

홀로그래픽 정보 저장장치에서의 간섭 비율 마스크를 이용한 인접 픽셀 간섭의 개선을 위한 연구

Inter Pixel Interference Reduction using Interference Ratio Mask for Holographic Data Storage

이재성*, 임성용*, 김낙영**, 김도형**, 박경수*, 박노철*, 양현석†, 박영필*

Jae-seong Lee, Sung-Yong Lim, Nakyeong Kim, Dohyung Kim,

Kyoung-su Park, No-Cheol Park, Hyunseok Yang and Young-Pil Park

(2011년 3월 18일 접수; 2011년 3월 22일 심사완료; 2011년 3월 24일 게재확정)

Abstract

Holographic Data Storage System (HDSS), one of the next generation data storage devices, is a 2-dimensional page oriented memory system using volume hologram. HDSS has many noise sources such as crosstalk, scattering and inter pixel interference, etc. The noise source is changing intensity of the light used for carrying the data signal in HDSS. The inter pixel interference results in decrease of Signal to Noise Ratio and increase of Bit Error Rate. In order to improve these problems, this paper proposes to compensate the inter pixel interference with simple interference mask.

Key Words : Holographic Data Storage, Inter Pixel Interference, Interference Ratio Mask

1. 서론

홀로그래픽 정보 저장 장치는 멀티미디어 사회에서 점점 늘어나는 정보의 용량을 감당하기 위한 새로운 정보 저장 매체 후보 중의 하나이다. 홀로그래픽 정보 저장 장치는 체적 홀로그래픽 기술을 이용하여 광 반응 물질에 신호를 담은 광원과 기준 광원의 간섭 무늬를 기록한다. 정보를 많은 행과 열로 이루어진 페이지 단위로 한번에 기록과 재생이 가능하기 때문에 이론적으로 1Gb/s의 데이터 전송률을 구현할 수 있다. 또한 한 지점에

여러 페이지의 정보를 중첩해서 기록이 가능함으로써 수용 가능한 정보의 밀집도는 $1\text{Tb}/\text{cm}^3$ 에 다르다[1].

그러나 2차원의 데이터를 기록하기 때문에 많은 경우에 인접 픽셀 간섭 (Inter-pixel Interference, IPI) 문제가 발생한다. IPI의 원인은 초점의 이동이나 나이키스트 필터의 크기 등등이다. 특히 나이키스트 필터를 지난 빔의 광량은 [그림 1]과 같이 가우시안의 형태가 된다. 가우시안 빔의 가장자리 부분들은 각각의 픽셀 바깥 부분에 나타난다.

그 때문에 이미지가 흐릿해지고 신호 대 잡음비 (Signal to noise Ratio, SNR)는 감소하고 비트 오류율 (Bit Error Ratio, BER)은 증가하게 된다.

본 논문에서는 인접 픽셀 간섭에 의해 감소되는 신호 대 잡음 비를 개선하기 위한 간섭 비율 마스크 (Interference Ratio Mask, IR Mask)를 제안한다.

