

홀로그래픽 롬 시스템의 최적 트랙 포맷을 결정하기 위한 인접 트랙간 간섭 현상에 대한 연구

Study of Inter-Track Crosstalk in Holographic Read Only Memory to Determine Optimal Track Format

김근율[†], 윤필상, 강병복, 박주연, 남하은

Kun-Yul Kim, Pil-Sang Yoon, Byung-Bok Kang, Joo-Yeon Park, and Ha-Eun Nam

Abstract

The effects of track format on the inter-track crosstalk of holographic ROM system are investigated. To quantify the effect of inter-track crosstalk for various track width and pitch, we defined Signal to Crosstalk noise Ratio (SCR) as a criterion. A numerical simulation is used to obtain the SCR as a function of track widths and pitches. We compared different 4 track widths having 0.3, 0.4, 0.5, and 0.6 μm considering resolving power of lens and recording density. The simulation results show that the SCRs for each track width are maximized at the track pitch which has the value of 0.72, 0.72, 0.74, and 0.8 μm respectively. Next, for the three sets with track width-pitch (0.4-0.72, 0.5-0.74, 0.6-0.8 μm) which showed the maximum SCR, we set a minimum pit length so that all sets have a DVD equivalent data density and compared RF signals passed from the slit. The simulation results show that when the track width, pitch, and minimum pit length have 0.5, 0.74, and 0.4 μm respectively, the difference between the maximum and minimum value of the RF signal showed the greatest value. Also, we investigated RF signal in case of using an amplitude inversion mask, which transmitted regions are inverted against the conventional mask. The simulation results show that the better RF signal may be obtained by using an amplitude inversion mask.

Key Words : Holographic data storage, Inter-track crosstalk, Coherent imaging

1. 서 론

블룸 홀로그래피를 이용한 3 차원 광 저장장치 는 기존의 2 차원 광 저장장치에 비해 빠른 데이 터 전송 속도와 높은 기록 밀도의 구현이 가능하 여 차세대 광 저장장치로서 유력시 되고 있다. 그 런데 지금까지의 홀로그래픽 광 저장장치의 개발 은 저장 용량을 늘리기 위하여 주로 수만 장의 개 별 홀로그램 데이터를 중첩 기록하는 방식으로 진 행되었다[1, 2]. 이는 사용자가 직접 데이터를 기록 하고 재생하는 WORM(Write-Once-Read-Many) 시 스템에는 적절한 방식이나 빠른 복제가 가능하 여 야 하는 ROM(Read-Only-Memory)시스템에는 다소 부 적절한 구조였다. 최근 들어 큰 저장 용량을 가지면서도 빠른 복제가 가능한 홀로그래픽 ROM 의 구조가 제안되었다[3]. 제안된 방식에 따르면

디스크 복제 시에는 저장 물질을 두고 그 위에 DVD 와 같은 형태의 데이터 패턴이 새겨져 있는 마스크를 위치시킨 다음 평행 빔을 마스크에 조사 한다. 마스크를 통과한 빔은 신호 광으로서 저장 물질에 입사된다. 한편, 저장물질 반대쪽에서는 적 당한 원추형 거울을 두고 평행 빔을 입사시키면 저장물질 크기를 커버하면서 전체 반지름 방 향으 로 동일한 각을 갖고 입사되는 기준 광을 만들 수 있다. 이런 식으로 한번에 기존의 DVD 와 같은 저장 용량을 갖는 하나의 홀로그램 레이어를 기록 한다. 그 다음 기준 광의 입사 각도를 바꾸어가면 서 여러 개의 레이어를 다중 기록함으로써 고 용 량의 홀로그래픽 롬 디스크를 완성하게 된다 [그 림 1(a)]. 재생 시에는 데이터 기록시 사용했던 기 준광의 위상 공액된 파를 조사한다. 이때 기준광 의 크기는 수개의 트랙을 포함하는 정도의 크기를 갖는다. 이렇게 하면 기록시 사용했던 마스크의 위치에 수개의 트랙을 포함하는 이미지가 일차로 결상되게 된다. 이 다중의 트랙을 포함한 이미지 로부터 원하는 트랙의 데이터만을 추출하기 위하 위하여 이미지를 대물렌즈와 검출기 사이 특정 위 치에 다시 결상시키고 이 위치에 트랙 간격 정도 의 크기를 갖는 슬릿을 두어 주변 트랙은 막고 원 하는 트랙에서만 신호를 검출한다 [그림 1(b)].

