

# 각 다중화 홀로그래픽 정보 저장장치를 위한 각 보상 기법 Angle Servo Method for Holographic Data Storage System using Angle Multiplexing

김낙영\*, 김장현\*\*, 임성용\*\*\*, 한초록\*\*\*, 이재성\*\*\*, 양현석†, 박노철\*\*\*, 박영필\*\*\*  
Nakyeong Kim, Janghyun Kim, Sung-Yong Lim, Cho-Lok Han, Jae-Seong Lee,  
Hyunseok Yang, No-Cheol Park and Young-Pil Park

(2011년 3월 11일 접수; 2011년 3월 22일 심사완료; 2011년 3월 23일 게재 확정)

## Abstract

A control method for the angle servo of reference beam during reading recoded data images of a holographic data storage system is presented. The recording scheme with angle offset is adopted in order to verify the proposed angle servo. Using this recording scheme, the angle error signal is generated and we can implement the angle servo. Experiments have been performed on recording and reading data images to compensate Bragg angle mismatch.

**Key Words :** 홀로그래픽 정보 저장장치, 참조광 보상 기법, 각 보상 기법

## 1. 서론

홀로그래픽 스토리지는 DVD (digital versatile disk) 와 같은 기존의 광 정보 저장장치가 2차원 평면에 순차적으로 정보를 기록하는 것과는 달리 2차원의 정보 영상을 체적에 중첩 기록하여 높은 저장 밀도와 빠른 정보 전달 능력을 가진다 [1-3]. 이 경우 홀로그래픽 스토리지는 기존의 DVD와 같이 트랙킹, 포커싱, 틸트 보상이 필요하다. 때문에 어떤 연구그룹에서는 정보를 기록 할 때 방해물 주지 않는 다른 파장의 레이저를 추가로 장착하여 틸트를 보상 한다 [4]. 하지만 각 다중화를 이용한 홀로그래픽 스토리지에서 틸트가 발생하는 경우 참조광의 Bragg 각 오차에 의해 틸트에 대해 매우 민감하게 된다 [5].

이 논문에서는 각 다중화를 이용한 홀로그래픽

스토리지에서 틸트 에러를 감지하기 위한 각 에러 신호를 얻는 방법을 제안하고, 제안된 각 에러 보상 신호를 이용해서 Bragg 각 오차를 보상하는 각 보상 기법을 제안하고자 한다.

## 2. 각 보상 기법

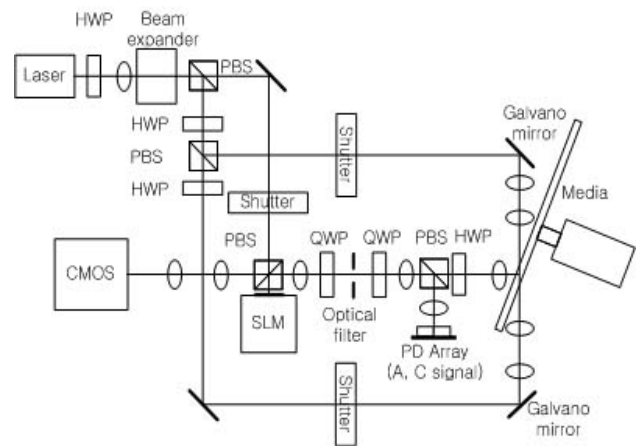


Fig. 1 Optical system for angle servo

### 2.1 시스템의 구성

Figure 1은 제안하는 각 보상 기법을 실험하기

† 연세대학교 기계공학과  
E-mail : hsyang@yonsei.ac.kr  
TEL : (02)2123-2824

\* 연세대학교 정보저장공학 협동과정

\*\* 연세대학교 전기전자공학부

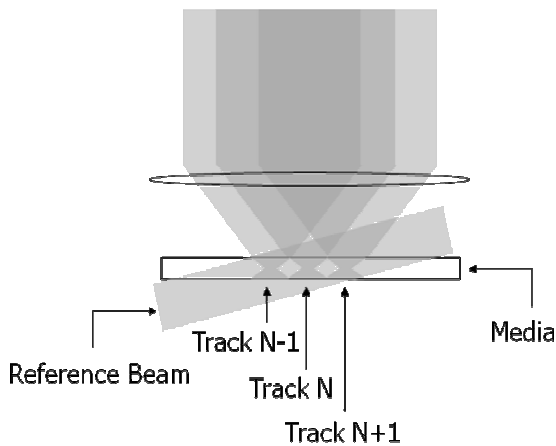
\*\*\* 연세대학교 기계공학과

위한 광학시스템을 나타낸다. 실험에 사용된 레이저의 파장은 532nm, 초점거리는 8mm, SLM (spatial light modulator)의 화소 간 거리는 13.2um, 기준광의 크기는 0.5mm X 0.55mm, 광필터의 크기는 Nyquist 구경의 1.5배를 사용했다.

