

Moving Window와 이중초점 렌즈를 이용한 공간-각 다중화 기법

정회원 박철용*, 김수길**, 김은수*

Spatio-Angular Multiplexing Method using Moving Window and Double-Focusing Lens

Cheol-Yong Park*, Soo-Gil Kim**, and Eun-Soo Kim* *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 기존의 LCD MW를 이용한 각 다중화 시스템에서 인접한 수직방향 MW사이의 crosstalk를 제거하기 위하여 MW의 뒷단에 수직방향으로 주기적으로 서로 다른 초점 길이를 갖는 이중초점 렌즈를 삽입하여 인접한 MW의 기준빔이 서로 다른 공간에 기록되게 함으로써 기준빔의 전자적 제어뿐만 아니라 고밀도의 정보저장 및 복원이 가능한 새로운 공간-각 다중화 기법을 제안하고 이에 대한 광학 실험을 통해 구현가능성을 제시하였다.

ABSTRACT

In this paper, we proposed a new spatio-angularly multiplexed holographic memory system using moving windows and double-focusing lens, which can eliminate crosstalk due to two neighboring moving windows in the vertical direction of the conventional MW holographic memory system, and demonstrated its feasibility through optical experiments.

I. 서 론

21세기 고도 정보화 사회에서는 급격한 기술발전 및 정보환경의 변화에 따른 새로운 멀티미디어 정보통신 서비스를 위해 천문학적인 숫자의 엄청난 정보를 보다 고밀도로 저장하고 필요에 따라 고속으로 정보를 꺼내 볼 수 있는 초고속화, 초대용량 정보저장 기술의 발전이 요구되고 있다. 이러한 배경에서 최근 기존의 정보저장 기술과는 전혀 새로운 접근 방법으로 막대한 데이터를 고속으로 저장·처리할 수 있는 홀로그래픽 광메모리 방식에 대한 상용화 연구가 최근 선진국을 중심으로 활발히 진행되고 있다.

광굴절 효과(photorefractive effect)^[1]가 발견된 이후에 광굴절 매질에 많은 양의 정보를 저장하기 위

한 다양한 구조의 다중화 기법이 제안되었고 그것들의 구현 가능성으로 인해 체적 홀로그램 저장(volume holographic memory) 기술은 국내외 여러 연구자들에 의해 다양한 방법들이 제시되고 실험을 통해 입증되었다.^[2]

기준빔의 각도를 이용하는 각 다중화(angular multiplexing)^[3], 가변되는 파장의 광원을 이용하는 파장 다중화(wavelength multiplexing)^[4], 서로 직교하는 위상을 이용하는 위상 다중화(phase multiplexing)^{[5][6]} 기법 등이 공통의 기록매질에 독립적인 데이터 페이지의 저장과 재생을 가능하게 하는 가장 유망한 홀로그래픽 다중화 기록방법들이다. 이러한 방법들 외에 광섬유의 스펙클 패턴을 이용한 기법^[7] 또한, 앞에서 언급한 방법들을 2개 이상 결합한 복합다중화 구조도 제안되고 있다.^[8]

* 광운대학교 전자공학부

** 호서대학교 전기공학부

논문번호: 000002-1024, 접수일자: 2000년 10월 24일

이러한 다중화기법 중에서 각 다중화 방법은 다른 방법들에 비해 보다 고밀도의 정보저장이 가능하여 가장 널리 사용되는 구조중의 하나이다. 각 다중화 방법은 일반적으로 물체 평면파의 입사각을 고정시키고 서로 다른 입사각을 가진 여러 개의 기준평면파를 이용하여 많은 양의 정보를 다중화하여 저장하게 된다. 이때, 기준평면파의 입사각은 스테핑모터(stepping motor)나 음향광편향기(AOD: acousto-optic deflector)등을 이용하여 각 저장정보에 대한 입력 어드레스를 제어하게 된다. 스테핑모터를 이용하는 기계적인 입력주소 제어 방법은 비교적 간단한 구조로 많은 정보를 저장할 수 있는 장점이 있지만, 정보를 저장할 때와 복원할 때에 정확하게 맞지 않는 기계적 오차로 인해 브래그 조건(Bragg condition)을 만족시키기 어려워 복원 정보의 crosstalk 및 신호 대 잡음비가 낮아지는 단점이 있다. 또한, AOD를 이용한 전자적 제어 방법은 기계적 오차로 인한 복원 정보의 crosstalk을 방지할 수 있고 보다 빠르고 정확하게 정보를 복원할 수 있는 안정된 시스템이지만 가격이 비싸고 시스템구성이 복잡하여 구현에 어려움이 있다.

