

논문 2005-42SD-9-3

1차원 홀로그램을 응용한 표시장치 구성 방법

(Applying 1 Dimensional Hologram to Display Device)

김 영 철*

(Young Cheol Kim)

요 약

특정한 각으로 입사하는 가간섭인 평행광선에 의한 간섭무늬는 1차원 정보로서 표현되는 회절격자와 흡사한 홀로그램을 구성하며, 이러한 홀로그램을 1차원 홀로그램이라 제안한다. 1차원 홀로그램을 이용하여 표시장치의 구성이 가능하며, 간단한 광 컴퓨팅구조로서 빠르게 간섭무늬를 계산할 수 있다. 이러한 표시장치를 구성하는 방법을 제시한다.

Abstract

Coherent parallel rays from some special angle form interference pattern that seems like a diffraction lattice. This is a hologram which is expressed by 1 dimensional information. I suggest to call this as 1 dimensional hologram. By using 1 dimensional hologram it is possible to make a display device. Simple optical computing structure can calculate interference pattern fast.

Keywords : display, hologram, dimensional, optical

I. 서 론

1947년 헝가리 출신 영국 물리학자 가보르(Dennis Gabor)에 의해 소개된 홀로그램의 원리를 응용하여 새로운 표시장치를 구성하는 방법을 소개하려하며, 저자가 최근에 출원한 1차원 홀로그램을 이용한 표시장치에 대한 공개 특허^[4]의 이론적인 검증과 제반 문제에 대한 보다 상세한 논의를 다루고 있다.

홀로그램 표시장치는 입체영상 표시장치로서 많이 연구 되고 있으나, 저자는 입체영상 표시보다는 주로 안경형태의 표시장치를 목표로 하여 눈에 밀착 시킨 상태에서 적당히 거리가 떨어진 허상을 형성하는 방법으로서 홀로그램에 주목하게 되었다. 이미 오래전에 예상되었음에도 이러한 표시장치가 아직도 나타나지 않은 원인을 생각해 보았는데, 관건은 홀로그램 실시간 표시에 필요한 계산 량이 막대하며, 3차원 입체표시를 포기하고 2차원 영상을 표시한다고 하면 일부 영역만 계산

하면 되므로 사정이 조금 나으나 역시 현재의 기술 수준으로 실시간으로는 어려워 보이며, 2차원 영상 표시의 경우에는 홀로그램 방식의 계산 량 문제를 피하기 위한 다른 방법으로 조절 가능한 회절격자로 광을 편향시켜 한 번에 한 점씩을 표시하는 기술을 생각할 수 있으나^[3], 이번에는 표시속도의 문제에 부딪히는 등 기본적인 원리에 내재한 어려움에 있다고 보았다. 이에 다른 발상을 모색하게 되었다. 모든 영상 점을 다중화 하여 한꺼번에 표시하는 홀로그램과 한 점을 순차적으로 빠르게 표시하는 회절격자의 중간 단계가 존재하는지 모색해 본바, 실제로 한축 정보만으로 표현되는 1차원 홀로그램 또는 다중화 된 회절격자라도 볼 수 있는 현상이 존재하며, 이를 이용하였을 때 상기한 두 방식의 원리적인 특성이 적당히 절충되어, 현재의 기술 수준으로 구현 가능할 만큼 개선됨을 확인 할 수 있었다. 1차원 홀로그램 표시장치는 비록 3차원 입체 표시는 불가능하지만 안경 형태의 표시장치에는 적합하며, 표시장치의 구현이 용이하여 대형 창문 형태로도 생각해볼 수 있다. 이러한 1차원 홀로그램의 개념은 저자의 아는 한도 내에서는 아직 전 세계적으로 소개된 사실이 없는

* 정회원, 부산대학교 물리학과

(Department of Physics, Pusan National University)
접수일자: 2005년6월7일, 수정완료일: 2005년8월16일

듯하다.

본 논문의 내용은 우선 저자가 이용한 수학적 방법을 밝히고, 1차원 홀로그래의 존재를 증명한 다음, 이에 따른 구성 방법을 제시 하였다. 그리고 구현 시 예상되는 몇 가지 문제 중 표시해상도 문제, 잡음 문제, 회절 효율문제, 고속 계산 문제 등을 다루었으며, 주로 2차원 홀로그래와의 비교를 통하여 1차원 홀로그래방식의 우수성을 주장하였다.

II. 홀로그래

사용된 수학과 홀로그래의 원리를 간단히 설명한다면. 빛의 간섭현상을 다룰 때에는 편광 특성은 고려 않고, 위상자 방법을 사용하였다. 위상자 방법은 파동의 매질(전자기파, 탄성파, 물질파)에 상관없이 파동의 간섭무늬를 다룰 수 있는 편리한 방법이다.

한 점을 근원으로 하는 파동을 위상자로 표현하면

$$A(\vec{r}) = \alpha(\vec{r})e^{i(f(\vec{r})+\delta)} \quad (1)$$

$$(\alpha(\vec{r}) = \sqrt[3]{\text{파동양자검출확률}}, f(\vec{r}) = \frac{2\pi r}{\lambda} \text{ 이$$

다. 사실 α 는 복잡한 함수이나 $r \gg \lambda$ 인 경우에는 $\frac{1}{r}$ 에 비례하는 단순한 함수이고, 여기서 주로 다룰 1차원 홀로그래 계산에서는 사실상 상수이다. 위상자의 시간에 따른 변동을 고려하면, 일반적인 복소 파동함수를 얻을 수 있다. 즉 $\Psi(\vec{r}, t) = A(\vec{r})e^{2\pi i \omega t}$ 인 관계이다. 파동의 간섭 문제를 다루는 데에는 파동의 위상차만이 중요하며, 가간섭인 광원에서 위상차를 다룰 때에는 진동수에 대한 항은 상쇄됨을 볼 수 있다. 위 표현의 이점은 파동 함수의 시간에 대한 적분을 다룰 필요가 없이, 위상차에 의한 간섭을 직접 다룰 수 있다는 점이다. 실수로 표현되는 전자기장의 파동과 비교하여서는 광자의 확률 밀도파로 이해할 수 있다.

위 식에서 가 간섭(Coherent)이란 표현은 식에서 λ 와 δ 가 상수임을 내포한다. 여러 점을 근원으로 하는 가간섭인 파동들을 표현하는 위상자는 중첩의 원리에 의하여

$$S(\vec{r}) = \sum \alpha(\vec{r})e^{i(f(\vec{r})+\delta)} \quad (2)$$

로 표현되는데, 만약 어떠한 방법에 의해서건 위 위상자를 재현 할 수 있다면, 원래의 파동을 완전히 동일하게 재현 할 수 있다는 것이 홀로그래피의 기본 착상

이다. 이때 δ 는 어떻게 변하더라도 재현되는 광과가 표현하는 영상에는 영향을 주지 않는다는 점은 주목할 필요가 있다.

