

홀로그래픽 정보저장기기의 재생 이미지 패턴을 이용한 디스크 틸트 오차 측정

Disc Tilt Error Measurement using Reconstructed Image Pattern for Holographic Data Storage

임성용*, 한초록***, 김도형**, 양현석†, 박노철*, 박영필*
Sung-Yong Lim, Cho-Lok Han, Do-Hyung Kim
Hyunseok Yang, No-Cheol Park and Young-Pil Park

(2012년 9월 10일 접수; 2012년 9월 17일 심사완료; 2012년 9월 24일 게재확정)

Abstract

Page-oriented holographic data storage (HDS) is very sensitive to the tilt error. Therefore, tilt error should be measured and compensated. Especially, mechanical tilt measurement method cannot cope with tilt error measurement because photopolymer medium has shrinkage problem. Therefore, the method to solve this problem is using the reconstructed image which can represent both tilt and shrinkage effect. In this paper, we suggest disc tilt measurement algorithm using image pattern of retrieval data.

Key Words : Holographic data storage, Tilt, Image pattern analysis

1. 서론

1.1 홀로그래픽 정보저장기기

홀로그래픽 정보저장기기는 차세대 정보저장 기기 중의 하나이다. 2 차원 데이터페이지 (홀로그래프)를 한 지점에 중첩 기록함으로써 이론적으로 1Gb/s 의 데이터 전송률을 구현 할 수 있고 1Tbit/cm³ 의 고밀도 기록이 가능한 장점을 가지고 있다[1]. 한 지점에 홀로그래프를 중첩 기록하는 기법을 다중화 기법이라 하는데 홀로그래프의 다중화 기록/재생 방법으로는 각도 다중화, 파장 다중화, 위상코드 다중화 등 여러 가지 기법이 제안되어 있다. 이러한 여러 가지 기법 중 각 다중화(angle multiplexing)방식은 그 구성이 간단하고, 상용화 가능성이 크므로 현재 홀로그래프의 다

중화 기록/재생에 가장 널리 사용되는 방식이다.

1.2 연구배경

최근에 홀로그래픽 저장매체는 기능성 유기 광 저장 물질인 포토폴리머(photopolymer)를 기반으로 하는 디스크 형태로 개발되고 있다. 이는 기존의 광 정보저장기기와 같이 상용화와 소형화에 유리한 형태로 시스템을 제작하기 위함이다[2-3]. 그러나 디스크의 회전, 외란, 스피들 모터의 기구적인 공차, 저장/재생을 반복하기 위한 디스크 탈 착시 틸트 오차가 발생하게 된다. 각 다중화 방식의 홀로그래픽 정보저장기기는 특히 틸트 오차에 민감하기 때문에 틸트 오차에 대한 보상이 반드시 필요하다[4]. 따라서 기존의 연구들은 접선방향 틸트(tangential tilt)와 원주방향 틸트(radial tilt)를 측정하고, 보상하는 방법을 제안해왔다[5-8]. (각 다중화 방향의 틸트는 접선방향 틸트, 그에 수직인 방향으로 발생하는 틸트는 원주방향 틸트라고 정의한다.) 특히 접선방향과 원주방향의 틸트를 동시에 보상할 수 있는 서보시스템 구성에 관한 연구도 진행되었다[9]. 하지만 외부에서 입사된 레이저 다이오드(laser diode)의 빔이 디스크에 의해 반사되어 나오는 것으로 틸

† Department of Mechanical Engineering, Yonsei Univ.
E-mail : hsyang@yonsei.ac.kr
TEL : (02)2123-4677

* Department of Mechanical Engineering, Yonsei Univ.
** Center for Information Storage Device, Yonsei Univ.(CISD)
*** LG Electronics

트량을 검출하기 때문에 디스크의 기계적인 틸트량만을 측정한다는 한계가 있다. 그렇게 되면 포토폴리머의 수축현상으로 인해서 더해지는 재생 이미지의 왜곡을 정확하게 측정하는 것이 불가능하다. 따라서 정확한 재생이미지를 얻기 위해서는 재생이미지를 통해서 틸트 오차를 측정해 낼 수 있어야 한다.

1.3 연구목표

본 논문에서는 각 다중화 방식의 홀로그래픽 정보저장기기의 재생이미지를 이용해서 원주방향으로 발생된 틸트량을 계산할 수 있는 신호처리 기법을 제안하고 신호 대 잡음비(Signal to Noise Ratio)와 비트오차율(Bit Error Rate)를 통해 제안된 알고리즘의 타당성과 성능을 실험을 통해 평가한다.