최근에는 LCD(liquid crystal display) 공간광변조기의 MW(moving window)의 개념을 이용하여 기계적인 동작을 없애면서 전자적으로 기준빔의 각도를 제어함으로써 기계적 및 전자적 각 다중화 기법의 장점만을 취한 보다 간단하면서도 안정적인 각 다중화 방법이 제시되었다.^{[9][10]}

일반적으로 공간다중화 기록시 수평방향에서의 브래그 조건에 의한 각선택도가 수직방향에서는 수평방향 각선택도의 2배 이상 뛰워주어야 crosstalk이 없이 재생됨으로^[11] 공간 다중화 기록시 고밀도 정보저장이 제한되게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 동일한 기준빔을 이용한 각 다중화에 공간 다중화를 혼합한 복합 다중화기법이 제안되었으며^[8] 미국 Caltech의 홀로그래픽 메모리 시스템에서도 AOD를 이용한 각 다중화에 mirror array를 이용한 공간 다중화를 혼합한 다중화 기법이 제시된 바 있다.^[12]

본 논문에서는 기존의 LCD MW의 각 다중화 기록 방법에 이중초점 렌즈(DFL :double-focusing lens)를 사용함으로써 고밀도의 공간-각 다중화기록이 가능한 새로운 기법을 제시하고 광학 실험을 통해 구현 가능성을 입증하고자 한다.

즉, 기존의 LCD MW를 이용한 각 다중화 기법에서는 수직방향에서 인접하는 MW사이의 crosstalk

으로 인하여 공간적으로 고밀도 저장이 제한된다. 따라서, LCD MW를 이용한 각 다중화 시스템에서 인접한 수직방향 MW사이의 crosstalk를 제거하기 위하여 MW의 뒷단에 수직방향에 대해 주기적으로 두 개의 서로 다른 초점 길이를 갖는 이중초점 렌즈를 삽입하여 수직방향에서 인접하는 MW의 기준빔이 서로 다른 공간에 기록되게 함으로써 기준빔의 전자적 제어뿐만 아니라 고밀도의 정보저장 및 복원이 가능한 새로운 공간-각 다중화 기법을 제안하고 이에 대한 이론적 분석과 광학 실험 결과에 대해 논하고자 한다.

II. Moving window를 이용한 각 다중화 방법

LCD 공간광변조기는 반도체 공정을 이용하여 제작되며 수십 만개의 화소들로 이루어져 있으며 각 화소는 전자적으로 on, off 제어될 수 있는 구조를 가지고 있다. LCD의 앞과 뒤에 있는 편광기와 검광기 그리고 LCD의 각 화소에 연결되어 있는 전극에 전압을 인가하여 액정의 편향각을 조정함으로써 각각의 화소를 on, off할 수 있다. 본 논문에서는 이러한 성질을 이용하여 LCD 화면의 화소들의 일정부분은 on시키고 나머지 부분은 off함으로써 LCD화면에 빛을 통과시키는 창(window)을 만들 수 있으며, 이러한 창을 전자적으로 제어하여 LCD 화면 내에서 이동(moving)시킬 수가 있다. 그림 1은 LCD화면에서 창을 만들고 이동하는 창을 도식적으로 보여준 것이다.

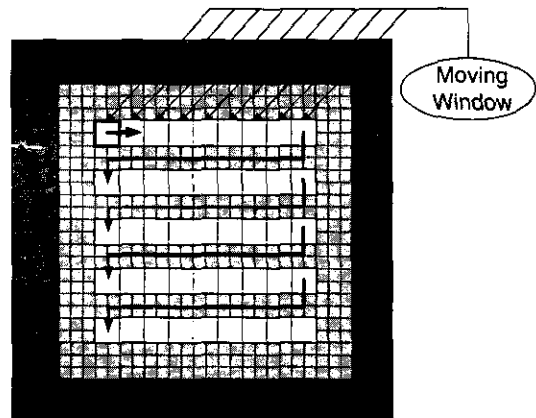


그림 1. LCD 공간광변조기의 MW 개념도

일정한 화소 개수를 on시키고 나머지는 off시킬

으로써 on되어 있는 화소들로 이루어진 창만이 빛을 통과시키도록 만들어 사용되는 창의 크기는 전자적으로 임의로 제어될 수 있다. 또한, 빛을 통과시키는 부분 즉, 창을 전자적으로 제어함으로써 LCD내에서 상하 좌우로 랜덤하게 이동시킬 수가 있다. 이렇게 상하 좌우로 이동하는 각 지점에 위치하는 창에서 나오는 빛을 기준빔으로 활용하게 되면 광굴절매질에 각 다중화된 홀로그램을 저장할 수 있다.

그림 2는 LCD MW를 이용한 각 다중화 기록방법을 나타낸 것이다.