실제의 것은 아니지만 가장 간단한 경우부터 생각 했을 때 위상자 재현 방법은 식(2)의 정보를 공간에 직접 기록하고 여기에 상수 위상자로 표현되는 참조 광을 비추는 것이다. 한 점광원에 의한 경우 $\alpha(\vec{r})e^{i(f(\vec{r})+\delta)}$ 를 살펴보면 r 이 상수라면 f 와 α 역시 상수가 되고 전체 식은 복소 상수 C 가 된다. 이것을 식(2)의 기록에 비추어 줄때 곱셈 형태로 광이 변조 된다고 가정하면, 원래의 광과 강도 및 위상만 다르고 똑같은 영상을 보여주는 파동의 분포 $C \sum \alpha(\vec{r})e^{i(f(\vec{r})+\delta)}$ 를 얻을 수 있다. 여기서 r 이 상수일 조건은 별다른 광학 구조가 없는 한 평면이거나 구면 에만 가능하다. 대신 참조 광은 오직 기록 면의 형태에만 의존하며 기록된 위상자 와는 무관하다. 즉 기록 시에 참조광은 필요 없다. 실제의 파동은 매우 빠르게 시간에 의존한 위상 변화를 보이며 위상변화에 의한 전기장의 강도 분포와 복사 조도에 의한 전자기장 강도 분포의 구분이 순간 적인 측정으로는 불가능 하다는 점에 의하여, 이러한 파면 재생 방식은 기록 형태로는 불가능 하지만 계산으로 구현된 인위적인 홀로그래의 구현 방법으로는 연구해 볼만하다. 프레넬 렌즈의 원리와 흡사하다.

실제의 홀로그래 기록 방법은 사진 건판을 이용한 복사 조도의 기록으로 달성 되었다. 기록되는 정보는 정규화를 무시하면 식 (2)로부터

$$I(\vec{r}) = |S(\vec{r})|^2 = \left| \sum \alpha(\vec{r})e^{i(f(\vec{r})+\delta)} \right|^2 \quad (3)$$

에 기인한 함수이다.

홀로그래 재생은 (3)식과 직접 관련이 있는데, (3)식은

$$I(\vec{r}) = \sum \alpha(\vec{r})e^{i(f(\vec{r})+\delta)} \times \sum \alpha(\vec{r})e^{-i(f(\vec{r})+\delta)} \quad (4)$$

로 다시 쓸 수 있고, 전개하여 행렬로 나타내면

$$I(\vec{r}) = \begin{bmatrix} \alpha_1\alpha_1 & \alpha_1\alpha_2e^{i(f_1-f_2)} & \alpha_1\alpha_3e^{i(f_1-f_3)} & \alpha_1\alpha_4e^{i(f_1-f_4)} & \dots \\ \alpha_2\alpha_1e^{i(f_2-f_1)} & \alpha_2\alpha_2 & \alpha_2\alpha_3e^{i(f_2-f_3)} & \alpha_2\alpha_4e^{i(f_2-f_4)} & \dots \\ \alpha_3\alpha_1e^{i(f_3-f_1)} & \alpha_3\alpha_2e^{i(f_3-f_2)} & \alpha_3\alpha_3 & \alpha_3\alpha_4e^{i(f_3-f_4)} & \dots \\ \alpha_4\alpha_1e^{i(f_4-f_1)} & \alpha_4\alpha_2e^{i(f_4-f_2)} & \alpha_4\alpha_3e^{i(f_4-f_3)} & \alpha_4\alpha_4 & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \end{bmatrix} \quad (5)$$

이다.(δ 항 생략) 여기에 애초의 광원 중 α_1 항이 참조 광이었던 것으로 선택하고, 재생 광으로서 비추어주면,(강

도는 $\alpha_1=1$ 을 선택하자) 위 행렬에 의해 변조된 결과는

$$J(\vec{r}) = I(\vec{r})e^{i(f(\vec{r})+\delta)} = \begin{bmatrix} e^{if_1} & \alpha 2e^{i(2f_1-f_2)} & \alpha 3e^{i(2f_1-f_3)} & \alpha 4e^{i(2f_1-f_4)} & \dots \\ \alpha 2e^{if_2} & \alpha 2^2e^{if_1} & \alpha 2\alpha 3e^{i(f_1-(f_3-f_2))} & \alpha 2\alpha 4e^{i(f_1-(f_4-f_2))} & \dots \\ \alpha 3e^{if_3} & \alpha 2\alpha 3e^{i(f_1+(f_3-f_2))} & \alpha 3^2e^{if_1} & \alpha 3\alpha 4e^{i(f_1-(f_4-f_3))} & \dots \\ \alpha 4e^{if_4} & \alpha 2\alpha 4e^{i(f_1+(f_4-f_2))} & \alpha 3\alpha 4e^{i(f_1+(f_4-f_3))} & \alpha 4^2e^{if_1} & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \end{bmatrix} \quad (6)$$

인데.(6항 생략) 이 결과를 대각 성분을 첫 항으로, 나머지 중 첫 열을 둘째 항으로, 그 나머지 중 첫 행을 셋째 항으로, 나머지 항 들은 대각에 대하여 대칭인 항들과 더하여 코사인 함수로 정리하면 결과는

$$J(\vec{r}) = e^{if_1}(1 + \sum \alpha^2) + \sum \alpha e^{if} + \sum \alpha e^{i(2f_1-f)} + 2e^{if_1} \sum \alpha_m \alpha_n \cos(f_m - f_n) \quad (7)$$

이다. 첫째 항은 0차 항, 둘째 항은 상을 복원하는 항이고, 셋째 항은 공액상에 관한 항 이며, 넷째 항은 잡음 항인데, α 제곱에 의존하므로 체적 홀로그래ムの 경우 작은 α 의 중복 적용과 관계 되어 감소된다. 위 방법은 어떤 특정한 좌표계에 의존하지 않으므로 자체로 체적 홀로그래ム에 대한 설명을 겸하고 있다는 장점이 있다.

III. 1차원 홀로그래ム

홀로그래ムの 정보 기록공간의 차원과 저장 정보의 차원을 살펴보면, 3차원 공간 좌표에 의해 표현되는 체적 홀로그래ム은 3차원 정보를 재생광의 파장과 공간좌표에 의해서 다중화 시킬 수 있으므로 정보의 저장 차원을 5차원이라 볼 수 있고, 2차원 공간 좌표에 의해 표현되는 평면 홀로그래ム은 3차원 정보를 저장 할 수 있다. 그렇다면, 1차원 공간 좌표에 의해 표시되는 홀로그래ム은 어떤 것인가? 결과를 말하자면 1차원 홀로그래ム은 1차원 정보를 저장하는 것이 가능하며 파장이나 입사각에 따른 다중화는 불가능하다.

파동 위상차 표현 $A(\vec{r}) = \alpha(\vec{r})e^{i(f(\vec{r})+\delta)}$ 을 직각 좌표계에서 상세히 쓰면,

$$r \gg \lambda \text{ 일 때} \\ A(\vec{r}) = A(X, Y, Z) \\ = \frac{\alpha}{r} e^{2\pi i \left(\frac{\sqrt{(O_x - X)^2 + (O_y - Y)^2 + (O_z - Z)^2}}{\lambda} + \delta \right)} \quad (8)$$

로 쓸 수 있다.

$(\sqrt{(O_x - X)^2 + (O_y - Y)^2 + (O_z - Z)^2} = r, O_x, O_y, O_z$ 는 점광원의 위치벡터의 축 성분) 이 표현은 체적 홀로그래ム에 대응한다. XY 평면상에 형성되는 홀로그래ム은 식(8)에 단순히 $Z=0$ 을 대입하여 식(5)를 계산하면 된다. 이때에도 실제로 구현될 때에는 0의 두께는 있을 수 없으므로 어느 정도의 두께를 지니며, 실제로 식(7)의 넷째 잡음 항을 줄이기 위해서도 같은 회절 효율을 위해서는 약간의 두께를 지니고 중복 변조 되는 것이 나올 것이다. 이 경우가 전형적인 2차원 홀로그래ムの 경우이다. 여기서 다시 $Y=0$ 을 대입한 경우도 1차원 홀로그래ム이라고 부를 수 있을 것이나, 물리적인 선에 구현되는 홀로그래ム으로서 그 의미를 찾기 어렵다. 선 대신 평면상에 한축만의 함수로서 표현되는 방법이 있다면 이를 1차원 홀로그래ム으로 부를 수 있을 것이다.