[†] 대우 일렉트로닉스, 신호처리 연구소
E-mail : yul@dwe.co.kr
논문접수일 (2005년 4월 7일)

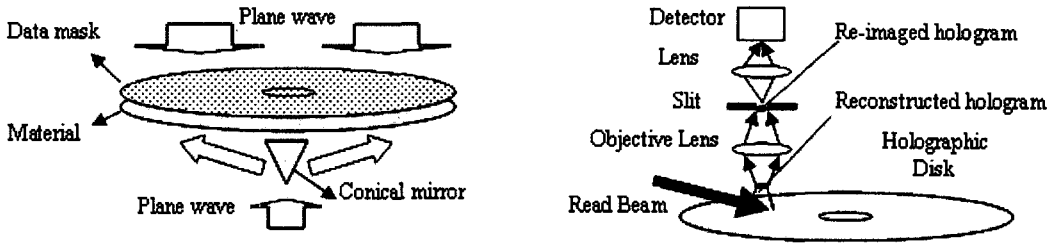


Fig. 1. Schematic of holographic ROM (a) Recorder and (b) Reader

그런데 이러한 구조를 갖는 시스템은 기존의 DVD와 같은 광 저장장치들과 사뭇 다른 채널 특성을 갖는다. 특히 그림 2에서 보듯이 DVD와 같은 기존의 광 저장장치는 데이터 재생 시 한 트랙 내의 데이터 피트에만 빛이 입사되어 주변 트랙으로부터의 간섭 현상이 거의 일어나지 않는다. 하지만 홀로그래픽 롬 시스템에서는 한 트랙 내의 데이터만이 재생되는 것이 아니라 앞에서 언급한 바와 같이 여러 트랙의 데이터가 동시에 재생되게 됨으로써 이로 인해 인접 트랙간의 간섭 현상이 발생하게 된다. 그런데 광원으로 가간섭성이 있는 레이저를 사용할 경우 주변 트랙으로부터 발생된

간섭 신호들 간에 중첩이 일어나게 된다. 따라서 트랙 폭 및 간격을 적절히 조절함으로써 간섭 현상을 최소화 할 수 있을 것이다. 본 논문에서는 이러한 인접 트랙간 간섭 현상이 트랙 피치 및 트랙 폭에 따라 어떤 영향을 받는지 광학적 시뮬레이션 등을 통하여 조사하였다. 이를 통해 인접 트랙간 간섭 현상이 최소화 되는 트랙 폭 과 간격들을 계산하였다. 그 다음 인접 트랙간 간섭이 최소화 되는 다양한 트랙 폭과 간격의 조합들에 대하여 디스크에 기록되는 하나의 홀로그램 레이어가 DVD와 같은 기록 밀도를 갖도록 최소 데이터 길이를 정하였다. 이러한 기록 밀도는 같지만 상이한 트랙 폭, 간격 및 최소 데이터 길이를 갖는 조합들에 대하여 슬릿을 통과한 후 검출되는 RF 신호의 진폭을 비교하였다. 이로부터 최상의 RF 신호를 얻기 위한 최적 트랙 포맷을 결정하였다. 또한 종래의 홀로그래픽 롬 시스템에서는 데이터를 기록하기 위한 마스크로서 데이터 피트 영역이 빛을 통과시키고 데이터 피트 영역 이외의 부분은 빛을 차단하는 마스크를 사용하였다. 이러한 마스크 대신에 빛을 통과하는 영역이 반전된 마스크를 사용할 경우 RF 신호에 미치는 영향도 조사하였다.