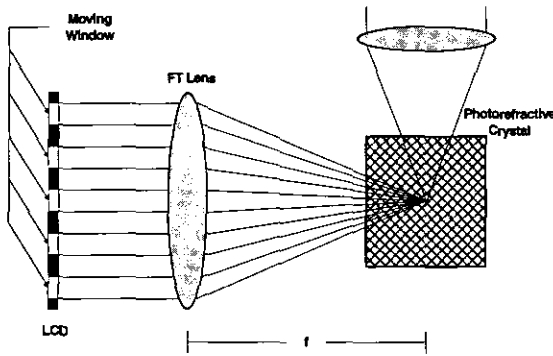


그림 2. MW를 이용한 각 다중화 원리

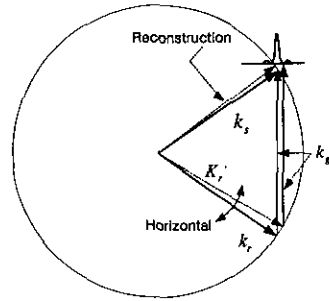
그림 2에서와 같이 각 다중화를 위해 사용되는 LCD의 MW는 전자적으로 크기와 위치를 제어하는 것이 용이함으로 일반적인 각 다중화 방법에 비하여 비교적 간단한 실험장치를 구성하면서도 기준빔의 전자적 제어를 통한 안정적 정보 저장 및 복원이 가능하다는 장점을 가지고 있다. 그러나, 그림 1에서 보는 바와 같이 수평방향에서 좌우로 서로 겹치지 않는 연속적인 MW는 브래그 조건을 만족하면서 서로 다른 기준빔을 만들어 정보의 다중화 기록이 가능하지만 수직방향에서 상하로 사용되는 MW의 경우는 브래그 조건을 만족할 수 있는 파벡터(wave vector)를 갖지 못함으로써 정보의 복원시 crosstalk이 발생되어 수평방향의 브래그 조건에 비해 2배 이상의 각선택도가 필요하다.^[11]

그림 3은 수평 및 수직방향의 각선택도에 대한 파벡터도를 나타낸 것이다. 각의 변화는 그림 3(a)와 같이 기준빔과 물체빔의 상호 작용 평면인 수평평면에서 브래그 각선택도에 따라 기준빔의 각도를 변화시키면서 이루어진다. 또한, 상호작용 평면과 적각 평면으로 각도를 변화시키면 그림 3(b)와 같이 기존의 기록된 격자와는 다른 격자가 형성되어 수

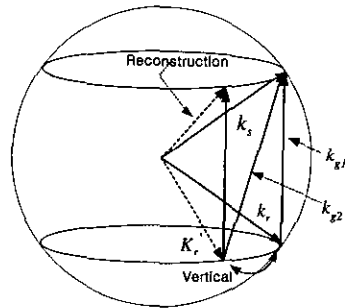
직방향으로 편향된 기준빔 역시 새로운 정보를 기록 재생할 수 있음을 알 수 있다.^[11]

그러나, 수직방향으로 편향된 기준빔(K_v)으로 읽는 경우 k_{g1} 에 의해 재생된 정보가 본래의 물체빔 축상에서 벗어나 있게 되므로 물체빔의 수직 공간 대역폭이 제한되게 된다. 따라서, k_{g2} 에 의해 재생된 물체빔과 수직 공간에서 겹치지 않기 위해서는 물체빔의 수직 공간대역폭보다 기준빔의 수직방향으로의 편향이 커야한다. 이와 같은 조건을 만족하면 물체빔의 수직 공간 대역폭보다 재생된 정보의 수직 편향이 크게 되어 물체빔 축상의 중심에 위치하는 검출기에 의해 검출되지 않는다.

그림 3에서 k_s 와 k_v , K_s , K_v 은 각각 물체빔과 기준빔 그리고 변화된 기준빔의 파벡터를 나타내고 k_{g1} 와 k_{g2} 는 홀로그램 기록시에 생성된 격자의 파벡터를 나타낸다.



(a)수평평면에서의 각선택도



(b)수직평면에서의 각선택도

그림 3. 각 다중화의 수평, 수직평면에서의 각선택도에 대한 파벡터도

MW를 이용한 각 다중화 기법에서는 수직방향으로 인접된 창의 기준빔에 대하여 각을 이동시키면서 기록된 정보를 복원하게 되면 정보의 위상 불일치로 crosstalk이 일어나지 않아야 한다. 그러나, 그

림 3에서 보는 바와 같이 실제로 수평방향에서도 각선택도 이상으로 정보를 기록하고 복원해야만 crosstalk이 없듯이 수직방향에서도 수직방향의 각선택도가 존재하여 수직방향의 각선택도 보다 작은 각을 갖는 MW로 기록하게 되면 정보의 복원시 crosstalk이 발생된다. 따라서, 인접하는 MW 수직방향의 기준빔끼리 crosstalk이 발생되지 않으려면 수직방향의 각선택도 이상의 각을 가진 기준빔을 이용하여 정보를 다중화시켜야 한다.^[12]

그림 4는 이러한 개념을 푸리에 변환렌즈를 이용하여 MW에서 나온 빛을 푸리에 변환시켜 광굴절매질에 입사시켰을 때 각 창에서 나오는 빛이 서로 다른 파벳터를 가지는 것을 보여준 것이다.