$(X, Y, Z)=(0, 0, 0)$ 인 원점을 기준으로 위상차를 표현하면 식(8)의 위상차를 광원 기준이 아닌 표현하고자하는 좌표계의 원점과의 차로써 나타내도록 꼴을 바꿀 수 있는데, 식(1)에서 $r = \infty$ 인 평행 광선의 경우

$$A(\vec{r}) = A(X, Y, Z) \\ = \frac{\alpha}{r} e^{2\pi i \left(\frac{r(x, y, z) - r_0}{\lambda} + \delta \right)} \approx \frac{\alpha}{r_0} e^{2\pi i \left(\frac{r(x, y, z) - r_0}{\lambda} + \delta \right)} \\ = \frac{\alpha}{r_0} e^{2\pi i \left(\frac{\sqrt{(O_x - X)^2 + (O_y - Y)^2 + (O_z - Z)^2} - \sqrt{\alpha_x^2 + \alpha_y^2 + \alpha_z^2}}{\lambda} + \delta \right)} \\ \approx \frac{\alpha}{r} e^{2\pi i \left(-\frac{O_x X + O_y Y + O_z Z}{\sqrt{O_x^2 + O_y^2 + O_z^2}} + \delta \right)} \\ \approx \frac{\alpha}{r} e^{-2\pi i \left(\frac{\vec{r} \cdot \hat{x} X + \vec{r} \cdot \hat{y} Y + \vec{r} \cdot \hat{z} Z}{r} + \delta \right)} \\ = \frac{\alpha}{r} e^{-2\pi i \left(\frac{\vec{r} \cdot \hat{x} X + \vec{r} \cdot \hat{y} Y + \vec{r} \cdot \hat{z} Z}{\lambda} + \delta \right)} \quad \text{인데.}$$

$r=\infty$ 의 경우이므로 $\frac{\alpha}{r}$ 는 그냥 α 로 바꿀 수 있다. 따라서

$$A(X, Y, Z) = \alpha e^{-2\pi i \left(\frac{\vec{r} \cdot \hat{x} X + \vec{r} \cdot \hat{y} Y + \vec{r} \cdot \hat{z} Z}{\lambda} + \delta \right)} \\ \text{여기서 } Z=0 \text{인 XY평면으로 한정하여 한 차원 줄일 수 있으므로 최종 식은} \\ A(X, Y) = \alpha e^{-2\pi i \left(\frac{\vec{r} \cdot \hat{x} X + \vec{r} \cdot \hat{y} Y}{\lambda} + \delta \right)} \quad (9)$$

이다.

$(\alpha e^{-2\pi i(\frac{\hat{r} \cdot \hat{P}}{\lambda} + \delta)})$ 가 최종 꼴로서 깔끔하나 편 의상 (9)식 형태로 다룰 것이다.

식(2)에 대입하여 여러 점에 대한 표현을 구하면,

$$S(X, Y) = \sum \alpha e^{-2\pi i(\frac{\hat{r} \cdot \hat{x} X + \hat{r} \cdot \hat{y} Y}{\lambda} + \delta)}$$

일 때
 $\hat{r} \cdot \hat{y} = c(\text{상수})$ 이면(극좌표에서 위도가 같은 경우)

$$S(X, Y) = e^{-2\pi i \frac{\hat{r} \cdot \hat{y}}{\lambda} Y} \sum \alpha e^{-2\pi i(\frac{\hat{r} \cdot \hat{x} X}{\lambda} + \delta)} \quad (10)$$

로 쓸 수 있다. 식(10)을 식(4)에 대입하여 실제의 홀로그 램 정보를 구하면, $\alpha_1 = 1$ 이라 둘 때

$$I(X, Y) = |S(X, Y)|^2 = e^{-2\pi i \frac{\hat{r} \cdot \hat{y}}{\lambda} Y} \sum \alpha e^{-2\pi i(\frac{\hat{r} \cdot \hat{x} X}{\lambda} + \delta)} \times e^{2\pi i \frac{\hat{r} \cdot \hat{y}}{\lambda} Y} \sum \alpha e^{2\pi i(\frac{\hat{r} \cdot \hat{x} X}{\lambda} + \delta)} = \sum \alpha e^{-2\pi i(\frac{\hat{r} \cdot \hat{x} X}{\lambda} + \delta)} \times \sum \alpha e^{2\pi i(\frac{\hat{r} \cdot \hat{x} X}{\lambda} + \delta)} = I(X)$$

$$\begin{bmatrix} 1 & \alpha_2 e^{2\pi i(\frac{\hat{r}_2 - \hat{r}_1}{\lambda} \cdot \hat{x} X)} & \alpha_3 e^{2\pi i(\frac{\hat{r}_3 - \hat{r}_1}{\lambda} \cdot \hat{x} X)} & \dots \\ \alpha_2 e^{2\pi i(\frac{\hat{r}_2 - \hat{r}_1}{\lambda} \cdot \hat{x} X)} & \alpha_2 \alpha_2 & \alpha_2 \alpha_3 e^{2\pi i(\frac{\hat{r}_3 - \hat{r}_2}{\lambda} \cdot \hat{x} X)} & \dots \\ \alpha_3 e^{2\pi i(\frac{\hat{r}_3 - \hat{r}_1}{\lambda} \cdot \hat{x} X)} & \alpha_3 \alpha_2 e^{2\pi i(\frac{\hat{r}_3 - \hat{r}_2}{\lambda} \cdot \hat{x} X)} & \alpha_3 \alpha_3 & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \end{bmatrix} \quad (11)$$

로서(δ항 생략) Y에 의존하는 항이 상쇄되고, X축 만에 의존한 1차원 좌표 정보로서 표현됨을 알 수 있다. 이러한 홀로그램을 1차원 홀로그램으로 부를 것이다.

식(5),(6)의 방법으로 재생 광과의 변조를 확인 하면,

$$J(X, Y) = e^{-2\pi i(\frac{\hat{r}_1 \cdot \hat{x} X + \hat{r}_1 \cdot \hat{y} Y}{\lambda} + \delta)} \times \begin{bmatrix} 1 & \alpha_2 e^{2\pi i(\frac{\hat{r}_2 - \hat{r}_1}{\lambda} \cdot \hat{x} X)} & \alpha_3 e^{2\pi i(\frac{\hat{r}_3 - \hat{r}_1}{\lambda} \cdot \hat{x} X)} & \dots \\ \alpha_2 e^{2\pi i(\frac{\hat{r}_2 - \hat{r}_1}{\lambda} \cdot \hat{x} X)} & \alpha_2 \alpha_2 & \alpha_2 \alpha_3 e^{2\pi i(\frac{\hat{r}_3 - \hat{r}_2}{\lambda} \cdot \hat{x} X)} & \dots \\ \alpha_3 e^{2\pi i(\frac{\hat{r}_3 - \hat{r}_1}{\lambda} \cdot \hat{x} X)} & \alpha_3 \alpha_2 e^{2\pi i(\frac{\hat{r}_3 - \hat{r}_2}{\lambda} \cdot \hat{x} X)} & \alpha_3 \alpha_3 & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \end{bmatrix}$$

