부등과 운동시차를 제공하며 이와 더불어 일부 디스플레이에서는 그림 단서, 수렴, 안구 조절 (ocular accommodation) 등의 단서들도 같이 제공 한다. 그러나 3차원 디스플레이에서 깊이를 감지하는데 주로 사용되는 단서는 양안 시차이며 아래 표 1은 이러한 깊이 정보를 제공하는 방식에 따른 3차원 디스플레이 방식을 표로 분류하여 만든 것이다.

3차원 디스플레이의 평가기준은 해상도와 얼마나 많은 깊이 정보를 제공하는냐에 달려 있다. 이렇게 볼 때 홀로그래피를 이용한 디스플레이는 깊이 정보를 모두 담고 있으며 높은 해상도를 가지고 있는 매우 좋은 3차원 디스플레이이다. 이러한 장점은 홀로그래피를 이용한 디스플레이의 단점이기도 하기에 다시 뒤에서 언급하려한다. 표1에서 볼 수 있듯이 홀로그램을 이용한 디스플레이와 체적영상을 제외한 다른 모든 3차원 디스플레이는 깊이 정보를 다 전달 할 수 없기 때문에 그만큼 현실감이 떨어질 수 있다고 할 수 있다.

2.2. Computer 연산 홀로그램(CGH)과 광학적 홀로그램의 차이

이렇게 디스플레이로서 장점을 가지고 있는 홀로그

표 1. 3차원 영상 전달 방법

시차	전달 방법	구현 방법
양안 시차(binocular parallax)	<ul style="list-style-type: none"> 좌우 눈에 대응하는 화상의 광학적 특성을 달리하여 보냄 좌우 눈에 대응하는 화상을 시간 차를 두어 교대로 반복시킴 좌우 눈에 대응하는 시역을 형성시킴 	<ul style="list-style-type: none"> 편광 안경 액정 셔터 안경 스크린, 시차 장벽, 각종 프리즘 반사경 프리즘 방식, 렌티큘라 각종 광학판식, 홀로그래픽
수렴 (convergence)	<ul style="list-style-type: none"> 원근이 다른 영상을 연속 투사 	<ul style="list-style-type: none"> spiral screen, 가변 초점경
양안시차 + 운동시차	<ul style="list-style-type: none"> 좌우 눈에 대응하는 화상이 눈의 움직임에 따라 달라짐 	<ul style="list-style-type: none"> 다시점 영상기술: 이동개구, eye tracking, 홀로그래픽 스테레오그램, FLA(Focused Light Array)system
양안시차 + 운동시차 + 수렴	<ul style="list-style-type: none"> 실제에서 보는 것과 같은 똑같은 느낌 	<ul style="list-style-type: none"> 홀로그램, 홀로그래픽 비디오 시스템, IP (Integral Photography)
심리 효과	<ul style="list-style-type: none"> 눈의 전방 시야각 확대로 의사 3차원 효과 	<ul style="list-style-type: none"> IMAX

래피의 원리를 살펴보자. 일반적으로 홀로그래피는 기록과 재생의 과정이라 할 수 있다. 기록할 물체에 레이저 빛을 입사시켜 물체에 의해 산란된 빛인 물체광과 레이저에서 바로 나오는 기준광을 동시에 기록 물질에 입사시켜 간섭된 정보를 기록하고 이 기록된 정보를 재생할 때는 기록과정에서 사용했던 레이저 빛인 기준광만을 사용하여 회절정보를 재생한다. 이 때 기록물질로 사용될 수 있는 것은 빛에 민감한 반응을 하는 photopolymer 등의 film 재료들과 LiNbO_3 나 BaTiO_3 등의 결정이 있다. 정보가 기록될 때 산란된 빛의 강도뿐만 아니라 위상이 한꺼번에 기록 물질에 기록되고 재생될 때에도 마찬가지로 강도 뿐 아니라 위상도 복원되기 때문에 우리는 완벽한 3차원 영상을 구현할 수 있게 된다. 즉 재생된 영상은 완벽한 3차원영상의 복원으로 실제처럼 느껴지고 수직과 수평의 연속적인 시차를 제공하며 광학적인 홀로그램의 해상도는 그 한계가 없다라고 까지 말할 수 있다.