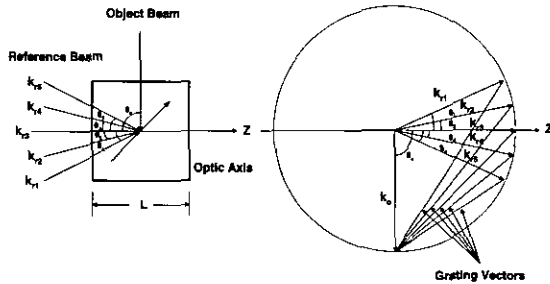


그림 4. MW에 의한 홀로그래픽 기록 복원시 상호작용의 파벳터 공간 설명도

즉, 그림 4는 그림 2에 대한 기준빔과 물체빔을 파벳터를 이용하여 표현한 그림이다. 그림 4에서 보는 바와 같이 MW가 좌우로 움직여서 이것이 렌즈를 통과하여 광굴절매질에 기록이 될 때의 기준빔들은 동일한 장소에 초점이 맺히지만 각 기준빔의 파벳터들은 모두 서로 방향이 다르다는 것을 알 수 있다. 그러므로 동일한 벳터를 가지는 물체빔과 각각의 다른 기준빔과의 간섭은 그림 4의 오른쪽에 있는 파벳터 공간도에서 보는 바와 같이 모두 다른 격자 벳터를 형성하게 된다. 따라서, 물체빔을 차단하고 기준빔만을 광굴절매질에 조명하면 각각의 기준빔에 대해 다른 정보를 가진 물체빔이 복원된다는 것을 알 수 있다. 또한, MW가 상하로 움직일 때는 MW의 폭만큼의 간격을 띄우고 MW를 이동시키야 하며 만일 이러한 조건을 만족하지 않게 되면 정보의 복원시 crosstalk이 발생하게 된다.

MW를 이용한 각 다중화 시스템에서의 crosstalk 해석 방법은 정보저장 용량의 SNR에 의해 비교적 간단하게 해석할 수 있다.^[10] 식 (1)은 기준빔 R_m 을 나타낸다.

$$R_m = \exp(jk_m \cdot r) \tag{1}$$

여기서, k_m 은 평면파의 파벳터를 나타내고, m 은 각각의 창에 의해 기록되는 홀로그래프를 나타낸다. 제안된 시스템의 crosstalk 해석은 등방성 광굴절매질에 대해서 식 (2)에 의해 수행될 수 있다.

$$SNR = \sum_{m \neq j} \left| \text{sinc} \left[\frac{t}{2\pi} \left((\Delta K_{mj})_z + \frac{1}{F} \left((\Delta K_{mj})_x x_2 + (\Delta K_{mj})_y y_2 \right) + \frac{\lambda}{4\pi} \left((\Delta K_{mj})_x^2 + (\Delta K_{mj})_y^2 \right) \right) \right] \right|^2 \tag{2}$$

여기서, t 는 광굴절매질의 두께이고 λ 는 광원의 파장길이를 각각 나타낸다. 그리고, $\Delta K_{mj} = k_m - k_j$ 은 기록에 사용된 기준빔(m)과 복원에 사용된 기준빔(j) 사이의 불일치를 나타내며, x_2 와 y_2 는 출력 평면의 중앙으로부터 떨어진 거리를 각각 나타낸다.

식 (2)에 의한 SNR은 y 축만을 적용한 1차원 기준빔에 대하여 계산하였다. 즉, 렌즈의 초점길이는 고정시키고 MW 사이의 거리를 변화시키기에 따라 SNR에 미치는 영향을 계산하였다. 인접하는 MW 거리가 증가하면 홀로그래프의 각선택도는 증가하고 crosstalk에 의한 영향은 줄어들어 SNR이 개선됨으로써 홀로그래프의 개수에는 거의 영향을 주지 않는다. 이웃하는 창 사이의 거리는 픽셀의 크기가 고정되어 있기 때문에 픽셀 크기의 정수배로 나타낼 수 있다.^[10]

따라서, MW를 이용한 각 다중화기법에서 수직방향에서의 각 다중화는 수평방향에 비해 2배 이상 MW의 간격을 두어 다중화를 해야하므로 LCD MW만을 이용한 기존 각 다중화기법은 공간 저장 밀도가 반 이하로 줄어들게 된다.^[9]

III. 이중초점 렌즈를 이용한 공간-각 다중화 기법

본 논문에서는 기존의 LCD MW만을 이용한 각 다중화기법에서 인접한 수직방향의 제약을 극복하기 위해 각 다중화와 공간 다중화를 혼합한 새로운 공간-각 다중화 기법을 제시하였다.