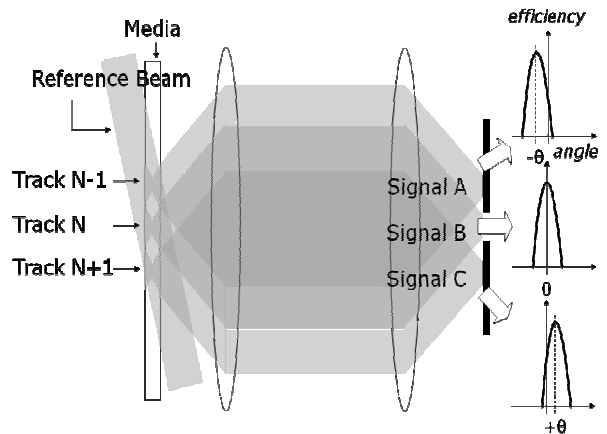
**2.2 각 에러 신호의 생성**

이때 참조광은 figure 2와 같이 기록 물질에 기울어져 입사하기 때문에 넓은 타원형으로 형성된다. 따라서 기준광 재생시 기울어져 입사되는 넓은 참조광에 의해 트랙 N 하나의 기준광이 아니라 트랙 N-1, N, N+1 기준광들이 함께 재생된다. 이때 함께 재생되는 트랙 N-1, N+1 기준광들은 주변 트랙에 존재하는 기준광 신호로서 현재 원하는 트랙 N의 기준광이 아니기 때문에 노이즈에 해당한다. 따라서 이러한 주변 기준광을 figure 3과 같이 광필터에서 반사 시켜 PD (photo detector)를 이용해 각 보상 신호로 사용할 수 있다.

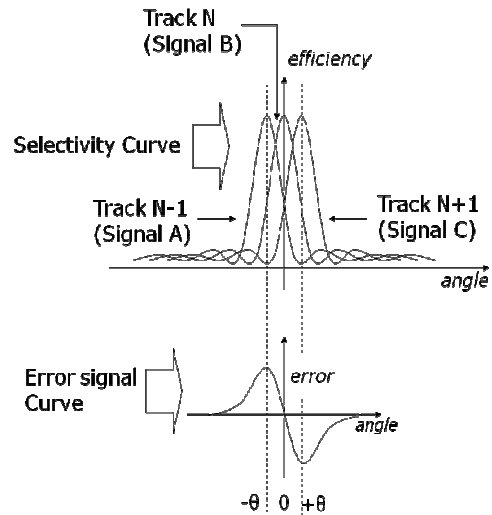
각 보상 신호를 생성하는 방법은 다음과 같다. 먼저 기준광을 기록할 때 각각의 트랙마다 다른 각도에서 기록한다. 예를 들어 figure 2, 3, 4와 같이 3개의 트랙을 기록하는 경우 트랙 N-1, N, N+1을 각각  $(\alpha-\theta)^\circ$ ,  $\alpha^\circ$ ,  $(\alpha+\theta)^\circ$ 의 각도에 기록한다. 그리고 트랙 N의 기준광을 재생하고자 하는 경우  $\alpha^\circ$ 의 각도를 갖는 참조광을 입사시키면 figure 3과 같이 신호 B는 정상적으로 재생되지만 신호 A와 C는



**Fig. 2** Reconstructed signal beams



**Fig. 3** Reconstructed signal A, B and C



**Fig. 4** Angle selectivity curves and error signal curve from data tracks

약하게 재생된다. 반면 참조광의 입사각이  $\alpha^\circ$ 에서 음의 방향으로 양의 방향으로 틸트가 발생하면 figure 3과 같이 신호 A나 C가 각각 강하게 재생된다.

