

DVD 와 호환 가능한 홀로그래픽 롬 시스템

문진배[†], 김근율, 정규일, 박주연, 남은하

Key Words : 홀로그래피, DVD, 롬, 서보

ABSTRACT

We describe holographic ROM system to read bit-type data. It has optical system similar to general optical data storage system such as DVD. But because holographic data storage systems have to adopt imaging optical system, in our system bit-type data can be read out by different servos with DVD. We devised 3-hole method similar to 3-beam method for the tracking servo and used astigmatic optical system for the focusing servo. Also we developed the reference beam servo to measure movement of reference beam because especially holographic data storage systems need reference beam. The system was operated by these three servos and objective lens of NA 0.6. We obtained eye pattern from random data of 3T-2um track pitch. We also obtained another eye pattern from DVD disk by only using focusing servo PDIC in our system to verify the compatibility with DVD.

1. 서 론

볼륨 홀로그래피를 이용한 3 차원 광 저장장치는 기존의 2 차원 광 저장장치에 비해 빠른 데이터 전송 속도와 높은 기록 밀도의 구현이 가능하며 차세대 광 저장장치로서 유력시 되고 있다. 지금까지의 홀로그래픽 저장장치의 개발은 저장 용량을 늘리기 위하여 수만 장의 개별 페이지 홀로그래피 데이터를 중첩 기록하는 방식으로 진행되었다[1, 2]. 페이지 단위의 데이터를 기록 재생하기 위해서는 입력장치로는 SLM(Spatial Light Modulator)와, 출력 장치로는 CCD 나 CMOS 카메라를 사용해야 한다. 이러한 시스템은 사용자가 직접 데이터를 기록하고 재생하는 WORM(Write-Once-Read-Many)에는 적절한 방식이나 빠른 복제가 가능하여야 하는 ROM(Read-Only-Memory)에는 다소 부적절한 구조였다. 최근 들어 큰 저장 용량을 가지면서도 빠른 복제가 가능한 홀로그래픽 롬의 구조가 제안되었다[3]. 제안된 방식은 비트

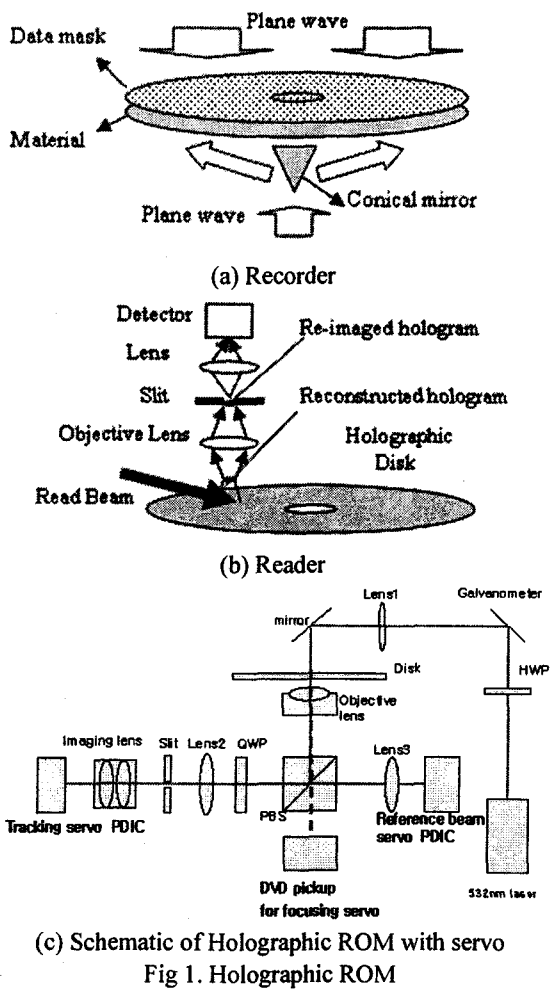
타입의 데이터를 기록 재생하기 때문에, 일반적인 광 저장장치인 DVD 와는 비슷한 구조로 되어있어 기존의 CD 나 DVD 와 호환이 가능하게 되었다.

2. 홀로그래픽 롬 시스템

2.1 기본 구조

현재 개발된 홀로그래픽 롬 방식은 디스크 복제 시에는 저장 물질을 두고 그 위에 DVD 와 같은 비트 타입의 데이터 패턴이 새겨져 있는 마스크를 위치시킨 다음 평행광을 마스크에 조사한다. 마스크를 통과한 레이저는 신호광으로서 저장물질에 입사된다. 한편, 저장물질 반대쪽에서는 적당한 원추형 거울을 두고 평행광을 입사시키면 저장 물질 전체를 덮으면서 전체 반지름 방향으로 동일한 각을 갖고 입사되는 기준광을 만들 수 있다. 이런 식으로 한번에 기존의 DVD 와 같은 저장 용량을 갖는 하나의 홀로그래피 레이어를 기록한다. 그 다음, 기준광의 입사 각도를 바꾸어가면서 여러 개의 레이어를 다중 기록함으로써 각도 다중화 원리에 따른 고 용량의 홀로그래픽 롬 디스크를 완성하게 된다[그림 1(a)]. 재생 시에는 데이터 기록 시 사용했던 기준광의 위상 공액된 파를 조사한다