은 식(7) 방법으로 정리하면

$$J(X, Y) = e^{-2\pi i \frac{\hat{r}_1 \cdot \hat{x} X + \hat{r}_1 \cdot \hat{y} Y}{\lambda}} (1 + \sum \alpha^2) \dots < 1 > + \sum \alpha e^{-2\pi i \frac{\hat{r} \cdot \hat{x} X + \hat{r}_1 \cdot \hat{y} Y}{\lambda}} \dots < 2 > + \sum \alpha e^{-2\pi i \frac{(2\hat{r}_1 - \hat{r}) \cdot \hat{x} X + \hat{r}_1 \cdot \hat{y} Y}{\lambda}} \dots < 3 > + 2e^{-2\pi i \frac{\hat{r}_1 \cdot \hat{x} X + \hat{r}_1 \cdot \hat{y} Y}{\lambda}} \sum \alpha_m \alpha_n \text{Cos}(2\pi \frac{(\hat{r}_m - \hat{r}_n) \cdot \hat{x} X}{\lambda}) \dots < 4 > \quad (12)$$

이다.(δ항 생략) 역시 <1>항은 0차 항이고 <2> 항은 실상을 나타내는 항, <3> 항은 공액상을 나타내는 항으로, 홀로그램으로 기능 한다는 것을 확인할 수 있다. <3>,과 <4>항으로 표현되는 광 벡터 중에는 최종 단위 각 벡터의 크기가 항상 1을 만족하여야 하므로, 실제로는 생성 되지 않는 성분도 있다. 이는 회절격자 방정식 $\alpha(\sin \theta_m - \sin \theta_i) = m\lambda$ 에서 $\pm m$ 의 차수가 sin 함수의 최대 절대 값이 1이란 점에 의해 제한되는 것과 같은 이유이다.^[1] <2> 항은 다른 파장이나 입사각에도 물리적으로 의미 있는 결과를 보일 수 있으므로 다중화는 불가능하다.

IV. 1차원 홀로그램을 이용한 표시장치 구성

상기한 1차원 홀로그램을 이용하여 표시 장치를 다 음 그림과 같이 구성할 수 있다.

계산된 홀로그램을 표시할 수 있는 광변조 장치에 식

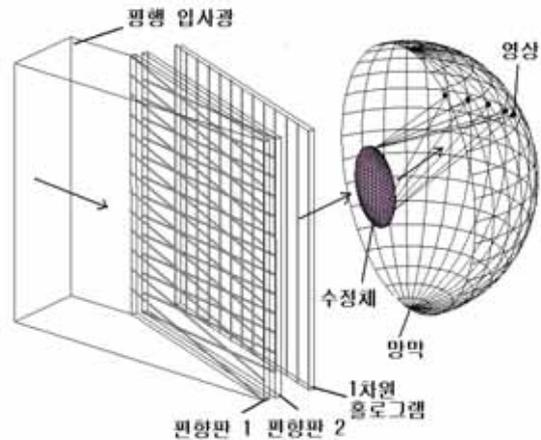


그림 1. 1차원 홀로그램 표시장치 구성 예
Fig. 1. 1 dimensional hologram display.

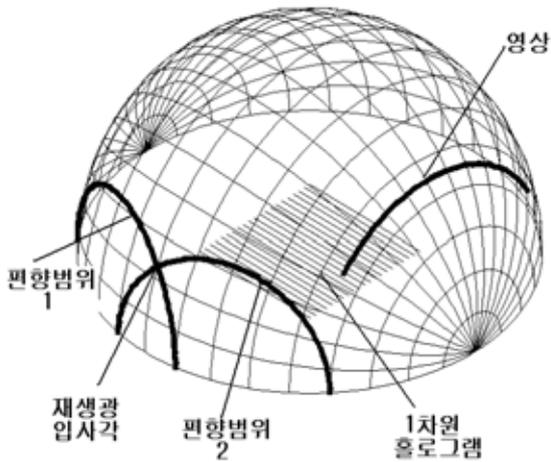


그림 2. 편향판의 편향범위와 표시되는 영상
Fig. 2. Deflection range and line image.

(12)의 <2>항의 $\hat{r}_1 \cdot \hat{y}$ 가 변하는 평행입사 재생 광을 순차적으로 비추면서 홀로그램을 재생 광에 맞추어 갱신 하면, 한 번에 한 줄씩 전체 영상을 재생하게 된다. 천연색은 적, 녹, 청 각 색상에 대하여 한번씩 3회 반복하여 표현한다.

재생 광의 입사각을 조절하여야 하므로 입사각을 바꿀 편향 장치가 필요한데, 1차원 홀로그램을 이용하여 광변조기를 편향 장치로도 이용할 수 있다.

편향판 1,2와 1차원 홀로그램은 서로 엇갈린 형태로 구성된 광변조 장치들이다. 한 번에 편향판 1 또는 2만 작동하게 되며 다른 쪽은 투명한 상태를 유지한다.

그림 1의 평행 광 입사각은 그림 2의 재생 광 입사각에 고정 되어있으며, 이는 비스듬하게 배열된 편향판 1또는 2에 의하여 편향범위 1또는 편향 범위 2의 영역 중에서 1차원 홀로그램에 대한 입사각을 변화 시킬 수 있다. 이러한 편향판을 비스듬하게 엇갈려 놓은 구조는 0차광을 전반사 효과로 제거하기 위함이다. 또한 이러한 구조에서 편향 판 1또는 편향판 2중의 한쪽을 체적 홀로그램으로 대체 하는 것도 고려될 수 있다. 이 경우 체적 홀로그램은 영상 주사선의 수만큼 적어도 1000회 이상 다중화 되어야 할 것이다.

상기한 구조를 이용하면 원리적으로 2차원 영상을 표현 가능하다는 것은 자명하다. 그러나 실제로 이러한 표시 장치가 제작되고 작동하는 데에는, 몇 가지 고려해야 할 사항들이 더 있다. 실제 광 변조장치 제작의 문제와, 화면 밝기와 관계된 회절효율 문제와 잡음 문제, 그리고 가장 관건이 될 간섭무늬의 빠른 계산 문제 등은 구체적으로 확인할 필요가 있다. 그리고 사실 상

기한 표시장치와 동일한 무한대 거리의 2차원 영상을 표시하는 2차원 홀로그램이나 회절격자 방식 등 같은 결과를 기대할 수 있는 다른 방식과의 비교를 통하여야만이 이러한 1차원 홀로그램을 이용한 표시 장치의 유용성을 검증 할 수 있을 것이다.

1. 광변조 장치

홀로그램 방식의 표시장치는 일반 표시장치에 비해 매우 고해상도의 광 변조장치를 필요로 한다. 일반적인 노트북용의 액정모니터의 경우 약 30cm의 폭에 약 1000개의 화소를 표시하고 각 화소 당 적, 녹, 청 색 각각 을 표현 하여야 한다면 필요한 해상도는 대략 100 μ m 이다. 현재 액정 방식의 표시장치에서 표시 해상도는 약 10 μ m 정도 까지 내려 간 것으로 알려져 있으며, 이와 비슷한 해상도는 휴대폰의 액정 표시장치 등에서 확인할 수 있다. 그러나 이정도의 해상도는 홀로그램을 표시하기에는 충분하지 않다. 홀로그램 방식의 표시장치에서는 영상의 해상도와 광 변조장치의 해상도 사이에는 관련이 없다. 해상도는 오직 표시장치의 직경과 표시정보의 양자화 잡음에만 의존한다. 표시장치의 해상도는 표시되는 영상의 시 직경, 정확히는 영상의 한 화소와 홀로그램 참조광과의 각도와 관련이 있다. 진폭 홀로그램을 표현하는 식 (11)은, $\alpha_1 = 1$ 인 조건에서