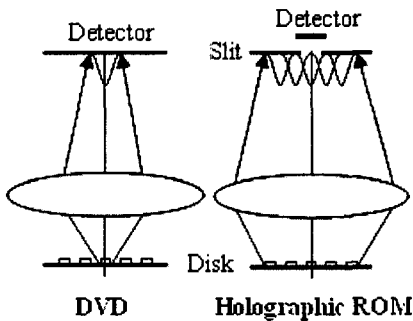


Fig. 2 Schematic diagram for describing inter-track crosstalk of holographic ROM

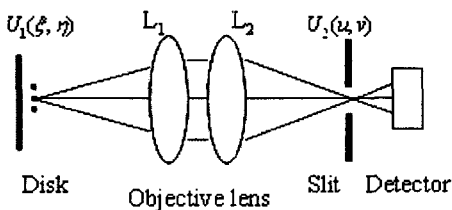


Fig. 3 Architecture of system model used for simulation

2. 시뮬레이션 모델

인접 트랙에 의한 간섭 현상을 조사하기 위하여 그림 3에서와 같은 구조를 갖는 시스템을 고려하였다. 입력 영상 U_1 은 기준 광에 의해 재생되어 기록시 사용했던 마스크 위치에 일차로 결상된 이미지이며 기하광학적으로 완벽히 결상되었다고 가정하였다. 입력영상 U_1 은 렌즈 L_1 과 L_2 에 의해 슬릿 면에 결상된다. 그 다음 슬릿에 의해 원하는 하나의 트랙내의 데이터만을 통과시켜 신호를 검출한다. 입력 영상 U_1 내의 주목하는 트랙은 광 축상의 중앙에 위치시켰으며 트랙의 길이 b 와 트랙

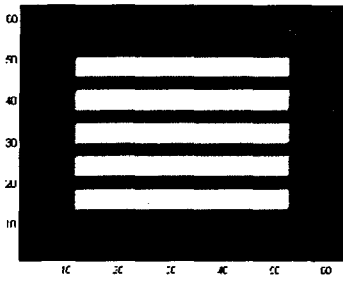
폭 a 를 갖는 경우 트랙의 진폭은 아래의 식으로 나타낼 수 있다.

$$U_1(\xi, \eta) = \text{rect}\left(\frac{\xi}{b}\right) \text{rect}\left(\frac{\eta}{a}\right) \quad (1)$$

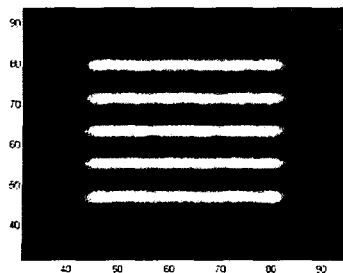
사용한 렌즈 L_1 의 개구수(NA)는 0.6 으로 하였으며 초점 길이는 3.36mm 로 하였다. 무한 광학계를 구성하기 위하여 렌즈 L_1 뒤에 같은 사양의 렌즈 L_2 를 두었으며 렌즈 사이의 광 전파 및 각 렌즈의 수차는 고려하지 않았다. 또한 공간 불변 점 퍼짐 함수 (point spread function) 는 오로지 렌즈의 유한한 구경 크기에 의해 영향 받는 것으로 가정하였다. 가간섭성이 있는 광원을 사용하는 재생 시스템에서 점 퍼짐 함수 $h(u,v)$ 는 식(2)와 같다 [4]. 여기서 $P(x,y)$ 는 렌즈의 동공 함수 (pupil function) 이다.

$$h(u,v) = \frac{B}{\lambda z_i} \iint P(x,y) \exp\left\{-j \frac{2\pi}{\lambda z_i} (ux + vy)\right\} dx dy \quad (2)$$

또한, 슬릿 면에서 전기적인 진폭 함수 분포는



(a)



(b)

Fig. 4 An example of (a) input and (b) output field distribution of system

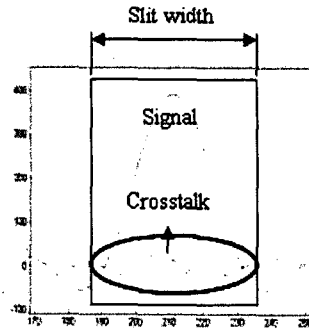


Fig. 5 Schematic for defining the signal and the crosstalk

식 3 과 같이 주어진다. 즉, 결상 면에서 진폭 함수 분포 U_2 는 물체 면에서의 진폭 분포함수 U_1 와 시스템의 점 퍼짐 함수를 컨볼루션(convolution) 함으로써 얻어질 수 있다.