즉, 그림 5와 같은 구조를 갖는 이중초점 렌즈를 LCD에 인접시켜 수직방향에 대한 crosstalk을 제거

함으로써 새로운 고밀도 공간각 다중화 시스템을 제안하였다.

그림 5에서 수직방향으로 인접한 MW에 서로 다른 초점길이를 갖는 이중초점 렌즈를 정렬함으로써 광굴절 매질에서 물체빔과 만나는 기준빔의 상호평면 내에서의 초점면을 공간적으로 변화시켰다. 여기서 사용하는 이중초점 렌즈는 그림 5에서 보는 바와 같이 물체빔과 만나는 상호평면의 Z축에서 서로 다른 두 초점길이를 갖게된다. Z축에서의 두 초점(F1과 F2)간의 길이(F)는 기준빔의 파벡터 K_r 과 K_r' 이 만나는 임의의 Z'축에서 수직방향의 브래그 각 선택도를 만족하는 두 기준빔의 브래그 각 이상 차이가 나는 Z축상에서의 길이를 나타낸다.

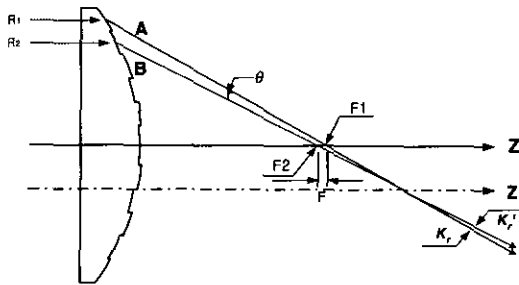


그림 5. 이중초점 렌즈의 기하학적인 구조

이러한 방법에 의해 수직방향으로 인접된 MW 사이에는 공간적으로 다른 면에서 물체빔과 기준빔에 의한 기록이 수행되어 복원정보의 crosstalk을 극복할 수 있다. 그림 6은 이중초점 렌즈에 의해 광굴절매질 내에서의 공간각 다중화의 기하학적인 구조를 나타낸 것이다.

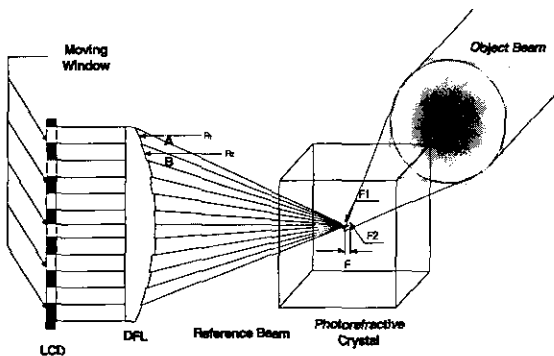


그림 6. MW와 이중초점 렌즈를 이용한 공간각 다중화의 기하학적인 구조

IV. 실험 및 결과분석

1. 시스템 구성

그림 7은 본 논문에서 새로이 제안한 공간각 다중화 기록 시스템을 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 빔확산기에 의해 확장된 빔은 물체빔과 기준빔으로 갈라진다. 이때, 레이저 광원은 P축의 편광성분을 갖는다. 기준빔은 편광기와 LCD에 의해 S축 편광성분으로 변화되어 광굴절매질의 광축에 평행하게 입사되고 물체빔은 $\lambda/2$ 위상지연판을 통과하면서 광굴절매질과 평행한 S축 편광성분으로 변화되어 입사된다. 기준빔은 LCD에 나타나는 창에 의해 입사되는 기준빔의 방향을 변화시켜 전자적으로 다른 파벡터를 만들도록 구성되어 있다. 본 실험에서는 영문 알파벳(A~P) 영상을 사용하여 기준빔의 LCD MW를 전자적으로 동작시켜 홀로그래픽 메모리 시스템을 구현하였다.