2. 실험시스템

2.1 틸트 생성 메커니즘

틸트 오차로 인한 재생이미지의 왜곡 패턴을 분석하기 위해서는 먼저 정량적으로 틸트 오차를 생성할 수 있어야 한다. 따라서 홀로그래프를 기록한 이후에 디스크의 탈착 없이 정량적으로 디스크 미디어의 틸트 오차를 생성하기 위해서 고니어미터(goniometer)를 이용한 틸트 생성 메커니즘을 구성하였다. Fig.1 과 같이 고니어미터의 회전중심에 디스크를 위치시키면 회전중심부터 순수한 틸트량을 생성할 수 있게 됨으로 틸트 오차로 인한 재생이미지의 정확한 왜곡분석이 가능하게 된다.

2.2 광학시스템 구성

틸트 오차로 인한 이미지 왜곡을 분석하기 위한 광학 시스템의 구성을 위해서 532nm Nd-YAG 레이저가 사용되었고, 1024×768pixels 와 36um 픽셀피치(pixel pitch)의 공간 광 변조기(Spatial Light Modulator), 1280×1024pixels 와 12um 픽셀피치의 CMOS(Complementary Metal Oxide Semiconductor)가 사용되어 1:3의 오버샘플링(oversampling)비를 갖는다. 또한 빔의 가우시안 분포를 평활하게 만들어서 274×274 데이터페이지의 픽셀값들의 포화를 막기 위해 신호빔 영역에 광 확대기 (beam expander)를 추가하였다. 구성된 시스템의 광학적인 특성은 Table 1 과 같다.

Table 2 experimental optical condition

Image size	274×274pixels
Image lens focal length	40mm
Numerical aperture	0.18

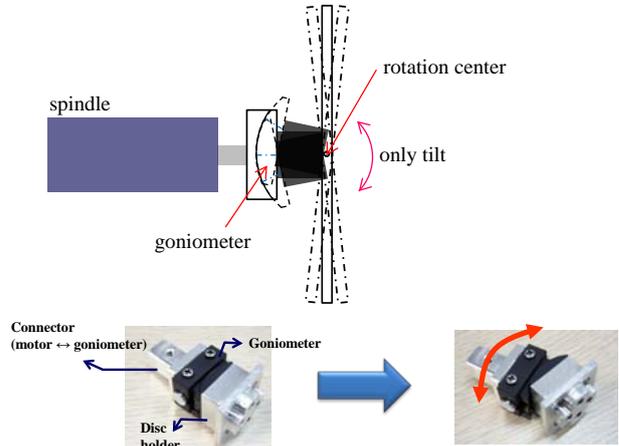


Fig.1 Tilt generation mechanism using goniometer

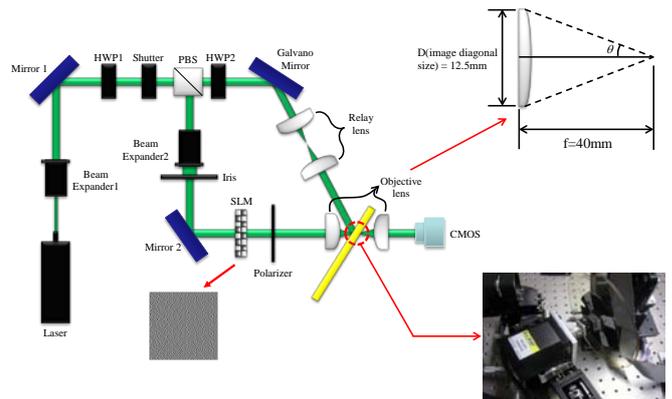


Fig.2 HDS optical configuration



Fig. 3 Experimental system

3. 틸트 오차 이미지의 경향 분석

틸트에 의한 이미지의 왜곡의 정도와 경향성을 분석하기 위해서 접선방향 및 원주방향 틸트 오차를 생성시켜 이미지의 변화를 확인하였다. Fig.4 와 같이 접선방향의 틸트 오차는 변화량에 따라 특별한 경향성이 나타나지 않는다. 반면에 원주방향의 틸트 오차는 오차의 변화량이 커질수록 외곽에서 안쪽으로 이미지가 어두워짐으로써 재생이미지가 왜곡 됨을 확인할 수 있다.

4. 틸트 오차 측정알고리즘

Fig.5 와 0.1°의 원주방향 틸트 오차가 발생하였을 때 접선방향으로 각도를 스캔하면 흰색의 띠 모양이 아래서 위로 대각선방향으로 이동하는 특성을 확인할 수 있다. 따라서 이러한 경향성을 반영한다면 원주방향으로 발생하는 틸트 오차를 정확하게 측정하고 보상할 수 있을 것으로 예측된다.