대우 일렉트로닉스, 신호처리 연구소
경기도 군포시 당정동 543 번지
E-mail : yul@dwe.co.kr
TEL : (031)428-5318 FAX : (031)428-5321



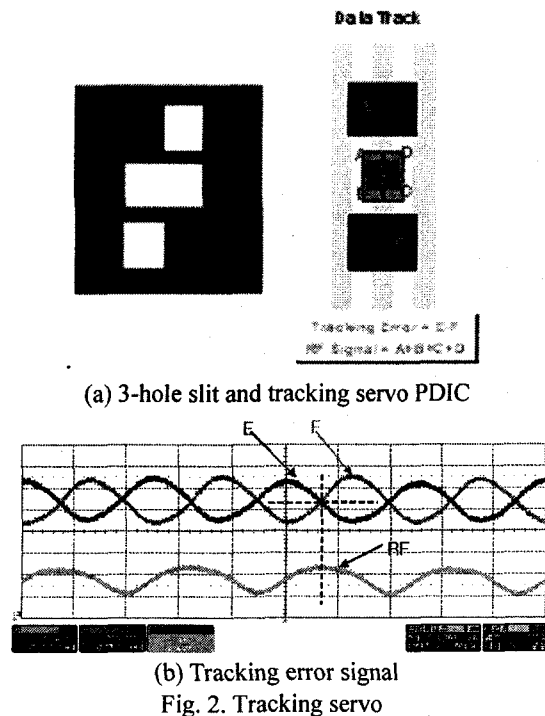
이 때 기준광의 크기는 수개의 트랙을 포함하는 정도의 크기를 갖는다. 이렇게 하면 기록할 때 사용했던 마스크의 위치에 수개의 트랙을 포함하는 이미지가 일차로 결상된다. 이 다중의 트랙을 포함한 이미지로부터 원하는 트랙의 데이터만을 추출하기 위하여 이미지를 대물렌즈와 검출기 사이의 특정 위치에 다시 결상시키고, 이 위치에 트랙 간격 정도의 크기를 갖는 슬릿을 두어 주변 트랙은 막고 원하는 트랙에서만 신호를 검출한다[그림 1(b)].

위의 방식으로 재생되는 디스크는 고속 회전하기 때문에, 정확한 신호를 검출하기 위해서는 대물렌즈를 한 트랙만을 따라 이동하게 하는 서보 기능이 추가 되어야 한다. DVD의 경우 NA 0.6인 대물렌즈를 tracking servo와 focusing servo에 의해 정밀 조정함으로써 신호 검출이 가능하다. 홀로그래픽 롬 시스템에서도 DVD에서와 같은 NA의 대물렌즈를 사용하므로 같은 성능의 서보 기능을 갖추어야 한다. 하지만, 이 시스템에서는 결상 광학계의 특성을 가지고 있어 일반적인 서보 광학계

와는 다른 구조를 갖추어야 한다. Tracking servo로는 3-hole 법, focusing servo로는 비점수차법, 기준광 서보로는 기준광 이동 측정법을 각각 개발하여 홀로그래픽 롬 시스템에 적용하였다[그림 2]. 각각의 서보 평가를 위하여 3T 선평이 2 μ m가 새겨진 크롬 마스크를 사용하였다. 실제로 홀로그래피를 적용한 디스크를 사용하여 서보 성능 평가를 하여야 하지만, 재생기에서 기준광을 위상 공액파로 조사할 때 일어나는 이미지는 레코더에서 저장했을 때의 마스크 패턴과 동일하기 때문에, 서보의 성능 평가에는 문제가 없을 것을 판단된다.

2.2 Tracking servo

홀로그래픽 롬에서 기준광에 의해 일어나는 트랙 이미지는 대물렌즈에 의해 PDIC(Photo-Diode IC)에 결상된다. 결상된 트랙 이미지에서 tracking 오차 신호를 얻기 위하여 3-hole 슬릿을 사용한다[그림 2(a)]. 3개의 hole에서 중앙 hole을 통과한 이미지는 ABCD 셀에 맞춰 RF 신호로 되고, 상하의 hole을 통과한 이미지는 트랙 위치 변동에 따라 각각 EF 셀에 맞는 광량이 다르게 되어, 두 셀의 광량 차를 tracking 오차 신호로 사용한다. 이 광학계를 이용하여 트랙 위치에 따른 PDIC의 E와 F 셀에 맞는 광량의 변화를 측정할 수 있으며, E와 F 셀에 의해 발생된 신호 차이가 0이 될 때 RF 신호 크기가 최대가 됨을 알 수 있다[그림 2(b)].