$$I(X) = \begin{bmatrix} 1 & \alpha_2 e^{2\pi i \frac{(\hat{r}_1 - \hat{r}_2) \cdot \hat{x} X}{\lambda}} & \alpha_3 e^{2\pi i \frac{(\hat{r}_1 - \hat{r}_3) \cdot \hat{x} X}{\lambda}} & \dots \\ \alpha_2 e^{2\pi i \frac{(\hat{r}_2 - \hat{r}_1) \cdot \hat{x} X}{\lambda}} & \alpha_2 \alpha_2 & \alpha_2 \alpha_3 e^{2\pi i \frac{(\hat{r}_2 - \hat{r}_3) \cdot \hat{x} X}{\lambda}} & \dots \\ \alpha_3 e^{2\pi i \frac{(\hat{r}_3 - \hat{r}_1) \cdot \hat{x} X}{\lambda}} & \alpha_3 \alpha_2 e^{2\pi i \frac{(\hat{r}_3 - \hat{r}_2) \cdot \hat{x} X}{\lambda}} & \alpha_3 \alpha_3 & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \end{bmatrix}$$

$$= \sum \sum \alpha_m \alpha_n \text{Cos} \left(2\pi \frac{(\hat{r}_m - \hat{r}_n) \cdot \hat{x} X}{\lambda} \right) \quad (13)$$

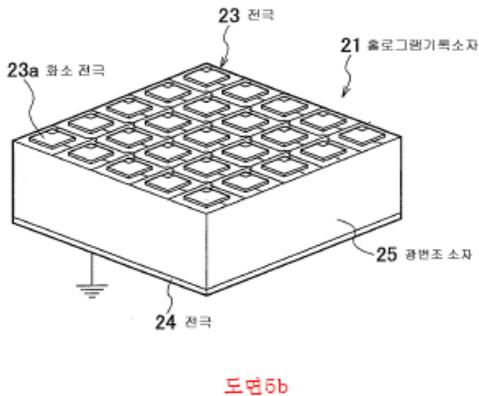
로 다시 쓸 수 있으며, 이는 홀로그램(적어도 1차원 홀로그램은) 공간주기 $\frac{\lambda}{(\hat{r}_m - \hat{r}_n) \cdot \hat{x}}$ 로 표현되는 성분들의 합임을 알려준다. $(\hat{r}_m - \hat{r}_n) \cdot \hat{x}$ 의 가능한 최대 값이 2이고, 한 공간 주기를 표현 하기 위해서는 최소 두 배의 해상도가 필요하므로, 제약 없이 홀로그램을 표현하기 위해서는 $\frac{\lambda}{4}$, 여기에 천연 색 표시에 필요한 청색 파장 약 400nm를 대입하면, 100nm정도의 해상도가 요구된다. 앞서 언급한 10 μ m해상도의 액정을 광변조기로 사용

할 경우 최대 시야는 $\frac{400nm}{2(\hat{r}_m - \hat{r}_n) \cdot \hat{x}} = 10\mu m$ 에서

$$(\hat{r}_m - \hat{r}_n) \cdot \hat{x} = \frac{400nm}{2 \times 10\mu m} = 0.02$$

이므로 1m 떨어진 곳에서 폭 2cm 정도의 물체가 차지하는 시야 정도인데, 이는 전혀 실용성이 없다. 액정 방식의 광변조기에서는 빛이 매질을 통과함에 따라서 편광면이 회전하는 원리로 동작하므로, 어느 정도의 두께를 필요로 하며, 이 경우 표시할 수 있는 해상도는 두께에 의해 제한된다. 따라서 이러한 한계를 극적으로 개선할 가능성은 희박해 보인다. 더구나, 1차원 홀로그래에서만의 문제이긴 하나, 액정은 분자의 정렬 축이 전압에 따라 변하는 원리로 작동하므로 반응 속도가 느리다. 통상 수 ms 정도로 알려져 있는데, 1차원 홀로그래를 이용하여 1000줄 정도로 구성된 영상을 24프레임의 갱신속도로 적, 녹, 청 각 1회 표시하자면 약 14μs 정도 이내의 응답시간이 필요하다. 이 정도 상황이면 액정 방식을 이용한 홀로그래 표시는 포기하는 것이 옳을 것 같다.

다행히 다른 방식의 광변조기에 대한 연구들이 꾸준히 진행 되어 왔고, 그중 최근 국내 공개된 일본 NTT 도쿄모의 특허문서^[2]에 따르면, 전계강도에 따라서 굴절률이 변하는 소재를 사용하여 1μm 이하의 해상도를 구현할 수 있음을 주장하고 있다. 이는 1m 떨어진 곳에서



도면 5b

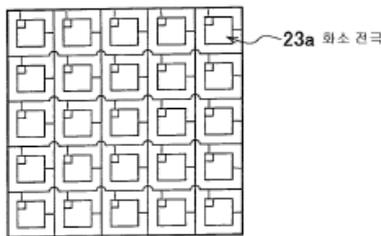


그림 3. 일본 NTT의 광변조기 구성 예
Fig. 3. Light modulator structure of NTT, Japan.

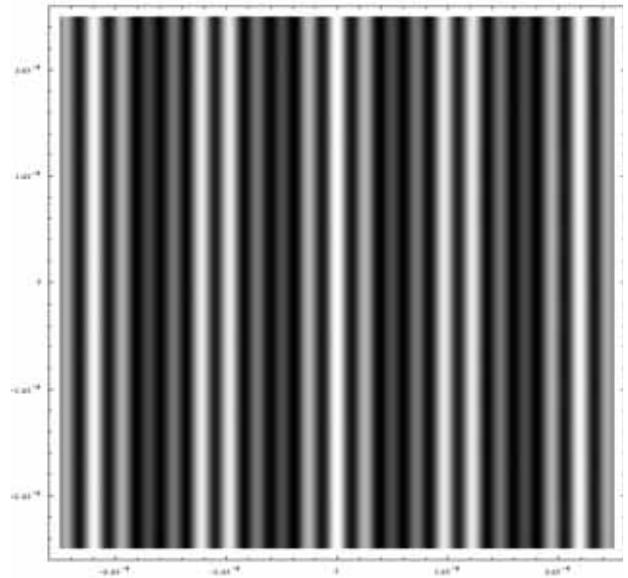


그림 4. 1차원 홀로그래의 예
Fig. 4. Example of 1 dimensional hologram.

서 폭 20cm의 물체에 해당하는 시야각을 제공할 수 있으나, 여전히 약간 불충분하다. 다만 분자의 재 정렬이 아닌 굴절률이라는 물성을 직접 조절하는 방식이므로 응답 속도는 충분히 빠를 것으로 추측된다. 여기서 상기한 1μm라는 해상도는 2차원 영상으로 홀로그래를 표시하는데 가능한 해상도이며, 여기에 1차원 홀로그래 방식을 이용하면 그 해상도를 더욱 올릴 수 있음을 지적한다.

그림 3은 일본 NTT가 제시한 홀로그래 표시용 광변조기의 구조도이다.^[2] 2차원 홀로그래를 표시하기 위해서는 전극을 매트릭스 방식으로 구성하고, 각 화소마다 제어용의 트랜지스터를 포함하여야 한다. 정보 전송용 전극과 화소용 전극이 각기 필요하여, 추가의 면적이나 혹은 다층 구조를 필요로 한다. 1차원 홀로그래에서는 이러한 매트릭스 구조가 필요 없다는 장점이 있다.