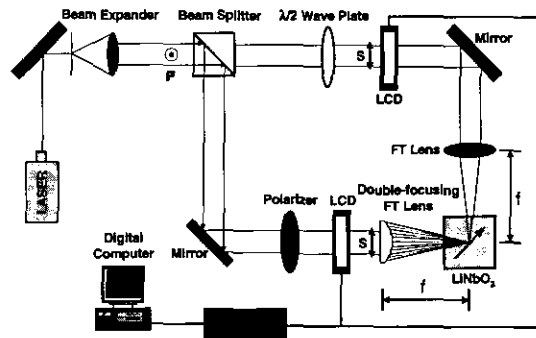


그림 7. MW 및 이중초점 렌즈를 이용한 공간각 다중화 시스템도

그림 7에서 $\lambda=532.8\text{nm}$ 인 Nd-YAG 레이저는 Coherent(모델명 OPSS532)사의 제품으로 출력은 100mW이다. 그리고 MW를 제어하기 위해 사용된 LCD는 Epson사(모델명 P13VM215)의 제품으로 전체 외관의 크기는 $26.9\text{mm} \times 20.2\text{mm}$ 이고 총 화소수는 30만(480×640) 픽셀이며 한개 픽셀의 크기는 $42\mu\text{m} \times 42\mu\text{m}$ 이다. 또한, 실험에 사용된 광굴절매질은 크기가 $1\text{cm} \times 1\text{cm} \times 1\text{cm}$ 인 Fe-LiNbO₃:Fe를 사용하였다. 수직방향으로 인접된 MW의 공간 다중화를 통한 crosstalk을 제거하기 위해 사용된 이중초점 렌즈는 비구면으로 제작하였으며 R_1 과 R_2 의 초점길이는 각각 95mm와 95.06mm로 사이거리(F)는 60 μm 를 갖도록 제작하였다.

그림 8은 실제 공간각 다중화 홀로그래픽 메모리 시스템의 광학 실험 구성도를 나타낸 것이다.

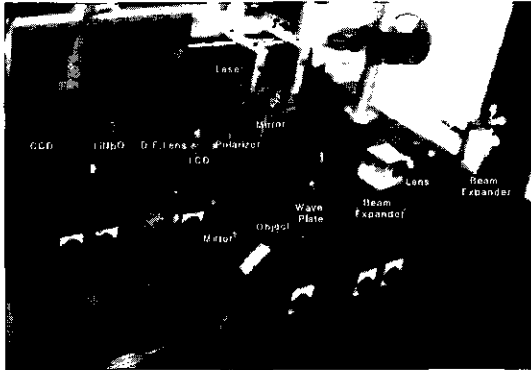


그림 8. MW 및 이중초점 렌즈를 이용한 공간각 다중화 광학실험 시스템도

2. 실험 및 결과분석

Nd-YAG 레이저에서 나온 빔은 광분할기에서 분할되어 하나는 기준빔으로 다른 하나는 물체빔으로 사용된다. 광분할기에서 시계방향으로 직진하는 물체빔은 기록할 영상을 통과한 후 렌즈에 의해 퓨리에 변환되어 광굴절매질에 입사되고 광분할기에서 반시계방향으로 입사된 기준빔은 다른 파베터를 갖기 위한 LCD의 MW를 통과하게 된다. 이 빔은 다시 렌즈에 의해 퓨리에 변환되어 광굴절 매질에 입사되며 물체빔과 간섭을 일으켜 광굴절매질 내에서 다른 파베터를 갖는 격자를 형성하게 된다.

실험에 사용된 LCD는 가로 640개와 세로 480개의 총 307,200개의 화소를 가지고 있으며 “80×80”의 화소수를 하나의 MW 크기로 설정하였다. 이 중에서 다중화 기록에 사용된 MW는 LCD의 중앙에 위치한 4×4의 블록으로 구성된 MW를 사용하였다. 그림 9은 기록에 사용된 MW 기준빔의 주소와 이에 대응하는 입력 영상을 나타낸 것이다.

공간 다중화를 위해 사용된 이중초점 렌즈의 제작을 위해 실험에 사용된 기준빔의 위치를 그림 5와 같은 원리를 이용하여 초점사이저리(F)가 60mm인 렌즈를 설계 제작하였다.

본 논문의 실험에서 사용한 입력영상은 알파벳 ‘A’부터 ‘P’까지 총 16개이다. 그림 10은 수직방향으로 본 논문에서 새로이 제시된 이중초점 렌즈를 사용하지 않고 수평방향과 같은 브래그 각으로 인접한 MW만을 사용하여 기록하고 복원한 영상을 나타낸 것으로 문자 ‘E’와 ‘I’를 복원하고 이에 대응되는 번지 ‘5’, ‘13’을 MW를 통해 입사시키면