따라서 본 논문에서는 Fig.6 과 같이 신호빔에 의해서 CMOS 에 재생되는 이미지를 가상의 영역 A, B 로 분할하고 A 영역의 픽셀 값의 평균을 I_A , B 영역의 픽셀 값의 평균을 I_B 로 정의한다. E_r 은 식 (1)과 같이 구해진다. 이는 접선방향의 스캔에 따른 A, B 영역에 따른 원주방향 틸트 오차의 정량적인 오차를 나타내는 지표로 사용된다.

Fig.7 은 -0.4° ~ 0.4°의 원주방향 틸트를 생성하고 접선방향으로 -0.04° ~ 0.04°만큼 스캔 한 결과다. 발생한 원주방향의 틸트량과 방향에 따라서 접선방향 스캔에 의해 밝은 영역의 띠가 이동하기 때문에 E_r 의 곡선의 크기와 모양이 변화하며 s-curve 형태로 오차의 개형이 만들어진다. 이 s-curve 에 의해서 틸트 오차의 방향성과 크기를 검출할 수 있게 된다.

제안한 알고리즘을 검증하기 위해서 홀로그램이 기록된 디스크를 틸트 생성 메커니즘을 이용해 임의로 원주방향의 틸트를 생성하고 측정된 데이터들을 기반으로 보정각도를 역으로 계산한

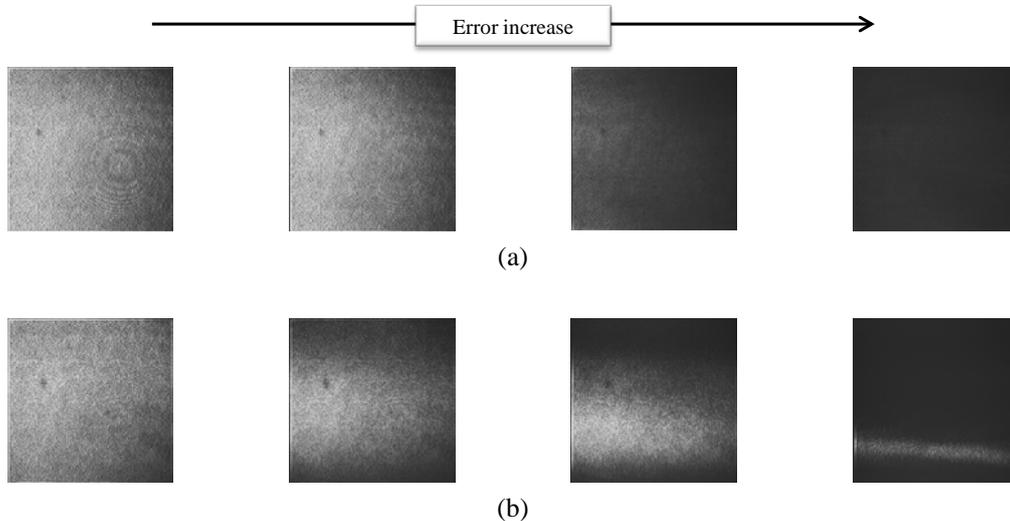


Fig.4 Tilt image error tendency: (a) tangential tilt (b) radial tilt

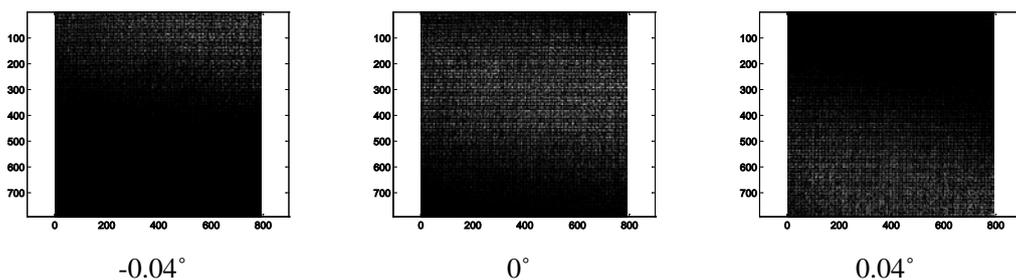


Fig.5 Tangential angle variation image with 0.1° radial tilt

후에 이미지를 복원하고 6:8 밸런스코드(balanced code)를 이용하여 이진데이터로 복원하였다[9].