그림 4의 정보를 표시하는데 그림 3의 종횡 구조가 필요 없음은 자명하다. 그림 3의 화소 전극과 신호 전송용 전극은 공유할 수 있으며, 정보를 유지하는데 필요한 트랜지스터는 그림 4의 세로줄 무늬 양끝에만 위치하면 된다. 현재의 최신인 약 60nm 배선 기술을 사용한다면 약 300nm의 해상도를 기대하는 것은 과하지 않으리라 본다. 그리고 투명한 도전체를 사용할 수 있다면(그림 3의 화소 전극과 바닥의 공통 전극에 사용된) 배선 기술의 한계와 해상도의 한계는 동일하다.

NTT의 보고에 따르면, 2차원 홀로그래에서는 아직은 좀 더 가야할 길이 남아있으나, 1차원 홀로그래를

사용한다면 이제는 홀로그램 표시장치에 필요한 실용성 있는 광변조 해상도에 도달하였음을 알 수 있다.

2. 잡음 및 회절 효율

실제의 표시장치 구성에 있어서는 영상의 화질문제가 대두된다. 화질은 영상의 해상도와 밝기, 배경 잡음의 존재에 의하여 결정 되는데, 해상도의 경우에는 홀로그램자체가 근본적으로 고해상도의 표현 방식이기에 원리 수준에서의 고찰은 당장은 필요 없을 듯하다. 그러나 잡음 문제와 밝기문제는 논의할 필요가 있다.

(1) 홀로그램 계산시의 잡음 제거

본 논문에서 사용한 계산 방식에서는 식(7)의 넷째 항이나, 식(12)의 <4>항 같은 잡음 항을 포함한다. 이러한 잡음 항은 광변조가 공간상의 한 면에서 순간적으로 일어난다는 가정에서 기인한다. 식(11)의 행렬에 재생 광을 비추었을 때 홀로그램에 의하여 변조된 모든 광의 에너지 분포를 정규화 없이 쓰면,

$$E = \begin{bmatrix} 1 & \alpha_2^2 & \alpha_3^2 & \alpha_4^2 & \dots \\ \alpha_2^2 & (\alpha_2\alpha_2)^2 & (\alpha_2\alpha_3)^2 & (\alpha_2\alpha_4)^2 & \dots \\ \alpha_3^2 & (\alpha_3\alpha_2)^2 & (\alpha_3\alpha_3)^2 & (\alpha_3\alpha_4)^2 & \dots \\ \alpha_4^2 & (\alpha_4\alpha_2)^2 & (\alpha_4\alpha_3)^2 & (\alpha_4\alpha_4)^2 & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \end{bmatrix} \quad (14)$$

이다. 영상 점의 개수를 n이라 두고, 편의를 위해 모든 영상 점의 밝기가 동일하다 가정하면, 식 (14)는 $E = 1 + n\alpha^2 + n\alpha^4 + n^2\alpha^4$ 로 쓸 수 있다. 첫 항은 0 차 항 중 대각성분을 뺀 값이며, 둘째 항은 총 영상의 밝기, 셋째 항은 공역상의 밝기, 넷째 항은 0차 항 중 대각 성분과 잡음항의 합이다. $\alpha > 0$ 으로 갈 때, 즉 영상의 총 밝기가 참조 광에 비해 충분히 작을 때 잡음 항은 0에 수렴함을 알 수 있다. 그러나 이때 단순히 잡음 항을 버리고 1행과 1열만을 계산하는 것으로도 잡음을 제거할 수 있다. 즉 식(3)의

$$I(\vec{r}) = \left| \sum \alpha(\vec{r}) e^{i(f(\vec{r}) + \delta)} \right|^2 \text{ 표현대신.}$$

$$I(\vec{r}) = \alpha_1(\vec{r})^2 + 2\alpha_1(\vec{r}) \sum \alpha(\vec{r}) \cos(f_1(\vec{r}) - f(\vec{r}) + \delta_1 - \delta) \quad (15)$$

의 표현을 사용하면 된다. 식(15)를 식 (11)에 적용하여 1 차원 홀로그램에서의 표현을 구하면,

$$I(X) = 1 + 2 \sum \alpha \cos \left(2\pi \frac{(\hat{r}_1 - \hat{r}) \cdot \hat{x} X}{\lambda} + \delta_1 - \delta \right) \quad (16)$$

이다. 원식과 달리 음수 값이 가능함으로 정규화시 주의해야한다. 이때의 1차원 홀로그램은 다중화 된 코사인 회절격자라도 부를 수 있다.

(2) 회절 효율 개선

회절 효율은 $\frac{\text{영상의 밝기}}{\text{재생광의 밝기}}$ 로 정의된다. 홀로그램이 재생 광을 변조 하는 방식은 진폭 변조 형과 위상 변조 형이 있다고 알려져 있는데, 진폭 변조 형에서는 회절 효율이 극히 낮다. 가장 간단한 빛을 흡수하여 광도를 조절하는 광변조기를 생각해 보면, 투과율 $T = 1 - \text{흡수율}$ 은 0과 1사이의 값을 가진다. 여기에

$R_{ref} = \alpha e^{-2\pi i \left(\frac{(\hat{r}_1 \cdot \hat{x} X + \hat{r}_1 \cdot \hat{y} Y)}{\lambda} + \delta \right)}$ 로 표시되는 재생 광을 비추면

$$R_{out} = \sqrt[3]{T} \alpha e^{-2\pi i \left(\frac{(\hat{r}_1 \cdot \hat{x} X + \hat{r}_1 \cdot \hat{y} Y)}{\lambda} + \delta \right)}$$

로 변조된다. 이때 식(11)은 가장 간단히 $(1 + \sum \alpha)^2$ 로 정규화하면

$$\sqrt[3]{T(X)} = \frac{I(X)}{(1 + \sum \alpha)^2} = \frac{1}{(1 + \sum \alpha)^2} \times \begin{bmatrix} 1 & \alpha_2 e^{2\pi i \frac{(\hat{r}_1 - \hat{r}_2) \cdot \hat{x} X}{\lambda}} & \alpha_3 e^{2\pi i \frac{(\hat{r}_1 - \hat{r}_3) \cdot \hat{x} X}{\lambda}} & \dots \\ \alpha_2 e^{2\pi i \frac{(\hat{r}_2 - \hat{r}_1) \cdot \hat{x} X}{\lambda}} & \alpha_2 \alpha_2 & \alpha_2 \alpha_3 e^{2\pi i \frac{(\hat{r}_2 - \hat{r}_3) \cdot \hat{x} X}{\lambda}} & \dots \\ \alpha_3 e^{2\pi i \frac{(\hat{r}_3 - \hat{r}_1) \cdot \hat{x} X}{\lambda}} & \alpha_3 \alpha_2 e^{2\pi i \frac{(\hat{r}_3 - \hat{r}_2) \cdot \hat{x} X}{\lambda}} & \alpha_3 \alpha_3 & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \end{bmatrix}$$

로 나타 낼 수 있는데, 이는 점 하로 이루어진 영상의 경우 최대 재생광의 $\frac{1}{16}$ 또는 $\frac{1}{15}$ 정도만의 에너지를 영상으로 전달할 수 있고, 영상 점의 개수가 늘어날수록 상황이 악화됨을 나타낸다. 확률적으로 적게 나타나는 극대 점을 버림으로서(보다 작은 값으로 정규화하고 1을 넘는 영역은 1로 치환) 약간의 화질 희생을 감수 하면, 영상을 좀 더 밝게 할 수는 있으나 논외로 한다. 이 상황은 식 (16)에 기반 하여도 비슷하다. 따라서, 위상 변조에 기반하여 밝기 문제에 접근하여야 한다.