홀로그래픽 비디오 디스플레이는 이러한 홀로그래피의 원리를 이용한 방법으로, 일반적인 홀로그래피의 광학적인 기록과정에서 만들어지는 홀로그램 대신 연산작용을 통하여 얻은 전자 홀로그램을 실시간으로 구현할 수 있는 공간광변조기(Spatial Light Modulator)에 입력하고 재생하는 과정을 통하여 목적하는 영상을 얻는 방법으로, 정보를 입력받는 공간광변조기로는 음향광변조기(Acousto-Optic Modulator), LCD(Liquid Crystal Display) 등이 있으며 computer를 통한 연산작용으로 홀로그램을 작성함으로써 computer 연산 홀로그램(Computer Generated Hologram)이라고 한다.

2.3. Computer 연산 홀로그램에서의 표본 추출(sampling)

두 빛이 간섭하여 나타나는 홀로그램 간섭무늬는 아날로그 신호이고 이러한 아날로그 신호를 computer 연산으로 다루기 위해서는 디지털 신호로 변환시켜야 한다. 이를 위해서 우리는 홀로그램에서 표현하고자 하는 표본(sample)을 추출하여야하고 이 표본의 개수에 따라 정보의 양의 증감을 조절할 수 있게된다. 물론 이에 따라 변하는 영상의 해상도나 시야각 등은 고려

되어야 한다.

우리 인간의 눈이 구분할 수 있는 최고의 측면 해상도(lateral resolution)는 $1/60^\circ$ 이다 즉 600 mm 뒤에서 보았을 때 두 점이 0.175 mm 보다 더 가까이 근접해 있으면 눈은 두 점을 하나의 점으로 인식한다는 것이다. 홀로그램에서 구현되는 점은 0.175/100 mm 보다 더 작을 수 있으므로 우리 눈이 감지할 수 있는 범위까지 해상도를 낮출 수도 있다. 또한 깊이를 느낌에 있어서도 600 mm 거리 뒤에서 관찰자가 보았을 때 임의의 관찰대상이 0.75 mm 이상 뒤나 앞에 있지 않고서는 그 깊이를 구분할 수 없는데 반하여 홀로그램이 구현할 수 있는 점은 이 보다 100배나 더 높은 해상도를 제공한다. 또한 물체 주위에서 관찰자가 움직일 때 보는 장면의 차이점(시차 해상도: parallax resolution)을 느끼는 각도는 동공의 크기와 관계되는데, 동공의 크기를 3 mm로 했을 경우 각 해상도가 0.3° 로, 홀로그램이 연속적인 각 해상도를 제공한다라는 사실을 생각했을 경우 매우 방대한 양의 정보량이 인간의 시각에 인식되지 못한 채 낭비되고 있음을 알 수 있다.[4] 따라서 CGH에서 표본을 추출할 때에는 이렇게 인지되지 못하는 해상도를 완화시킬 수 있도록 표본 추출의 양을 조절해야 한다. 이러한 의미로 보면 CGH(Computer Generated Hologram)는 일반적인 홀로그램이 연속적인 간섭무늬의 표현인데 반하여 임의로 조절된 불연속적인 표본들(samples)로 이루어진 간섭무늬의 표현이라 볼 수 있을 것이다. $100 \times 100 \text{ mm}^2$ 의 완전 시차의 전자홀로그램을 제작하기 위해서는 He-Ne 레이저를 약 30° 의 각도를 가지고 입사시켰을 경우의 광학적인 홀로그램과 같은 특성을 갖는 전자 홀로그램을 작성한다고 한다면 10×10^{10} 번의 표본 추출이 필요하며 영상의 크기가 커지면 커질수록 표본추출의 양도 그 만큼 커지게 된다.

초기의 전자홀로그램의 실험은 주로 film에 간섭 무늬를 기록하여 정적인 영상이나 정보를 얻었으며 이러한 film은 간섭무늬를 기록할 수 있는 충분한 대역폭을 제공하여 정보량이 많건 적건 문제가 되지 않았다. 그 후 동적인 홀로그래픽 영상을 얻고자 공간광변조기(Spatial Light Modulator)를 사용하게 되었을 때에는 이 변조기가 제공할 수 있는 대역폭의 제한으로 인하여 처리 할 수 있는 정보량 역시 한계를 가지게 되었

홀로그래픽 비디오시스템 (Holographic Video System)

다. 이상적인 홀로그래픽 광변조기는 적어도 10×10^{10} 개의 표본양(samples)을 표시 할 수 있어야 하지만 현재의 광변조기의 정보처리량은 최대 10×10^6 개 정도의 표본량으로 완벽히 원하는 정보량을 모두 처리 할 수 있는 공간광변조기는 아직 출현하지 않았다.[4]