$$U_2(u,v) = \iint h(u-\xi, v-\eta) U_1(\xi, \eta) d\xi d\eta \quad (3)$$

본 시뮬레이션에서는 그림 4 에서 보듯이 주목하는 트랙을 광 축의 중심에 두고 양쪽에 각각 2 개의 트랙으로부터 발생하는 간섭을 고려하였으며 각 트랙은 모두 on-pixel 로 이루어진 것으로 가정하였다. 이는 인접 트랙간 간섭 현상이 가장 심하게 일어나는 상황을 가정하기 위함이다. 이미지의 광분포를 표현하기 위한 시뮬레이션 상의 물리적인 해상도는 $0.02 \mu\text{m}$ 로 하였다. 주변 트랙으로부터 주목하는 중앙 트랙에 미치는 인접 트랙간 간섭의 영향을 정량화하기 위하여 그림 5 에서 보듯이 주변 트랙이 없을 때 중앙 트랙에 의해 슬릿을 통과하는 빔의 진폭을 신호로 간주하였고 주변 트랙으로부터 회절 되어 슬릿 안으로 들어오는 빔의 진폭의 합을 간섭신호로 간주 하였다. 그리고 이 두 진폭의 비 즉, 신호(S)와 간섭신호(c)의 비를 Signal to Crosstalk Ratio (SCR)으로 정의 하여 특정 트랙 폭 및 간격에 대하여 이 값의 크기를 비교하여 간섭신호의 영향을 평가 하였다[식 4].

$$SCR = \frac{|S|}{\sum |c|} \quad (4)$$

이때 한 트랙 내의 데이터를 추출하기 위한 슬릿의 폭은 사용한 트랙 간격과 같은 크기를 갖도록 하였다.

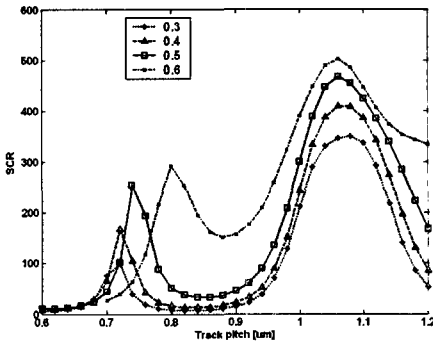


Fig. 6 The SCRs corresponding to track widths of 0.3, 0.4, 0.5, 0.6 μm as a function of track pitch

3. 시뮬레이션 결과 및 분석

데이터 트랙 폭 및 간격에 따른 인접 트랙간 간섭 효과를 조사하기 위하여 우리는 사용한 대물 렌즈의 해상력 및 데이터의 기록밀도를 감안하여 각각 0.3, 0.4, 0.5, 0.6 μm 의 크기를 갖는 4개의 트랙 폭을 고려하여 비교하였다. 각 트랙 폭에 대하여 트랙 간격을 변화시켜가면서 앞에서 언급한 SCR 값을 산출하였다. 그림 6은 이에 따른 시뮬레이션 결과를 보여주고 있다. 각 트랙 폭에 대하여 SCR이 피크 값을 갖는 특정 트랙 간격이 존재함을 알 수 있다. 즉, 트랙 폭 0.3, 0.4, 0.5, 0.6 μm 에 대하여 각각 트랙 간격이 0.72, 0.72, 0.74, 0.80 μm 에서 SCR이 최대값을 갖는다. 물론 4개 트랙 공히 약 1.1 μm 근처에서 두 번째 피크 값을 갖지만 이 경우 기록밀도가 낮아져 분석 시 고려하지 않았다. 그 다음 우리는 SCR이 최대가 되는 3가지 조합 즉, 트랙 폭과 트랙간격이 각각 0.4-0.72, 0.5-0.74, 0.6-0.8 μm 을 갖는 경우에 대하여 주목하는 트랙 내에 실제 데이터를 삽입하고 슬릿을 통하여 검출기에 검출되는 RF 신호의 특성을 검사하였다. 이로부터 정해진 기록밀도에 대하여 최적의 RF 신호를 검출하기 위한 최적 트랙 폭과 간격을 구하는 작업을 수행하였다. 먼저 각 트랙 간격에 대하여 홀로그래픽 롬 디스크에 기록되는 하나의 레이저의 기록 밀도가 DVD 정도의 기록 밀도를 갖도록 최소 데이터 길이를 정하였다. 이 경우 그 길이는 각각 0.42, 0.4, 0.36 μm 에 해당하게 된다. 각 경우에 대하여 중심 트랙을 최소 데이터 길이를 갖는 데이터가 반복하여 나타나도록 설정하였다. 상기 데이터 패턴으로부터 RF 신호를 추출하기 위하여 슬릿을 광축 중심에 두었다. 그 다음 이미지를 움직이면서 슬릿을 통과한 RF 신호를 비교하였다.