광의 위상 변조는 $\frac{\pi}{2}$ 만큼 위상이 차이 나는 두 광 벡터 사이의 에너지 교환 또는 진폭 변조로 나타낼 수 있다.

그림 5에 따르면 $R_{ref} = \alpha e^{-2\pi i \left(\frac{(\hat{r}_1 \cdot \hat{x} X + \hat{r}_1 \cdot \hat{y} Y)}{\lambda} + \delta \right)}$ 로

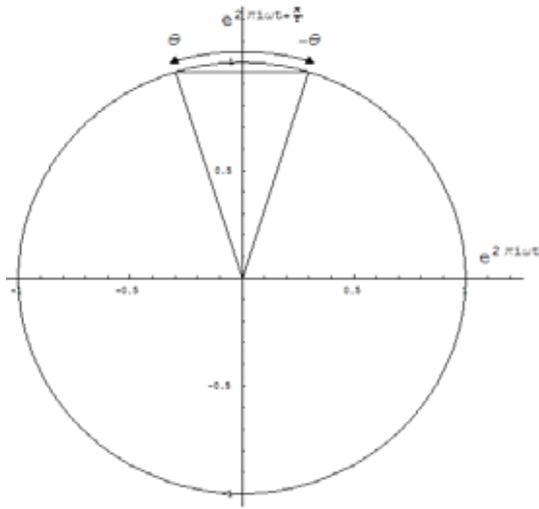


그림 5. 위상 변조
Fig. 5. Idea of phase modulation.

표시되는 재생광의 위상자가 θ 만큼 변조되면

$$R_{out} = \alpha \cos \theta e^{-2\pi i \left(\frac{\hat{r}_1 \cdot \hat{x} X + \hat{r}_1 \cdot \hat{y} Y}{\lambda} + \delta \right)} + \alpha \sin \theta e^{-2\pi i \left(\frac{\hat{r}_1 \cdot \hat{x} X + \hat{r}_1 \cdot \hat{y} Y}{\lambda} + \frac{\pi}{2} + \delta \right)} \quad (17)$$

로 90도 차이 나는 두 위상 성분의 합으로 표시되는데, 둘째 항이 광변조에 이용될 수 있음을 알 수 있다. 그 변조량은 위상 변조가 θ 라면 $\sin \theta$ 만큼이다. 첫째항은 0차 항의 위상에만 영향을 미치며, 첫째항의 성분에 의해 홀로그램 변조되는 에너지는 대부분 경우 무시할 수 있다. 실제의 위상 변조는 한 면에서 순간적으로 이루어지는 것이 아닌 유한한 두께 t 를 통하여 서서히 진행되며(분자 하나 정도 두께일 경우는 고려하지 않고 고전적으로 해석한다.), $\frac{d\theta}{dt} = \beta$ 일 때, α 를 유한한 절대 값을 가진 두께에 대한 복소함수 $\alpha(t)$ 로 가정하면, 식 (17)의 첫째항에 의한 홀로그램 변조는 적분으로 표시된다.

$$R_{outcos T} = \int_0^t \alpha(t) (1 - \cos d\theta) e^{-2\pi i \left(\frac{\hat{r}_1 \cdot \hat{x} X + \hat{r}_1 \cdot \hat{y} Y}{\lambda} + \delta \right)} dt = \int_0^t \alpha(t) \left(1 - \left(1 - \frac{d\theta^2}{2} \right) \right) e^{-2\pi i \left(\frac{\hat{r}_1 \cdot \hat{x} X + \hat{r}_1 \cdot \hat{y} Y}{\lambda} + \delta \right)} dt = \int_0^t \frac{1}{2} \alpha(t) \beta^2 dt^2 e^{-2\pi i \left(\frac{\hat{r}_1 \cdot \hat{x} X + \hat{r}_1 \cdot \hat{y} Y}{\lambda} + \delta \right)} dt = 0$$

인데, 실제로는 dt 는 분자 하나의 두께이하가 될 수 없으

므로, 위 계산은 근사치이며, 둘째 항 역시 위와 비슷한 산란이론으로 다루어야 한다.

이러한 위상 변조 방식의 장점은 진폭 변조에서와는 달리 흡수되는 에너지가 없다는 점이다. 피타고라스의 정리에 따라 에너지가 보존됨을 확인할 수 있다. 0차 항은 영상신호의 에너지를 제외한 거의 전부를 위상만 다른 형태로 온전히 유지하고 있으며, 반복 이용 가능하다. 따라서 그림 1의 편향판 및 1차원 홀로그램 표시장치를 동일한 정보를 표현하는 패턴을 여러 장 겹친 형태로 구성한다면 고효율의 영상 표시장치가 가능해진다.

반복 변조 시에는 식(16)의 방법으로 제거한 잡음 항이 다시 등장하는데, 상황이 그리 나쁘지는 않은 것이 반복 변조에 따른 잡음 에너지는 작은 α 의 4승의 형태로서 그리 크지는 않다는 점인데, 이때 식(16)꼴이 유리한지 식(12)꼴이 유리한지의 정확한 판단은 미결 문제이다.

3. 고속 홀로그램 계산

홀로그램 표시장치에서의 가장 큰 문제 중의 하나는 인위적으로 홀로그램을 계산하려 할 때 계산량이 엄청나다는 점이다. 3차원 홀로그램 계산 시에는 알고리즘 개선 외에는 계산속도 향상을 꾀할 방법이 없는데, 다행히 2차원 영상을 표시하는 경우에는 광변조기 영역 중의 특정 영역만 계산을 하고 나머지 부분은 반복하는 고속화 방법이 가능하다. 이는 1차원 홀로그램에서는 더욱 상황이 나운데, 2차원 영상에서는 모든 영상 점(주사선수 제곱)을 입력으로 모든 표현 점(한축 표현 점의 제곱)에 대하여 계산하여야 하나, 1차원 홀로그램에서는 영상중의 한 주사선을 입력으로, 한축 표현 점에 대해 주사선 수 만큼 반복하면 된다. 이는 정사각형 영역에 대하여

$$\frac{\text{홀로그램의 한축 표현점수}^2 \times \text{영상의 주사선수}^2}{\text{홀로그램의 한축 표현점수} \times \text{영상의 주사선수}^2}$$

= 홀로그램의 한축 표현점수 만큼 2차원 홀로그램에 비하여 계산속도 증가를 가져온다. 2차원 홀로그램 기준으로 사람의 눈에 깨끗한 영상을 제공할 수 있는 개구(aperture)크기는 1mm X 1mm ~ 5mm X 5mm사이인데, 이는, 표현 점 크기 100nm 기준으로, 1차원 홀로그램은 최대 만 배에서 5만 배의 빠른 계산 속도로 같은 화질을 제공할 수 있다는 것을 의미한다. 그러나 현재의 디지털 계산기

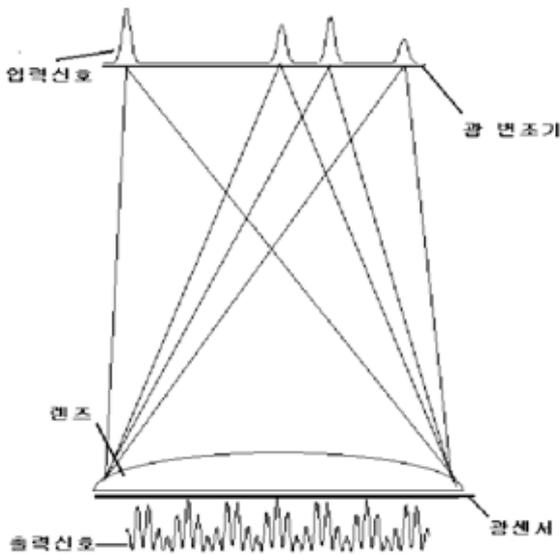


그림 6. 광 계산기
Fig. 6. Concept of optical calculation.