앞에서도 언급했듯이 이러한 많은 양의 정보를 처리 하기 위해서는 전자홀로그래를 띄우는 기기의 대역폭도 문제가 되지만 이를 실시간으로 구동하기 위해서는 computer가 처리해야할 정보량 역시 큰 문제가 아닐 수가 없었다. 따라서 처리해야 하는 정보량을 줄이는 여러 가지 방법이 제안되었는데 가장 많이 도입된 방법이 수평시차만을 제공하는(Horizontal Parallax Only) 전자홀로그래를 만드는 것이다. 수평 시차만을 고려함으로 수평 방향으로의 깊이감만을 주게되고 그만큼 정보량을 줄일 수 있다. 광학적으로 이러한 HPO 홀로그래피 만들어지는 과정을 보면 기준광이 수직방향으로는 물체광과 평행하게 입사하나 수평방향으로는 평행하게 입사하지 않는 경우와 같으며 수평방향으로의 공간주파수가 평행방향으로는 약 1000 linepairs/mm가 되고 이러한 공간주파수 기준광의 수평 입사각에 따라 변화한다.

일단 우리가 수평시차만 제공하는 홀로그래피를 고려하게되면 영상을 재생하는 동안 수평방향으로의 회절이 주로 일어나게 되며 홀로그래피의 수평 방향의 선(hololine)은 물체의 수평방향으로의 한 선 위에 있는 점들로 회절되게 된다. 3차원 HPO 영상을 나타내는 2차원 홀로그래피 무늬들은 1차원 홀로그래피인 hololine이 쌓인 것이라고 볼 수 있다.

이렇게 구성되어 만들어진 전자 홀로그래피의 영상재현 방식은 그 원리에 있어서 일반적으로 만들어진 광학적인 홀로그래피의 영상재현 방식이나 법칙을 고스란히 따르게 된다. 즉 원칙적으로 회절공식을 따르는 기준광의 회절로부터 우리는 영상을 얻을 수 있으며 다음과 같다.

$$2d \sin \frac{\theta}{2} = \lambda, f_h = \frac{1}{d} = \frac{2 \sin \theta/2}{\lambda}$$

d : 격자 간격 또는 표본간 거리,

θ : 시야각,

f_h : 최대 공간 주파수

위에서 볼 수 있듯이 회절각이 곧 시야각이 되므로

영상재생을 위한 표본의 수는 시야각을 얼마나 줄 것 이냐에 따라 결정된다.

$$\text{표본의 수} = w_p = 2 \frac{w}{d}$$

w 는 hololine의 길이이다. sampling theorem 최소 값을 만족시키기 위해 우리는 최대 공간주파수에 두 배로 표본의 수를 정해야 한다. 위의 식은 많은 의미를 내포하고 있다. 앞에서 언급했듯이 전자홀로그래피를 실시간으로 구동하기 위해서는 처리하여야 할 엄청난 양의 정보량을 일정수준 즉 실시간 구동을 위해서 사용되는 기기들의 수용능력에 맞게 줄여야 할 필요가 있는데 이를 위해서 우리가 표본 추출량을 줄이고자 한다면 시야각을 그대로 회생시켜야 하거나 영상의 크기를 줄여야 한다는 것이다. 현재 우리가 사용하고 있는 2차원 디스플레이인 CRT나 그 외의 어떤 다른 디스플레이에서도 우리는 기본적인 픽셀의 크기를 임의로 조정할 수 있고 우리가 원하는 크기의 영상을 무리 없이 만들어 낼 수 있다. 멀리서 보아 영상을 자세히 만 볼 수 없다면 말이다. 그러나 홀로그래피를 기반으로 하는 전자홀로그래피는 홀로그래피의 기본적인 법칙을 따르므로 회절되어지는 점의 크기를 2차원 디스플레이에서의 픽셀처럼 마음대로 조절할 수 없을 뿐더러 영상의 크기를 늘리고자 하면서 시야각을 그대로 유지하여 완벽한 영상을 만들고자 한다면 그것은 처리하여야 할 그 막대한 정보량으로 인하여 구현이 불가능하게 되기 때문에 computer 연산홀로그래피 가지고 있는 가장 큰 문제점이라 할 수 있다.