† 연세대학교 기계공학과

E-mail : hsyang@yonsei.ac.kr

TEL : (02) 2123-4677

* 연세대학교 기계공학과

** 연세대학교 정보저장공학 협동과정

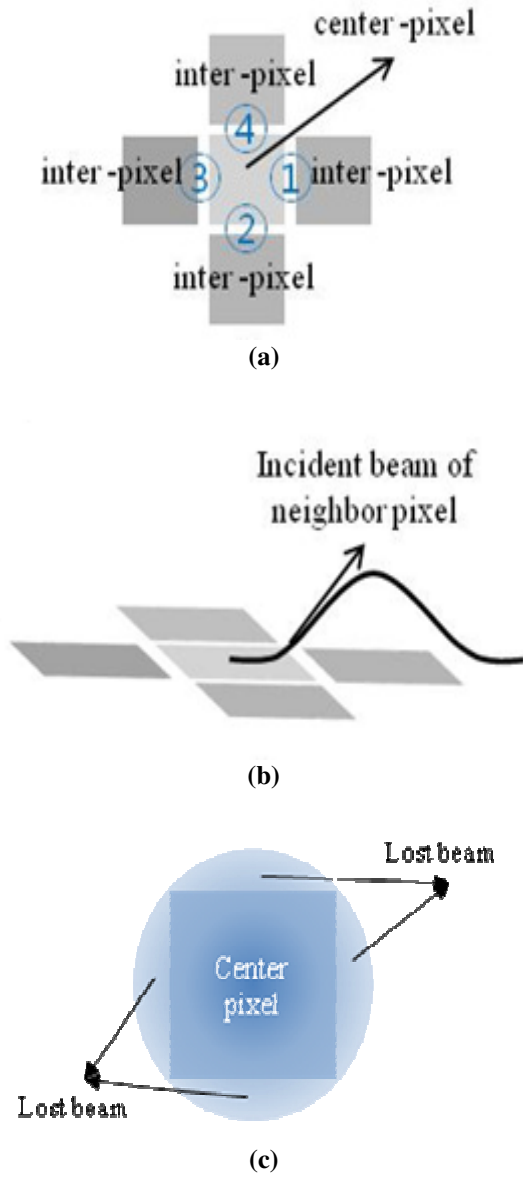


Fig. 1 Influence of inter-pixel interference.
 (a) Noise of center-pixel by 4 inter-pixels
 (b) Incident beam of neighbor pixel
 (c) Lost beam of center pixel

2. 간섭 비열 마스크

2.1 IR 마스크

위에서 언급했듯이 나이키스트 필터를 지난 빛은 가우시안 분포의 형태로 CMOS의 픽셀에 맺힌다. 그러므로 IPI 잡음이 중앙의 픽셀에 쏘여진 빛 중 픽셀 안에 온전히 들어가지 못한 가장자리 부분에 의해 발생할 수 있다. 이 현상은 나이키스트 필터에 의해 더 심하게 발생할 수 있다.

나이키스트 필터는 가우시안 빛의 크기에 영향을 준다. 필터가 작아지면 픽셀 하나의 가우시안 빛은 더 넓은 공간에 쏘여지게 된다. 인접 픽셀에 쏘여지는 가우시안 빛의 가장자리 부분에 의해 IPI 잡음이 발생한다고 가정하면, 그 광량만큼 중앙의 픽셀에 보상을 해주면 IPI 잡음이 줄어들 것이다. [수식 1]은 인접한 픽셀에 의한 광량의 변화를 보상해주며, 결과적으로 IR 마스크는 IPI 잡음을 보상할 수 있다.

IR 마스크의 적용은 다음과 같이 두 단계로 이루어진다. 우선 CMOS에서 얻어진 오버 샘플링된 재생된 이미지를 데이터 이미지의 픽셀의 크기와 맞추어 준다[2]. 다음 첫 번째 단계에서 얻어진 이미지에서 특정 픽셀을 주변에 인접한 픽셀들과 비교한다. 마스크 인수는 [수식 1]과 같이 간단하게 결정된다. $C_{x,y}$ 는 IR 마스크에 의해 개선되는 광량을 나타내고, $I_{x,y}$ 는 IR 마스크를 적용하기 전의 광량을 나타낸다. $I_{m,n}$ 은 인접 픽셀의 광량을 의미하고 α 는 임의의 상수이다. [수식 2]의 α 는 여러 번의 시뮬레이션을 통해 가장 좋은 결과를 보이는 값을 도출해 내었다. NA 는 나이키스트 필터의 크기를 의미한다. 따라서 수식의 $4I_{x,y} \frac{\alpha}{NA}$ 항은 가우시안 빛 중 중앙의 픽셀에 들어가지 못한 부분을 의미한다. $\sum_{m=x-1}^{x+1} \sum_{n=y-1}^{y+1} I_{m,n} \frac{\alpha}{NA}$ 항은 반대로 인접 픽셀에 들어가는 가우시안 빛이 중앙의 픽셀로 영향을 준 광량을 의미한다.