따라서 트랙 N의 기준광 신호 B를 재생하는 경우 주변 트랙에서 함께 재생되는 기준광들인 신호 A, C를 살펴보면 신호 B가 정상적으로 재생이 되고 있는지 확인 할 수 있다. 이는 트랙 N-1, N+1을 처음 기록할 때 참조광의 입사각을  $\pm\theta^\circ$  만큼의 차이를 주고 기록했기 때문에  $\alpha^\circ$ 를 기준으로 방향성을 가지고 변화하는 것을 알 수 있다. 따라서 이를 이용하면 중심 트랙 N의 각 에러 신호를 생성하는 것이 가능하다.

2.3 각 에러 신호를 얻어오는 방법

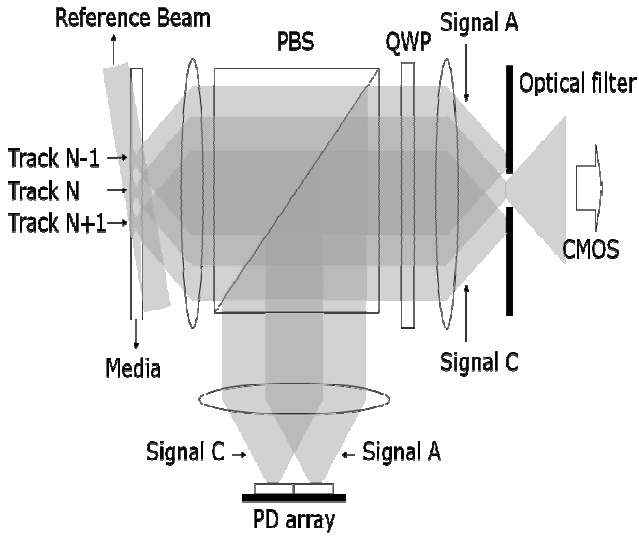


Fig. 5 Neighboring tracks which are incident on a PD array

광필터를 이용해서 각 에러 신호를 얻어 오는 방법은 figure 5와 같다. 광필터에 의해 반사되는 주변 트랙의 기준광 신호는 광필터에 의해 반사되어 PBS (polarizing beam splitter)를 거쳐 PD로 각각 입사된다 [6].

이때 각 에러 신호(AE)는 다음과 같다.

$$AE = \frac{A_{\max} - C_{\max}}{A_{\max} + C_{\max}} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} A_{\max} &= \max_{t \in T} \{A\} \\ B_{\max} &= \max_{t \in T} \{B\} \\ T &= \max(T_1, T_2) \end{aligned} \quad (2)$$

$A_{\max}$  와  $C_{\max}$  는 각각 주기  $T$  에서의  $A$  와  $C$  의 최대값을 의미한다.

$A_{\max}$  와  $C_{\max}$  는 figure 6과 같은 방법으로 얻어진다. 주변 트랙에서 재생되는 기준광인

$A$  와  $C$  신호는 figure 6과 같이 불규칙하게 발생된다.

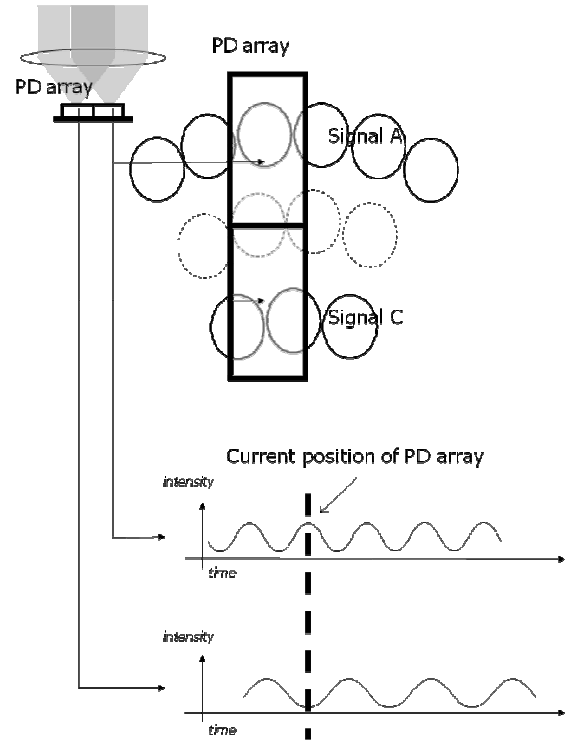


Fig. 6 Recorded data tracks which are incident on a PD array at the different time

따라서 가장 가까운 거리의 기준광 신호중에서 최대값  $A_{\max}$  와  $C_{\max}$  를 얻어서 이를 이용하여 각 에러 신호(AE)를 얻는다. 이때 불규칙하게 변화하는 주변 신호에서 최대값을 얻는 방법은 figure 7과 같이 주기  $T$  를 이용한다.