수평시차만을 제공하는 전자홀로그래피를 도입한다면 수직 방향의 공간 주파수를 대략 1000 linepairs/mm에서 10 linepairs/mm로 줄이는 이유로 인하여 처리해야 하는 정보량도 약 1/100 로 줄어들게 된다.

앞에서 언급한 막대한 표본 추출량과 더불어 전자홀로그래피의 발전에 저해가 되는 다른 하나의 이유는 빛이 실제 간섭과 진행하는데 있어 나타나는 물리학적 현상을 기술하는 수식이 너무도 복잡하다는 것이다. 이러한 복잡한 수식을 구현하는 연산을 computer가 수행하기 위해 드는 긴 시간은 막대한 정보량을 처리하기 위해 드는 시간과 더불어 전자 홀로그래피 해결해야 하는 문제점이다. 그러므로 지금까지 3차원 영상

을 위한 전자 홀로그래프의 발전 방향은 이러한 문제점에 해결방법을 제시하는 방향이었다 홀로그래프의 연산 체계의 복잡함을 해결하기 위하여 프레넬(Fresnel) 홀로그래프에 근거하여 간섭무늬를 계산하는 방법, 변형된 퓨리어(Fourier) 홀로그래프에 의한 계산 방법(5), 고전적인 프레넬 홀로그래프에 근거하여 계산하더라도 연산 속도를 개선하기 위해 새로운 방법인 룩업 테이블(Look-Up table)(3), 호겔벡터(hogel vector)를 이용하는 방법(2-4)등이 제시되었고 이와 더불어 정보량의 줄이려는 노력 등도 같이 병행되었다.[11-13]

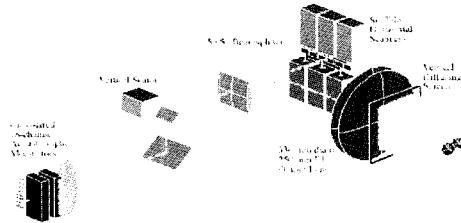


그림 1. MIT에서 구현한 홀로그래픽 비디오시스템(Mark II)

2.4. 각국의 홀로그래픽 비디오 시스템

세계적으로 홀로그래픽 비디오 시스템을 구현한 대표적인 세 곳의 시스템 비교 데이터를 표2에서 볼 수 있다. 세계 처음으로 3차원 홀로그래픽 비디오 시스템을 구축한 곳은 미국 MIT의 Benton 교수팀으로 초기에 구축된 Mark I 과 나중에 Mark II 라 이름 붙여진 장비가 있다.[6,15] KIST에서 광원으로 펄스레이저를 사용하고 있는 반면 MIT에서는 CW 레이저를 사용하고 있어 AOM에서 음향과의 진행에 따른 상의 흐름을 보상해 주기 위하여 회전다면경을 사용한다. 이

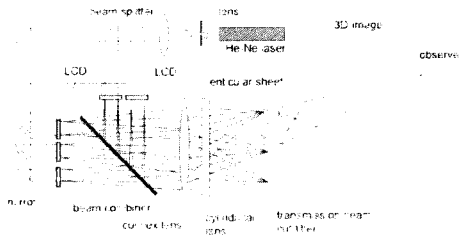


그림 2. 일본 TAO에서 구현한 LCD를 이용한 홀로그래픽비디오 시스템

표 2.

	KIST	MIT	TAO
Data point (1 frame)	36864 x 128	I. 32000 x 64 (per color) II. 256000 x 144	160300 x 960
Image size (cm ³) (Horizontal x Vertical x Depth)	7 x 5 x 5	I. 2.5 x 2.5 x 2.5 II 15 x 7.5 x 7.5	15 x 5 x 5
Spatial Light Modulator	Multichannel(6) Horizontal AOM	Multichannel vertical AOM I. 3 II. 18	LCD(3600 x 960)
Viewing angle (degree)	7	I. 15 II. 36	3.7
Frame Rate(Hz)	> 60	I. 20 II. 2.5	30
Image color	Green	I. Full color II.Red	Green
Light Source	YAG	I. He-Ne(red), YAG(green), He-Cd(blue) II. He-Ne	Ar
Oprating Mode	Pulse(50 Kk Hz)	Continuous wave	Continuous wave
CGH type	Gray level	Gray level	Binary
Parallax	HPO	HPO	HPO

홀로그래픽 비디오시스템 (Holographic Video System)