의 속도로는 이 정도의 속도 증가로도 실시간 천연색 동영상 표시에 필요한 계산 량을 감당할 수 있는지 여전히 확신할 수 없다.

다행히 1차원 홀로그램에 계산에 한해서는 다른 해결 방식이 존재한다. 조절 가능한 1차원 간섭무늬를 만들어낸 후 이를 광센서로 읽어버릴 수 있다.

가 간섭 광원에서 출발한 빛은 광변조기에서 입력 신호에 따라 변조 되고 확산된다. 이 빛이 다시 렌즈에 의해 여러 개의 평행광선으로 변조되고 그러한 평행 광선들에 의한 간섭무늬를 광센서로 읽어서 홀로그램 출력 신호를 얻어내는 구조이다. 이 경우 계산 속도는 광센서에 충분한 광이 모이는 속도에 의존하는데 발열만 주의 하면 레이저는 충분한 광량이 가능하다. 그림 6은 그러한 광 계산기의 구조이다.

참조광은 그림 6에서 표시되지 않았는데, 근축에서 상당히 벗어나므로 광변조기 신호 중의 하나로써 처리하는 것 보다는 z축 방향에서 약간 비스듬히 입사하게 하여야 할 것이다. 이 경우 식(16)의 잡음 제거방식은 사용할 수 없으므로 좀 α 를 낮추어야 한다. 그러기 위하여 다층의 1차원 홀로그램을 사용하여 각 홀로그램에서의 광변조 효율을 낮추고 좀 더 반복 변조를 해주어야 한다.

식(11)중

$$I(X) = \sum a e^{-2\pi i (\frac{\hat{r} \cdot \hat{x} X}{\lambda} + \delta)} \times \sum a e^{2\pi i (\frac{\hat{r} \cdot \hat{x} X}{\lambda} + \delta)}$$

표현을 보면, 1차원 홀로그램의 계산에는 $\hat{r} \cdot \hat{x}$ 값만이 사용됨을 알 수 있다. 따라서 그림6의 구조는 모든 $\hat{r} \cdot \hat{y}$ 에 상관없이 적용할 수 있다. 또한, $\hat{r} \cdot \hat{x}$ 값을 줄이고 X값을 비례하여 크게 하면 같은 결과라는 점에서, 입력 점을 근축광선 화 시킬 수 있고, 동시에 광센서의 크기를 크게 만들어 제작을 용이하게 할 수 있음을 보여준다. 렌즈대신 체적 홀로그램의 이용도 고려될 수 있다. 이 경우 잡음 소거는 광변조기가 아닌 체적 홀로그램 푸리에 변환 장치가 담당하게 될 것이다.

그림 6의 방법은 1차원 홀로그램에서는 두께를 줄일 수 있는데 반해 2차원 홀로그램에 적용할 때는 입체 형태로 구현되어야하는 문제와 근축에서 상당히 벗어난 참조 광을 비추는 문제가 대두될 것이다.

4. 회절격자 방식과의 비교

이러한 표시장치와 동일 한 기능을 할 수 있는 다른 구조로 2차원 홀로그램 표시장치 외에 회절격자를 이용한 표시장치 등도 실제로 연구되고 있다.^{[2][3]} 회절격자를 이용한 표시장치에 대해서도 간략히 비교 언급하자면, 표시속도 문제를 들 수 있다. 1차원 홀로그램은 한 선씩 순차적으로 주사하여야 하므로 한 영상을 표시하는 데에 2차원 홀로그램에 비하여 주사선의 수만큼 느리다. 회절격자 표시장치는 다시 여기에 주사선이 표현하는 표시 점 수 만큼 1차원 홀로그램에 비해 느리게 되므로 더욱 고속의 표시장치가 필요하다. 상기한 1차원 홀로그램에서 14 μ s의 표시속도가 필요한 상황에서, 한선의 표현점이 2000개 정도라면 회절격자에서의 표시속도는 7ns이내가 되어야 한다. 이 경우 1차원 홀로그램에서 소개한 광 계산방식은 같은 시간동안 약 2000배의 광량을 요구하게 된다.

그 외에 전압으로 조절되는 연속으로 변화하는 격자 주기의 회절격자를 이용하는 방식이 발표되었고, 초음파를 이용하여 연속으로 격자주기를 바꾸는 방식도 연구되고 있는데, 이런 종류의 방식의 난점은 어떤 초음파나 전압을 이용하여 물체의 배열을 바꿀 때에는 물체 내부의 각점의 상태가 인접한 분자들의 상태에 따라 결정 되어야 하는데, 그러한 정렬은 아마 음속과 비슷한 속도로 물체 내부에서 정보가 교환되어 이루어질 것인바 필요한 속도로 안정된 정렬 상태를 얻기가 힘든 데에 기인할 것이다.

V. 결 론

상기한 논의들에 의해 1차원 홀로그래를 이용한 표시장치의 제작이 현재의 기술 수준에서 구현 가능함을 보였다.

1차원 홀로그래를 이용한 표시장치는 2차원 홀로그래 표시장치와 회절격자 표시 장치의 중간의 특징을 가진 것으로 상기한 두 기술이 요하는 사람의 눈이 필요로 하는 정보량과 속도를 과도하게 초과하는 기술요구를 피할 수 있는 균형 잡힌 특성의 새로운 해법이다.

아직 실험상의 검증은 거치지 못한 이론상의 것이며, 다른 선례가 없기에 참고할만한 자료도 없는 실정이다. 그러나 물리적으로 전혀 새로운 이론은 아니며, 이미 알려진 물리법칙을 보다 특수한 상황에 적용하는 것 인 만큼 이론에 대한 엄격한 검증만 통과한다면 신뢰성은 보장된다고 볼 수 있다. 실용화를 위해서는 저자가 다루지 못한 다양한 추가 연구가 필요한 분야이며, 여러 연구자들의 협조로 조만간 새로운 표시방식의 실용화가 이루어질 것으로 기대한다.

참 고 문 헌

- [1] Eugene Hecht, “광학”, 두양사, 25~31쪽, 83~91쪽, 580쪽, 754~774쪽, 2002.
- [2] 호리코시쓰토무, 후쿠모토마사아키, 스기무라도시아키, 쓰보이마사시, “입체화상 표시장치 및 입체화상 표시시스템”, 대한민국 공개 특허 공개번호 10-2005-0022373, JP-P-2003-00203712, 2005.
- [3] 마쓰타다카히로, 에꾸찌신, 미즈노요시히로, 나까시미마시토, 이시모토마나부, 아리타게히로까즈, 사토노리꼬, “광편향장치,광주사장치,정보관독장치및입체표시장치”, 대한민국 공개 특허 공개번호 10-1995-0033935, 1995.
- [4] 김영철, “1차원 홀로그래를 이용한 영상표시장치”, 대한민국 공개 특허 공개번호 10-2005-0040893, 2005.

저 자 소 개

김 영 철(정회원)

1994년 부산대학교 물리학과 학사 졸업.

<주관심분야 : 통신, 컴퓨터, 디스플레이>