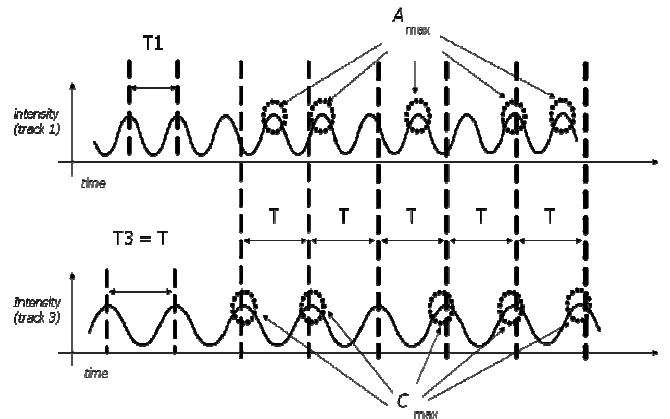
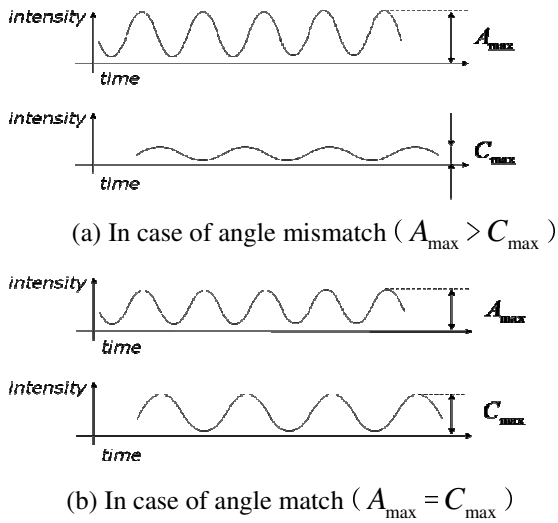
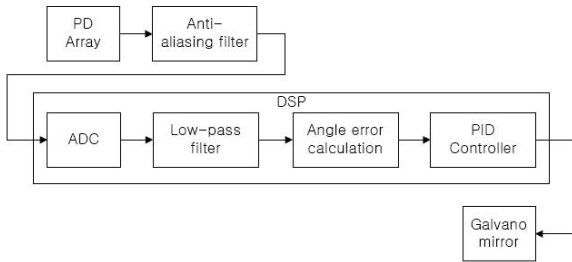


Fig. 7  $A_{\max}$  and  $C_{\max}$  in each period  $T$



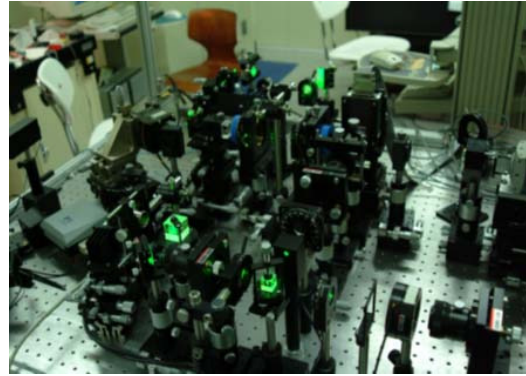
**Fig. 8**  $A_{max}$  and  $C_{max}$  when angle of reference beam is mismatched or matched