는 부피가 매우 큰 광학 장비이므로 광학장비의 대형화와 제작의 어려움을 극복하기 위해 KIST에서는 펄스레이저를 사용하고 회전 다면경을 대신하여 정지된 다면경 세트를 이용하여 시스템을 훨씬 소형화, 간소화함은 물론 기계적인 영상전달 장치를 줄이므로써 더욱 안정한 장치를 구성하였다. 일본의 TAO(Telecommunication Advancement Organization)에서는 여러 개의 액정디스플레이를 이용하여 공간광변조기로 사용되는 LCD의 화소 수를 확대하여 시스템을 구축하였다.[7,8]

2.5. KIST에 구축된 홀로그래픽 비디오 시스템 [9, 10]

KIST에서 구축된 실험도는 그림 3에서 볼 수 있다. 위의 실험에서 사용되는 레이저는 레이저 다이오드로 광펌핑되는 Nd:YAG 레이저(532 nm)로 반복율은 외부 트리거링신호에 의해 결정되어지나 시스템에 맞춘다면 50 kHz로 고정되어 있다고 보아도 좋다. 펄스지속시간은 약 30 nsec이고 최대 평균 출력은 200 mW 정도이다. 전자 홀로그래를 띄우는데 사용되는 공간광변조기는 위의 실험도에서 보이는 것처럼 음향광변조기(Acousto-Optic Modulator)를 사용하

였고 6개의 동등한 TeO₂ 결정이 300 μm 간격으로 놓여 구성되어 있어 다채널 음향광변조기를 형성한다. 이 다채널 음향광변조기의 채널을 증가시키거나 감소시키면 영상의 크기를 변화시킬 수 있다. 실험 구성에서 처음으로 보이는 음향광편향기 (Acousto-Optic Deflector)에 입사 시에는 약간씩 다른 각도를 가진 6개의 레이저 빛으로 편향되고 각 펄스간의 간격은 20 μsec이다. 이렇게 입사된 빛은 AOM에 의해 각각 변조되고 한 세트가 되어 영상의 해상도인 36864 × 128 해상도의 영상에서 수직방향의 영상선 중의 하나를 이루게 된다. 그러므로 한 화면을 형성하기 위해서는 6 × 128개의 반복되는 AOM에 의해 변조된 레이저 빛이 필요하게 되고 이러한 반복률은 AOM의 개구 시간, 즉 재생하고자 하는 신호가 진행하여 TeO₂ 결정을 완벽히 채웠을 때의 시간과 관계가 된다. 이와 관계된 전달 방향 음향파의 TeO₂ 내부에서의 속도는 617 m/s이다. 그림 4는 AOM의 구조를 보여주는 그림이다.[14]

다채널 공간광 변조기의 총 길이는 74 mm이다. 그림에서 보여지는 공간광변조기에 1024 x 6의 데이터 형식으로 각 TeO₂ 결정에 병렬로 동시에 입력되게 된다. 공간광변조기에서 변조된 신호파는 정지된 다면경

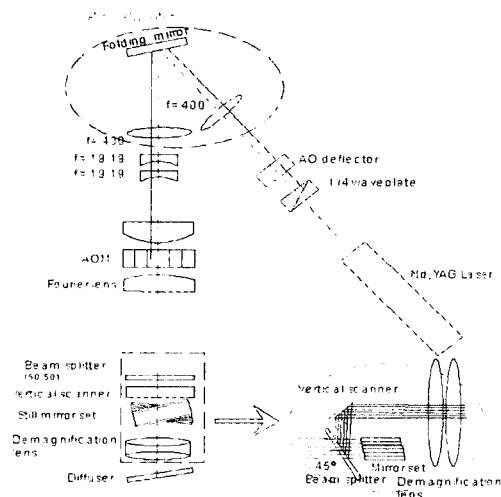
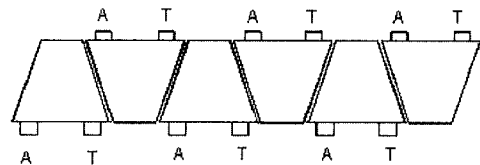
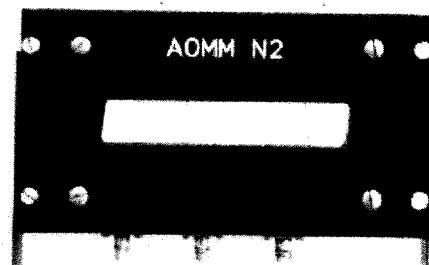