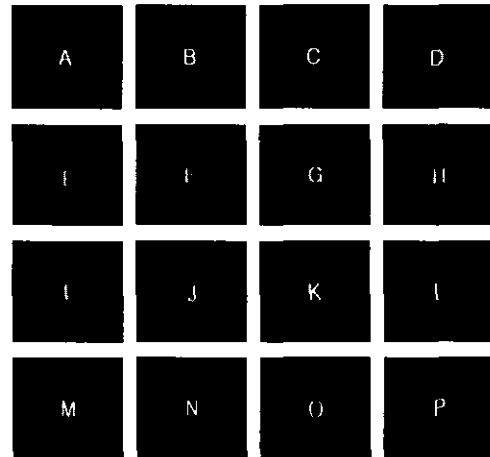
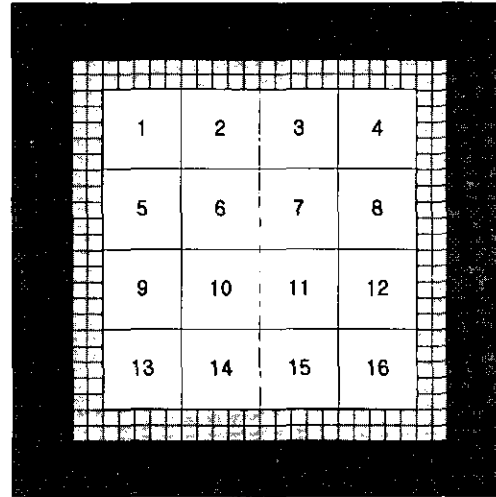


그림 9. MW의 주소와 그에 대응하는 입력 영상

수직방향인 번지 ‘1’에서 기록된 문자 ‘A’와 번지 ‘9’에 기록된 문자 ‘I’가 crosstalk의 영향으로 배경에 복원영상이 존재하여 나타나는 것을 알 수 있다. 이러한 crosstalk은 수직방향으로 인접한 MW의 브래그 조건에 의한 각선택도가 만족되지 않음으로써 발생하는 문제를 실험적으로 나타낸 것이다.



그림 10. 이중초점 렌즈를 사용하지 않은 경우 복원 영상의 crosstalk

그림 10과 같이 수직방향의 각선택도를 만족하지 않아 발생된 crosstalk은 이중초점 렌즈를 MW의 뒷단에 정렬시킴으로써 제거 할 수 있다. 그림 11은 MW만을 이용한 각 다중화 시스템에 MW와 이중 초점 렌즈를 인접하여 수평방향과 같은 브래그 각을 갖고 수평, 수직방향으로 기록하여 복원된 영상을 나타낸 것이다.

그림 9와 같은 알파벳 'A'부터 'P'까지 총 16개의 입력 영상을 기록한 후 복원 한 것 중에서 번지 '1'번부터 번지 '8'번까지의 복원영상을 그림 11에 나타내었다. 그림 11에 나타낸 것과 같이 번지 '1'번('A')과 '5'번('E'), '2'번('B')과 '6'번('F'), 3번('C')과 7번('G') 그리고 번지 '4'번('D')과 '8'번('H')의 수직방향으로 인접된 MW에서는 이중초점 렌즈를 사용한 공간 다중화에 의해 crosstalk 없이 영상이 복원되는 것을 볼 수 있다. 그러므로, MW만을 이용한 각 다중화 방법에서 수직방향에서의 브래그 조건에 의한 각선택도를 완화하기 위하여 이중초점 렌즈를 사용함으로써 광굴절 매질에서 물체빔과 만나는 기준빔의 상호평면내에서의 초점면을 공간적으로 변화시킴으로써 수직방향으로 인접하는 MW에서 crosstalk없이 복원됨을 광학 실험을 통해 알 수 있다.

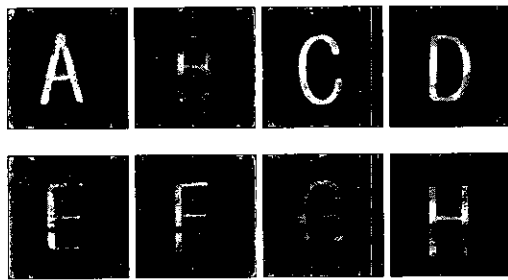


그림 11. 이중초점 렌즈를 사용한 crosstalk 없이 복원된 영상

따라서, 본 논문에서 새로이 제안된 MW와 이중 초점 렌즈를 이용한 새로운 공간-각 다중화 방법이 유용하다는 것을 확인할 수 있었다.

LCD MW만을 이용한 각 다중화 시스템에서는 수직방향에서의 각선택도에 따른 문제점으로 공간저장밀도가 반 이하로 줄어든다 제안된 공간-각 다중화 시스템에서는 이중초점 렌즈와 MW를 이용하여 수직방향의 각선택도를 완화시킴으로써 공간적으로 보다 고밀도의 정보 저장이 가능함을 이론적인 분석 및 광학 실험을 통해 확인하였다.