**Fig. 9** Block diagram of the angle servo algorithm

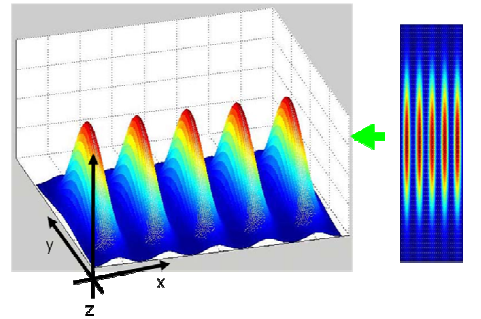
트랙 N을 재생하기 위한 참조광의 입사각이 정확히 맞았을 경우와 그렇지 않은 경우 주변 트랙 N-1, N+1의 재생신호  $A_{max}$  와  $C_{max}$  의 값의 변화는 figure 8과 같다. 이때 참조광이 정확히 맞지 않는 경우는 주변 트랙 N-1, N+1의 재생신호  $A_{max}$  와  $C_{max}$  의 차가 figure 8의 (a)와 같이 크게 되고, 정확히 맞은 경우는 figure 8의 (b)와 같이  $A_{max}$  와  $C_{max}$  가 일치 하게 된다. Figure 9는 틸트 에러가 보상되는 과정을 보여준다. PD를 통해서 얻은 A 와 C 신호는 DSP (digital signal processor)에 의해 각 에러 신호로 변환되고 이는 제어기를 통과하여 galvano 미러를 이용해 참조광의 입사각을 바꿔서 홀로그래픽 스토리지의 틸트를 보상한다.

## 2.4 실험

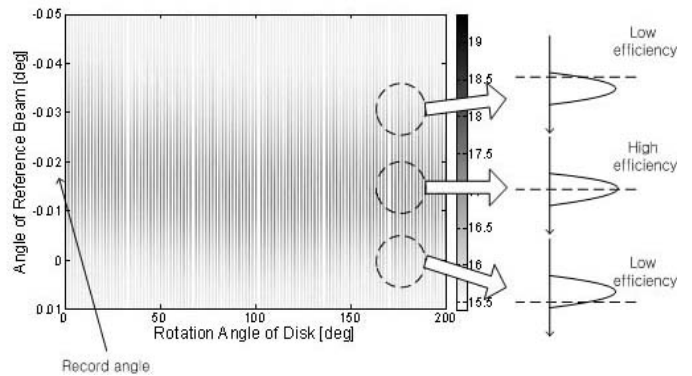


**Fig. 10** Realized optical system for angle servo

Figure 10은 실제 구성된 시스템을 보여준다. 실제 실험에서 트랙 N-1, N, N+1은 각각  $(\alpha - \theta)^\circ$ ,  $\alpha^\circ$ ,  $(\alpha + \theta)^\circ$  의 각도를 갖는 참조광을 사용하여 기록하였으며  $\alpha=0.02^\circ$ ,  $\theta=0.015^\circ$ 를 사용하였다. 이때 참조광의 입사각을  $0.01^\circ \sim 0.05^\circ$ 까지 움직이면서 트랙 N의 신호를 살펴 보면 figure 11과 같다.



(a) Axis of scan data



(b) Scan data of the track 2 until rotating disk

**Fig. 11** Scan data of one layer on the track 2

Figure 11의 X축은 디스크의 위치를 나타내고, Y축은 참조광의 입사각을 나타내고, 색깔이 짙을수록 재생되는 기준광의 신호가 강한 것을 나타낸다. Figure 11를 보면 알 수 있듯이 예상대로 트랙 N의 기준광은  $0.02^\circ$ 에서 짙은 색으로 재생되는 것을 알 수 있으며 그렇지 않은 경우 재생 신호의 세기가 약해져 색깔이 흐린 것을 확인 할 수 있다.

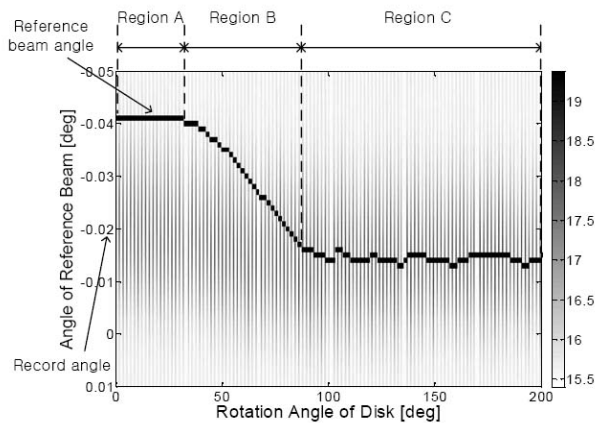


Fig. 12 Scan Change of the angle of reference beam under angle servo

Figure 12는 제안하는 각 보상 기법을 사용하여 틸트 에러를 보상하는 것을 보여준다. 먼저 틸트 에러를 생성하기 위해 region A와 같이 참조광을  $-0.04^\circ$ 에 놓고 디스크를 회전하면서 각 보상 기법을 사용하면 figure 12와 같이 region B와 같이 제자리로 찾아 들어가는 것을 확인 할 수 있다.