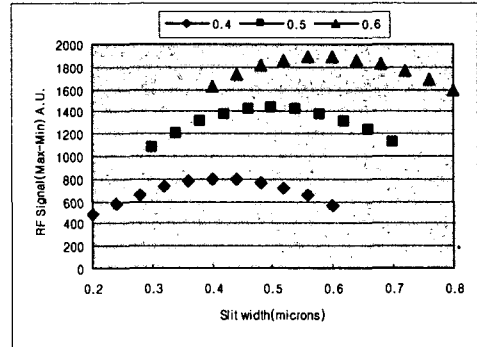


Fig. 7 The difference between max and min of RF signal as a function of slit height

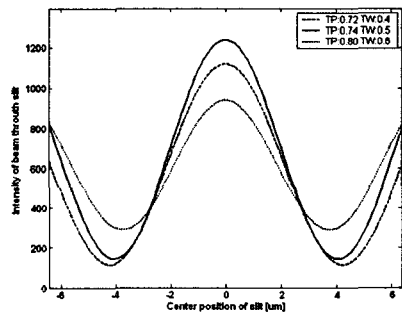


Fig. 8 RF signal for several sets of the track width, track pitch and minimum pit length

공정한 비교를 위하여 각 조합에 대하여 최적 슬릿의 폭과 높이를 결정하기 위한 시뮬레이션을 먼저 진행하였다. 슬릿의 폭은 최대 트랙킹 오차 여유를 확보하기 위하여 트랙 간격만큼의 크기를 갖도록 하였다. 최적 슬릿의 높이를 결정하기 위하여 그림 7에서 보듯이 주어진 최소 데이터 길이에 대하여 슬릿의 높이를 변화시켜가면서 RF 신호의 최대값과 최소값의 차를 구하였다. RF 신호는 최대값과 최소값의 차가 클수록 더 좋은 신호라 생각할 수 있다. 그림에서 보듯이 최적 RF 신호를 검출하기 위해서는 슬릿의 높이를 최소 데이터의 길이와 같게 하여야 함을 알 수 있다. 그림 8은 각 조합에 대한 시뮬레이션 결과이다. 그림에서 보듯이 실선으로 표시된 트랙 폭 0.5, 트랙 간격 0.74, 최소 데이터 길이 0.4 μm 를 갖는 경우에 RF 신호의 최대, 최소값 차이가 가장 크게 나타났다. 또한 우리는 기존에 사용하던 데이터 마스크 (즉, 빔이 입사되었을 때 데이터 영역 부분이 투과되고 트랙과 트랙 사이는 막힌 마스크) 대신

에 빔이 투과되는 영역이 반대로 뒤집힌 마스크를 고려하여 같은 데이터 패턴 및 슬릿 크기를 갖는 경우 RF 신호를 비교하였다. 그림 9(a)는 슬릿 면에 결상된 종래의 마스크 이미지를 나타내고 있으며 그림 9(b)는 반전 마스크의 이미지를 나타내고 있다. 기존의 마스크와 마찬가지로 중앙의 트랙 내에만 데이터가 있고 주변의 트랙은 모두 on-pixel 로 이루어진 것으로 가정하였다. 그림 9(c)는 두 경우의 RF 신호를 나타내는 시뮬레이션 결과이다. 실선으로 표시된 부분이 반전 마스크의 RF

신호를, 점선으로 표시된 부분이 종래 마스크의 RF 신호를 나타내고 있다. 그림에서 보듯이 반전 마스크를 사용할 경우 RF 시그널의 최대, 최소값 차이가 더 크음을 알 수 있다. 즉, 같은 기록 밀도를 구현하는 경우 반전 마스크를 사용하는 것이 더 유리함을 알 수 있다.