V. 결론

본 논문에서는 기존의 LCD MW를 이용한 각 다중화 기법에 이중초점 렌즈를 사용하여 수직방향에서의 브래그 조건에 의한 각선택도를 완화시킴으로써 공간저장 밀도를 높일 수 있는 새로운 공간-각 다중화 방법을 제안하였다. 광학실험에서 LCD MW는 80×80 화소의 크기를 사용하였고 4×4의 블록으로 구성된 총 16개의 어드레스빔을 생성하였다. 또한, 수직방향의 공간 다중화를 위해 사용된 이중 초점 렌즈는 설계에 의해 60μm 초점차를 갖는 렌즈 어레이를 제작하였다. 공간-각 다중화의 가능성을 제시하기 위해 crosstalk이 발생하는 수직방향의 MW에 대해 이중초점 렌즈를 사용하여 서로 다른 광굴절매질 공간에 기록 되도록 하였으며, 이러한 방법에 의해 수평, 수직 모든 방향에 대하여 crosstalk 없는 정보의 기록과 복원이 가능하여 기계적인 움직임 없이 모든 시스템이 전자적으로 제어되는 보다 고밀도의 저장용량을 갖는 공간-각 다중화 시스템의 구현이 가능함을 광학실험을 통해 입증하였다.

감사의 글

본 논문은 과학기술부 국가지정연구실사업(NRL) 연구비 지원으로 이루어짐.

참고 문헌

- [1] Van Heerden, P. J., "Theory of optical information storage in solids," Appl. Opt. vol. 2, p. 393, 1963.
- [2] J. H. Hong, I. McMichael, T. Y. Chang, W. Christian, and E. G. Paek, "Volume holographic memory systems: techniques and architectures," Opt. Eng. vol. 34, no. 8, pp. 2193-2203, 1995.
- [3] F. H. Mok, "Angle-multiplexed storage of 5000 holograms in lithium niobate," Opt. Lett. vol. 18, no.11, pp. 915-917, 1993.
- [4] G. A. Rakuljic, V. Leyva, and A. Yariv, "Optical data storage by orthogonal wavelength-multiplexed volume holograms," Opt. Lett. vol. 17, no. 20, pp. 1471-1473, 1992.

- [5] C. Denz, G. Pauliat, G. Roosen, and T. Tschudi, "Volume hologram multiplexing using a deterministic phase encoding method," *Opt. Comm.* vol. 85, pp. 171-176, 1991.
- [6] K. T. Kim, B. C. Cho, E. S. Kim, S. K. Gil "Performance analysis of phase codes multiplexed holographic memory", *Appl. Opt.* vol. 39, no. 23, 2000.
- [7] Y. H. Kang, K. H. Kim, and B. Lee, "Volume hologram scheme using optical fiber for spatial multiplexing," *Opt. Lett.* vol. 22, no. 10, pp. 739-741, 1997.
- [8] S. Tao, D. R. Selviah, and J. E. Midwinter, "Spatioangular multiplexed storage of 750 holograms in an Fe:LiNbO₃ crystal," *Opt. Lett.* vol. 18, no. 11, pp. 912-915, 1993.
- [9] S. G. Kim, K. T. Kim, and E. S. Kim, "Non-mechanical angular multiplexed holographic memory system using moving window on liquid crystal display" *Jpn. J. Appl. Phys.* vol. 38, Pt.22, no. 1A/B, 1999.
- [10] S. G. Kim, H. S. Lee, K. T. Kim, E. S. Kim, and B. H. Lee, "Angular multiplexing holographic memory system based on moving window on liquid crystal display and its crosstalk analysis" *Optical and Quantum Electronics*, vol. 32, no. 3, pp. 419-430, 2000.
- [11] H. Lee, X. Gu, and D. Psaltis, "Volume holographic interconnections with maximal capacity and minimal cross talk," *J. Appl. Phys.* vol. 65, no. 6, pp. 2191-2194, 1989.
- [12] X. An, "Long-term Large-scale Holographic Storage in LiNbO₃:Fe", Ph.D Dissertation, CalTech, 1998.
- 박 철 용(Cheol-Yong Park)
1999년 : 광운대학교 전자공학과 (공학사)
2001년 : 광운대학교 전자공학과 (공학석사)
2001년~현재 : ETRI 연구원
<주관심 분야> Three-dimensional display, Holographic memory
- 김 수 길(Soo-Gil Kim)
1988년 2월 : 서울대학교 전기공학과 졸업(공학사)
1991년 2월 : 서울대학교 대학원 전기공학과 졸업 (공학석사)
1997년 2월 : 서울대학교 대학원 전기공학부 졸업 (공학박사)
1997년 3월~1997년 8월 : 서울대학교 기초전력공학 연구소 특별연구원
1997년 9월~현재 : 호서대학교 전기공학부 정보제어 전공 조교수
<주관심 분야> Three-dimensional display, Holographic memory, Optical sensor, Optical information processing
- 김 은 수(Eun-Soo Kim)
한국통신학회논문지 Vol.24, No.9A 참조