$$C_{x,y} = I_{x,y} + 4I_{x,y} \frac{\alpha}{NA} - \sum_{m=x-1}^{x+1} \sum_{n=y-1}^{y+1} I_{m,n} \frac{\alpha}{NA}$$

$(m \neq x, n \neq y)$

Eq 1. intensity by IR mask

3. 시뮬레이션 및 실험

3.1 시뮬레이션 및 실험 세팅

본 논문에서는 532nm 파장의 레이저와 125mm의 초점 거리를 가지는 푸리에 렌즈를 사용한다. SLM의 픽셀 하나는 36um, CMOS의 픽셀은 12um이고 데이터 이미지의 크기는 130*130이다. [그림 2와 3]은 실험과 시뮬레이션의 개요를 보여준다.

$$r[k,l] = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \left\{ \left[\sum_p \sum_q a[p,q] \text{rect} \left(\frac{x-p\Delta y_1}{\delta x_1}, \frac{y-q\Delta y_1}{\delta x_1} \right) \right] * \text{sinc} \left(\frac{xd}{\lambda f}, \frac{yd}{\lambda f} \right) \right\} dxdy + n_e[k,l] \\ \times \text{rect} \left(\frac{x-p\Delta x_2}{\delta x_2}, \frac{y-q\Delta y_2}{\delta x_2} \right) + n_o[k,l]$$

Eq 2. the output from the CMOS

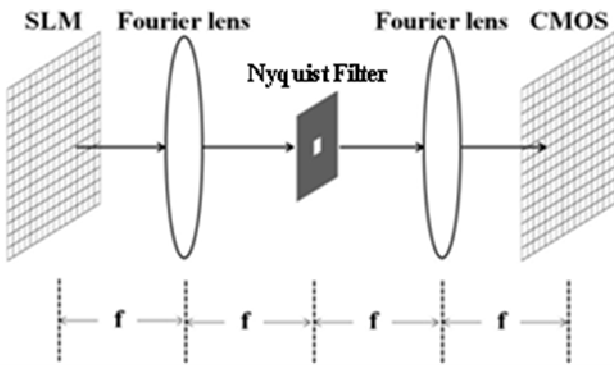


Fig. 2 System architecture for simulation and experiment.

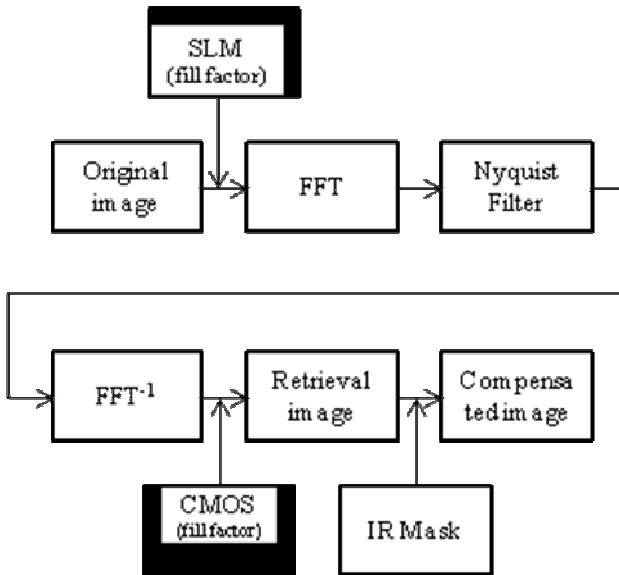


Fig. 3 HDSS channel modeling.