그림 3. KIST에서 구현된 홀로그래픽 비디오 시스템

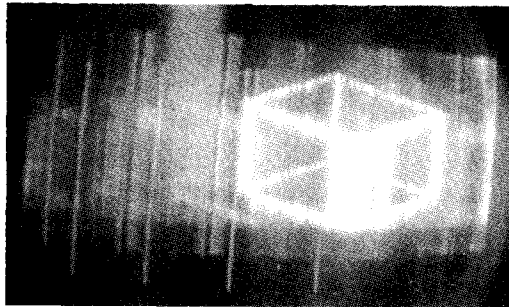


(a) Multichannel AOM Structure (T: tranducer, A: absorbr)

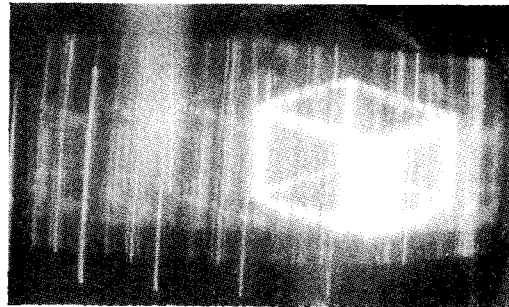


(b) Assembled Multichannel AOM

그림 4. 다채널 AOM의 구조



(a) 좌측 영상



(b) 우측 영상

그림 5. 구현된 직육면체 모양의 이진 3차원 영상

셋트에 반사되고 수직 주사기(vertical scanner)에 의해서 전달된 뒤 축소렌즈(demagnification lens)를 통과하여 수직시차를 주는 분산스크린에서 영상이 보여지게 된다. 그림 6의 영상은 이렇게 구현된 이진 3차원 직육면체의 좌우 영상이다. 그림에서 보여지듯 좌우 영상이 다르므로 우리는 이 3차원 영상이 양안시차를 제공하고 있음을 알 수 있다. KIST에서 구현한 영상의 시야각은 약 7° 정도이다. 좁은 시야각에도 불구하고 홀로그램 디스플레이기에 이 영상은 사람의 눈으로 감지 할 수 없을 정도의 양안시차 영상을 제공하고 있으며 앞에서 언급했던 운동시차 역시 제공하고 있다.

2.6. 홀로그래픽 비디오의 전망

홀로그래픽 비디오는 앞에서 언급한 문제점으로 인하여 연구개발의 속도가 매우 늦추어져 있다. 그러나 문제점에 대하여 다음과 같은 해결방안을 생각할 수 있다. 현재 사용하고 있는공간광변조기 즉 AOM이나 LCD는 매우 작은 대역폭을 가지고 있다. 이러한 대역폭을 늘리기 위하여 KIST, MIT, TAO에서 모두 여러 개의 결정이나 LCD를 수평 또는 수직 방향으로 결합하여 대역폭을 늘이는 효과를 창출하여 3차원 영상을 만들었다. 그러나 이렇게 대역폭을 늘리는 것은 그 한계를 가지고 있는데 여러 가지 광학적인 기기들이 영상을 전달할 때 발생하는 문제 때문이다. 그러므로 음향광변조기에 사용되는 단일 결정 자체의 대역폭을 늘인다면 전달할 수 있는 정보의 양은 증가되게 되고 이에 따라 영상의 크기와 시야각을 늘일 수 있다. 그러나

표본 추출양도 기하급수적으로 늘어나 영상의 크기와 시야각의 증가와 더불어 연산처리 속도 측면을 생각해야 한다.

가장 문제가 되는 영상의 크기와 시야각 사이의 문제는 특별히 제작된 광학적인 시스템이 필요하며 이러한 광학적인 시스템을 사용할 경우 3차원 영상의 조건인 수십 도의 시야각을 위하여 축소렌즈를 사용하여 영상의 크기를 줄이지 않아도 되므로 체적영상이나 홀로그래픽 영상의 제한된 크기에서 오는 모든 문제들은 해결될 수 있다.

또한 실질적인 실시간 영상전달 매체로서 역할을 위해서는 전자 홀로그램을 제작할 수 있을 정도의 고해상도의 camera나 CCD 등이 개발되었을 때 홀로그램에 대한 정보를 실시간으로 표본추출하는 방법이 연구되어야 하고 광학적인 홀로그램 등으로부터 직접 표본을 추출하는 방법 역시 고려되어야 할 것이다.