제안된 알고리즘을 적용하였을 때 SNR 과 BER 이 향상된 것을 Table 2 를 통해서 확인할 수 있다. 제안된 알고리즘을 통해서 SNR 은 8dB 정도 향상되었고, BER 은 0.23% 감소하였다. SNR 은 식 2 와 같이 구해진다. m_0, m_1 은 0 과 1 의 평균값이고, σ_0, σ_1 는 0 과 1 의 표준편차다.

$$E_r = I_A - I_B \tag{1}$$

E_r : the error quantity of each directions

$I_{A,B}$: the mean intensity of each PD

$$SNR = 20 \log_{10} \frac{m_1 - m_0}{\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_0^2}} \tag{2}$$

Table 2 SNR and BER compare

SNR(dB)		Raw BER(%)	
cmp	w/o cpm	cmp	w/o cpm
6.32	-2.41	0.04	0.27

cmp : compensated page
w/o cmp: without compensation

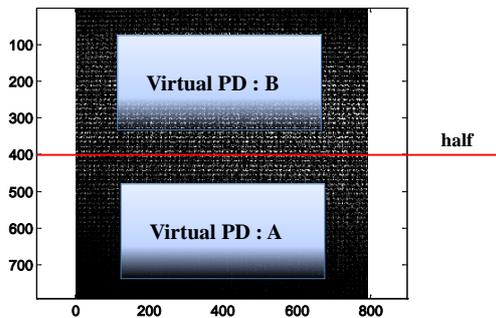


Fig.6 Virtual detector for radial tilt measurement

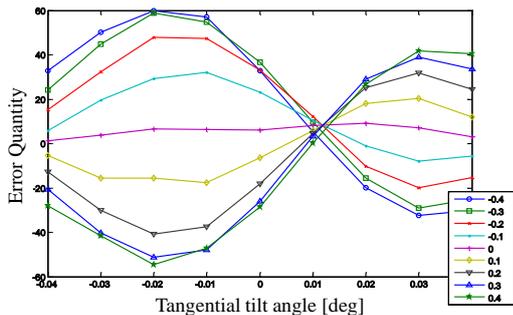


Fig.7 S-curve: (a) tangential angle scan, radial tilt fix

5. 결론

본 논문에서는 원주방향 틸트 오차에 의해서 발생된 재생이미지의 왜곡을 갈바노미러(Galvano mirror)의 회전에 의한 접선방향 스캔을 통해 정량적으로 분석할 수 있는 방법을 제시하였다. 또한 원주방향 틸트 오차를 보상하고 보상 전과 후의 재생이미지의 SNR 과 BER 을 비교함으로써 제안된 알고리즘의 성능을 평가하였다. 재생 이미지의 패턴을 이용한다면 디스크의 기계적인 틸트 오차 측정의 한계를 극복할 수 있다는 장점이 있다. 또한 재생이미지를 이용해 틸트 오차를 검출하기 때문에 틸트 오차 측정을 위한 별도의 광학계 없이 정확한 틸트 오차를 측정할 수 있게 된다. 따라서 홀로그래픽 정보저장기기 드라이브 시스템의 소형화에 기여를 할 수 있을 것으로 기대된다.

후 기

"이 논문은 2012 년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2012-0001013)."

참고문헌

- [1] Hans J.Coufal, Demetri Psaltis and Glen T. Sincerbox, 2000 " Holographic Data Storage", Springer
- [2] Kevin Curtis, William L. Wilson, M. Tackitt, Adrian J. Hill, and S. Campbell, 2000, High density, high performance optical data storage via volume holography: Viability at last?, Optical and Quantum Electronics 32: 393-404
- [3] Hideyoshi Horimai, Xiaodi Tan, 2007, "Holographic Information Storage System: Today and Future", IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS, VOL. 43, NO. 2, FEBRUARY
- [4] Alan Hoskins, Brad Sissom, Friso Schlottau, Edeline Fotheringham, Kevin Curtis, 2007, "Tolerances of a page-based holographic data storage system", Proc. of SPIE Vol. 6620 662023-4
- [5] Sang-Hoon Kim, JangHyun Kim, YongHee Lee, Hyunseok Yang, Joo-Youn Park, et al., 2009 "Tilt Error Measurement and Compensation Method for the Holographic Data Storage System Using

- Disturbance Observer”, IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS, Vol. 45, No. 5, pp. 2248~2251
- [6] Sang-Hoon Kim, Jang Hyun Kim, Junho Yang, Hyunseok Yang, Joo-Youn Park, et al., 2009, “Tilt detection and servo control method for the holographic data storage system”, *Mycrosyst. Technol.*, Vol. 15, 1695-1700
- [7] Nakyoung KIM, Pilsang YOON, Kunyul KIM, Gwitae PARK, Hyunseok YANG, 2010, “Radial Tilt Compensation Method of Holographic Disk Drive” *Opt. Review* Vol.17, No.1
- [8] Y. Matsumura, S. Hori, H. Sekine, K. Kogure, and M. Shimizu, 2007, “Radial Tilt Compensation Method of Holographic Disk Drive” *Jpn. J. Appl. Phys.* 46, 3837
- [9] Sung-Yong Lim, Nakyeong Kim, Cho-Lok Han, Hyunseok Yang, et al., “Design of 2-axis compensation servo system for angle multiplexing Holographic Data Storage” , 2011, *Transactions of The society of Information Storage System*, Vol. 7, No.1, 19-24