SLM 에 저장된 데이터 이미지는 렌즈를 지나 나이퀴스트 필터에 의해 일정량만이 또 다른 렌즈를 통과해 CMOS 에 도달한다. 광선이 렌즈를 통과하면서 일어나는 현상은 수학적으로 푸리에 트랜스폼으로 나타낼 수 있다.

이것을 이용해 [수식 2]는 IPI 잡음을 보상하는

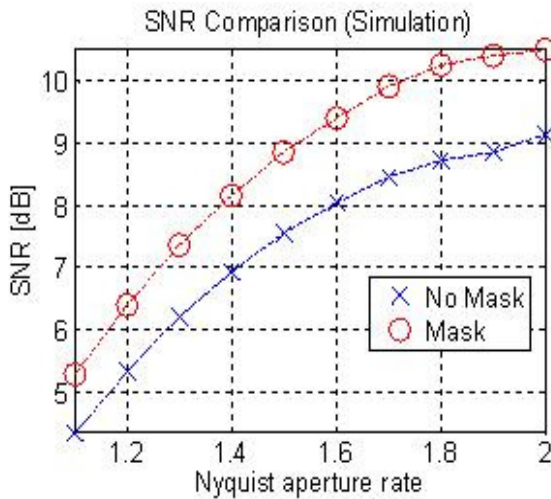
시뮬레이션을 구현하기 위한 채널을 모델링 한 것이다[3]-[5]. (x_1, y_1) 과 (x_2, y_2) 는 각각 SLM 과 CMOS 에서의 좌표를 의미한다. $r[k,l]$ 는 CMOS 로부터 읽어진 결과를 나타내고 $a[p,k]$ 는 SLM 이 갖고 있는 데이터이다. Δx_2 과 δx_2 는 각각 SLM 의 픽셀 높이와 너비, n_o 과 n_e 는 전기적 잡음과 광학적 잡음을 의미한다. 이미지는 10 개의 샘플로 시뮬레이션과 실험을 수행했다. 각각의 이미지는 1.1 부터 2.0 까지 각각 다른 크기의 구멍을 가진 나이퀴스트 필터를 지나서 맺힌다. 보상의 평가 기준은 SNR 과 BER 을 구하여 확인하였다. 2 차원의 이미지 데이터의 SNR 을 구하는 것은 [수식 3] 과 같다. μ_{on} 과 μ_{off} 는 온 픽셀과 오프 픽셀들 각각의 평균 값을, σ_{on} 과 σ_{off} 는 온 픽셀과 오프 픽셀들 각각의 분산 값을 의미한다.

3.1.1 결과

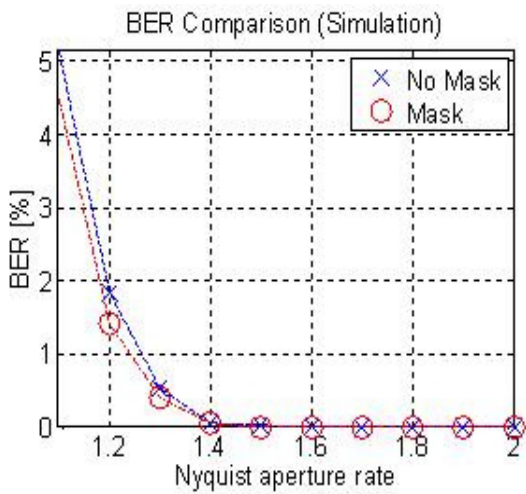
각각의 이미지에 마스크를 적용한 것과 적용하지 않은 것을 비교하였다. 시뮬레이션 결과는 [그림 4, 5]와 같이 마스크를 적용한 이미지가 적용하지 않은 이미지에 비해 작은 BER 과 좀 더 높은 SNR 이 나타났다. 실험 또한 시뮬레이션과 같은 경향을 보였다. 시뮬레이션에서 마스크를 적용한 이미지는 적용하지 않은 이미지에 비해 0.93 에서 1.37dB 만큼 높은 SNR 을 보였으며, 실험에선 0.50 에서 0.73dB 만큼 높은 SNR 을 보였다. BER 은 마스크의 적용함에 따라 시뮬레이션에선 0.01 에서 0.67%을 낮아졌으며, 실험에선 0.07 에서 0.57%만큼 낮아졌다. 따라서, 나이퀴스트 필터의 크기가 클수록 마스크의 효율이 더 높아지는 것을 확인하였다.