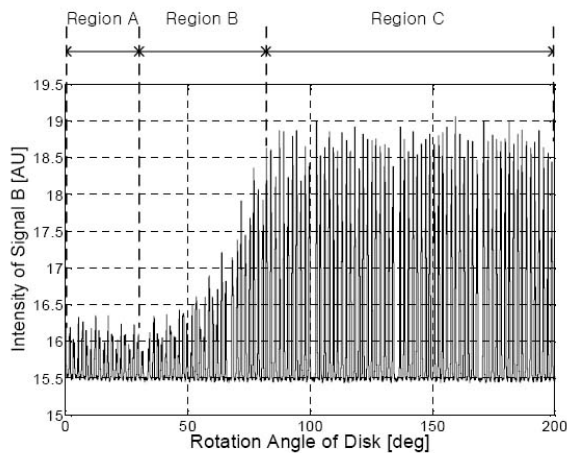
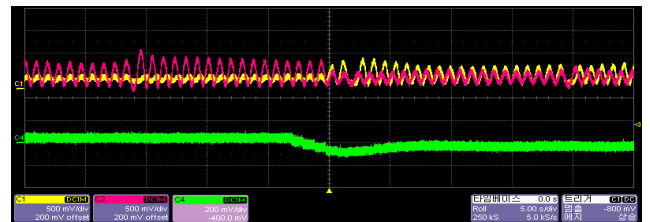
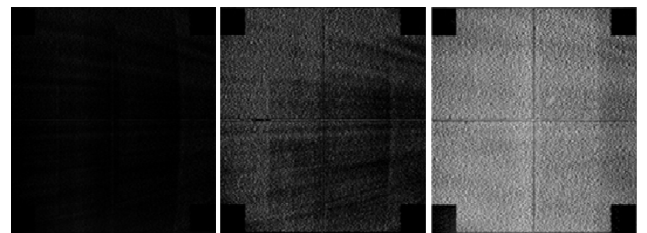


Fig. 13 Diffraction efficiency of recorded data image under angle servo

실제 트랙 N이 재생되어 나온 신호는 figure 13과 같다. Figure 13의 X축은 디스크의 위치이고 Y축은 트랙 N의 기준광 재생 신호의 세기이다. Figure 13을 보면 알 수 있듯이 region A에서는 재생되는 기준광의 세기가 약하다가 region B를 지나 region C에서는 세기가 강해지는 것을 확인 할 수 있다. 실제 실험 결과는 figure 14와 같다.



(a) Red is diffraction efficiency of track N-1, yellow is diffraction efficiency of track N+1 and green is angle of reference beam for track N



Region A Region B Region C  
(b) Track N's captured image of each region at the figure 13

Fig. 14 Experimental result

### 3. 결론

이 논문에서는 홀로그래픽 스토리지에서 발생하는 틸트 에러의 양을 감지 하기 위한 각 에러 신호를 얻는 방법을 제안하고 각 보상 기법을 제안하였다. 제안된 각 보상 기법은 매우 민감한 Bragg 각 오차를  $\pm 0.002^\circ$  내에서 벗어나지 않고 동작하는 것을 확인 할 수 있었다.

### 후기

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

## 참고문헌

- [1] J. Ashly, M. Bernal, G. Burr, H. Coufal, H. Guenther, J. Hoffnagle, C. Jeerson, B. Marcus, R. Macfarlane, R. Shelby and G. Sincerbox: IBM J. Res. Dev. 44, 341 (2000).
- [2] H. Coufal, D. Psaltis and G. Sincerbox, Holographic Data Storage, Springer, New York, (2000).
- [3] L. Hesselink, S. Orlov and M. Bashaw, Proc. IEEE 92 1231, (2004).
- [4] H. Horimai, et al., "Holographic Versatile Disc (HVD) System", Conference Proceedings of ODS (2006), MA2.
- [5] X. An and D. Psaltis, "Experimental characterization of an angle-multiplexed holographic," Opt. Lett., 20(18):1913-1915, (1995).
- [6] Ken Anderson, et al., "High speed holographic data storage at 100 Gbit/in<sup>2</sup>", Optical Society of America. Block diagram of angle servo, (2005).