3. 맺음말

지금까지 홀로그래픽 비디오 시스템에 언급해 보았다. 미래에 우리가 사용하게 될 3차원 영상 디스플레이가 무엇이라고 단정할 수는 없겠지만 현재 우리가 가정, 사무실, 옥외에서 쓰는 디스플레이가 각각 다르듯이 각각의 3차원 디스플레이는 그 용도와 특성에 맞게 지금과 같이 가정에서, 사무실에서, 옥외에서 쓰이게 될 것이고 홀로그래픽 비디오 시스템을 이용한 컴퓨터 연산 홀로그램은 그 문제들이 극복된다면 깊이 단서를 모두 제공하는 높은 해상도의 3차원 영상으로

홀로그래픽 비디오시스템 (Holographic Video System)

효과적으로 쓰일 수 있으리라 사료되며 계속되는 홀로그래픽 비디오에 대한 연구는 그 길을 앞당길 수 있을 것이다.

참고 문헌

- 1) E. Bruce Goldstein "Sensation & Perception", Brooks/cole, 4th edition
- 2) Mark Lucente, "Optimization of hologram computation for real-time display", in SPIE proc. #1667 Practical Holography VI, 1667-04(SPIE, Bellingham, WA, 1992), S.A. Benton editor, pp 32-43
- 3) Mark Lucente "Interactive computation of holograms using a look-up table", Journal of the Electronic Imaging, Vol.2, #1, pp. 28-34, Jan 1993.
- 4) Mark Lucente "Diffraction-specific Fringe Computation for Electro-Holography", Ph. D. Thesis, Program in Media Arts and Sciences, Massachusetts Institute of Technology, September 1994.
- 5) Sung-Kyu Kim, Jung-Young Son, Joo-Hwan Chun and Tong-Kun Lim "Holographic Video System using Fourier Transform and Data Reduction", Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 38(1999) pp 6379-6384
- 6) Pierre St-Hilaire "Scalable optical architectures for electronic holography" Ph. D. Thesis, Program in Media Arts and Sciences, Massachusetts Institute of Technology, September 1994.
- 7) H. Yoshikawa, "Digital Holographic Signal Processing", Proc. TAO First International Symposium of Three Dimensional Image Communication Technologies, S-4-2, 1993
- 8) H. Yoshikawa and K. Sasaki, "Image Scaling for Electro-Holographic Display", Proc. SPIE, Vol. 2176
- 9) S. A. Shestak, J. Y. Son, S. K. Lee, and H. W. Jeon, "Pulsed Laser Holographic Video", Proc. SPIE, Practical Holography X, 1996
- 10) H. S. Oh, H. W. Jeon, S. A. Shestak, S. K. Kim, J. Y. Son, H. Y. Lee, Y. J. Choi, and C. E. Kang, "Holographic Video System with a Pulsed laser", Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 37, No. 4, pp 1877-1881, 1998
- 11) C. B. Buckhardt, "Information Reduction in Hologram for Visual Display", Journal of Optical Society of America, Vol. 58, pp 241-246, 1968
- 12) L. H. Lin, "A method of Hologram Information Reduction by Spatial frequency Sampling", Applied Optics Vol. 7, pp 545-548, 1968
- 13) H. Yoshikawa and K. Sasaki, "Information Reduction by limited Resolution for Electro-Holographic Display", Proc. SPIE, Vol. 1914, pp 206-211, 1993
- 14) J. Y. Son, S. A. Shestak, V. Epikhin, and S. K. Kim, "A Multi-Channel AOM for Real Time Electro-Holography", Applied optics, Vol. 38(14), pp 3101-3104, 1999.
- 15) P. Hilaire, A. Benton, and M. Lucente, "Synthetic Aperture Holography: A Novel Approach to Three Dimension Displays", Journal of Optical Society of America A, Vol. 9, No.11, pp 1969-1987, 1992

약 력



최현희

1992 이화여자대학교 물리학과 학사
 1996 이화여자대학교 물리학과 석사
 2000-현재 이화여자대학교 물리학과 한국과학기술연구원
 학연 협동 박사과정



우정원

1979 서울대학교 자연대학교 물리학과 학사
 1981 한국과학기술원 물리학과 석사
 1989 미국 Univ. of Pennsylvania 물리학과 박사
 1989-1992 미국 Lockheed Research Center
 Research Scientist
 1992-현재 이화여자대학교 물리학과 교수