$$SNR = 20 \log_{10} \frac{\mu_{on} - \mu_{off}}{\sqrt{\sigma_{on}^2 - \sigma_{off}^2}}$$

Eq 3. General criterion of SNR



(a)



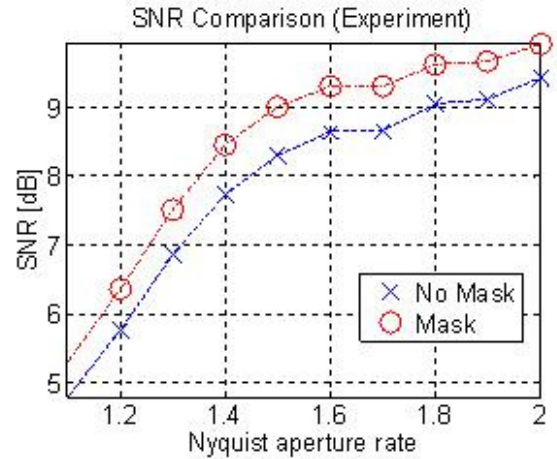
(b)

Fig. 4 Simulation result . (a) Evaluation of the mask for SNR, (b) Evaluation of the mask for BER

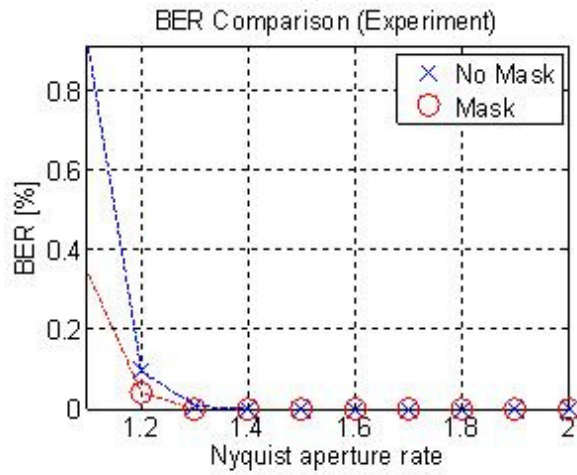
4. 결론

4.1 결론

2 차원 이미지 데이터를 이용하는 홀로그래픽 정보 저장 장치에서는 가우시안 빔에 의해 각 픽셀에 손실되는 광량이 존재하며 그에 의해 IPI 가 발생하게 된다.



(a)



(b)

Fig. 5 Experimental result. (a) Evaluation of the mask for SNR, (b) Evaluation of the mask for BER

본 논문에서 우리는 오버 샘플링 된 이미지의 질을 높이기 위해 IR 마스크를 사용하였다. 이 방법을 사용하면 매우 간단하게 이미지의 질을 효과적으로 높일 수 있다.

후기

이 논문은 2010 년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(2010-0028140)

참고문헌

- [1]Hans J.Coufal, Demetri Psaltis and Glen T. Sincerbox, 2000, Holographic Data Storage, Springer.
- [2]Mark Ayres, Alan Hoskins and Kevin Curtis, 2006,

Appl. Opt. Vol. 45, No. 11

- [3] V. Vadde and B. V. K. V. Kumar, 1999, Appl. Opt. Vol. 38 4374
- [4] S. M. Schultz, 2007, Proc. of SPIE Vol. 6695 66950I-1
- [5] Rafael C. Gonzalez , Richard E. Woods, Steven L. Eddins “Digital Image Processing USING MATLAB”.