4. 결론

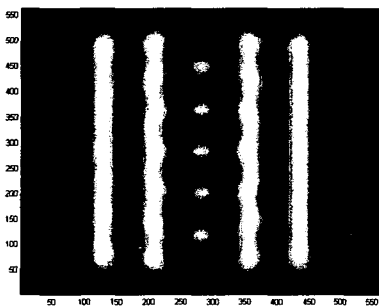
홀로그래픽 롬 시스템에서 데이터 트랙의 구조가 인접 트랙간 간섭 현상에 미치는 영향을 조사하였다. 영향을 정량화 하기 위하여 SCR(Signal to Crosstalk Noise Ratio)이라는 지수를 사용하였다. 다양한 트랙간격에 대하여 인접 트랙간 간섭현상을 조사하였으며 특정 트랙 폭을 갖는 데이터는 트랙간격이 넓어지면 무조건 인접 트랙간 간섭 현상이 줄어드는 것이 아니라 인접 트랙간 간섭 현상이 최소가 되는 트랙 간격이 존재한다는 사실을 보였다. 시뮬레이션 결과 홀로그래픽 롬 디스크에 기록되는 하나의 레이어가 DVD 에 상응하는 기록 밀도를 갖게 하는 경우 트랙 폭, 간격, 최소 데이터 길이가 각각 0.5, 0.74, 0.4 μm 를 가질 경우 최적의 RF 시그널을 얻을 수 있었다. 또한 기존 마스크의 빔 투과 영역이 뒤집힌 반전 마스크를 사용할 경우 더 나은 RF 시그널을 얻을 수 있음을 보였다.

후 기

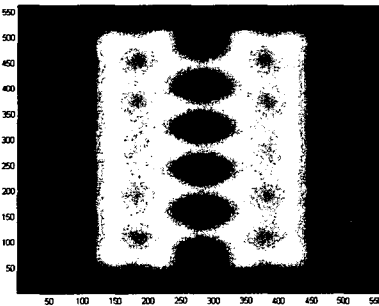
본 연구는 산업자원부가 주관하는 차세대 신기술 개발사업 중 전자부품 연구원이 총괄 관리하는 "차세대 대용량 정보저장장치의 개발" 사업의 지원으로 대우 일렉트로닉스에서 수행되었다. (00008145)

참고문헌

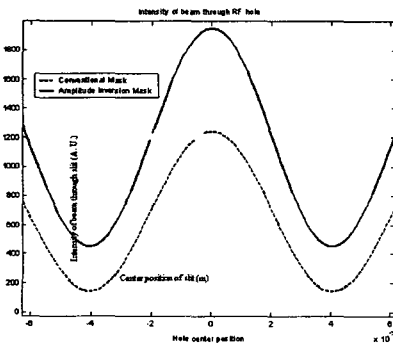
- [1] Demetri Psaltis and Allen Pu, 1995, "Holographic 3-D Disk", Optoelectronics, Vol.10, No.3, pp.333-342
- [2] G. W. Burr, C. M. Jefferson, H. Coufal, M. Jurich, J. A. Hoffnagle, R. M. Macfarlane, and R. M. Shelby, 2001 "Volume holographic data storage at an areal density of 250 Gigapixels/sq. in.," Optics Letters, Vol.26, No.7, pp.444-446.
- [3] E. Chuang, H. Yamatsu, and K. Saito, 2002, "Holographic ROM system for high-speed replication", in Technical Digest, ISOM/ODS, pp. 144-146.
- [4] Joseph W. Goodman, 1996, Introduction to Fourier Optics McGraw-Hill



(a)



(b)



(c)

Fig. 9 The image of (a) conventional mask and (b) amplitude inversion mask. (c) RF signal of the both masks