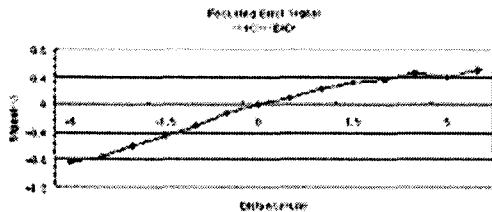


위와 같이 얻어진 S-curve 의 tracking 오차 신호는 DVD 에서와 같은 방식으로 작동하는 actuator 를 제어하여, tracking 오차 신호가 최소화가 되도록 대물렌즈를 트랙의 중앙에 위치시킨다.

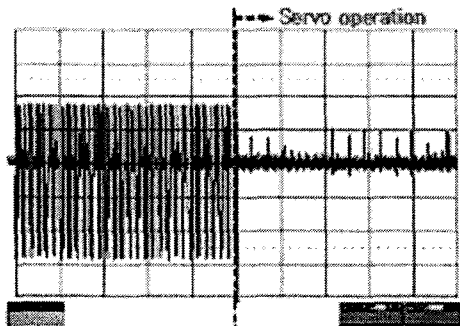
2.3 Focusing servo

2 μm 의 트랙 이미지를 NA 0.6 의 대물렌즈로 결상하기 위해서는 대물렌즈와 디스크간의 거리를 대물렌즈의 초점심도 1.35 μm 이하로 유지하는 focusing servo 가 필요하다. 홀로그래픽 롬 시스템의 focusing servo 는 DVD 에서 사용되는 픽업내의 레이저와 광학계를 사용한다. DVD 픽업의 LD(Laser Diode)에서 조사된 650 nm 파장의 레이저는 대물렌즈에 의해 디스크 면에서 반사되어 픽업으로 재입사된다. 재입사된 레이저는 비점광학계와 4 분할 PDIC 에 의해 focusing 오차 신호를 발생시켜 focusing 오차가 $\sim 0.5 \mu\text{m}$ 이하가 되게 actuator 를 제어할 수 있다. 디스크 면의 반사율은 20%로, 20 mW급 650 nm 레이저를 갖춘 CD-RW 를 사용하면 충분한 focusing 오차 신호를 얻을 수 있다. 앞으로 개발 예정인 홀로그래픽 롬 시스템에서는 532 nm 파장의 레이저는 완전 투과되고, 650 nm 파장의 레이저는 완전 반사되는 디스크가 사용된다.

고속 회전 때, 디스크의 편심에 의해 발생된 PDIC 의 신호를 (A+C)-(B+D) 식에 의해 계산된 focusing 오차 신호를 얻을 수 있다[그림 3(a)].



(a) Focusing error signal



(b) Controlled focusing error

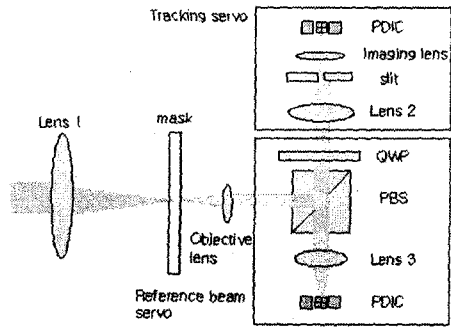
Fig. 3. Focusing servo

이 신호를 바탕으로 actuator 를 focusing 오차가 최소가 되게 구동하여 대물렌즈에 의한 트랙 이미지의 결상이 가능하다[그림 3(b)].

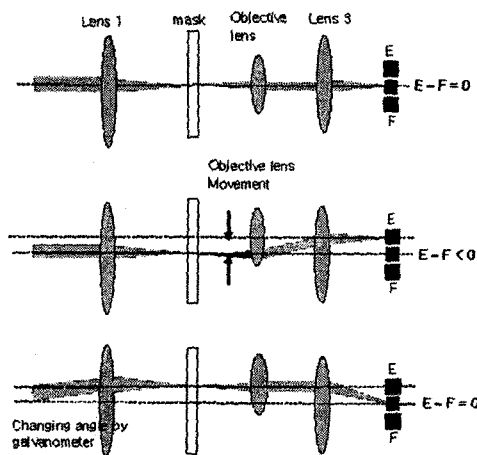
2.4 기준광 서보

홀로그래픽 롬 시스템에서 다중화된 데이터를 재생하기 위하여 기준광이 대물렌즈 외곽에서 디스크로 입사된다. 편심이 있는 디스크를 고속 회전 시, tracking servo 를 위해 대물렌즈가 편심만큼 이동하기 때문에 대물렌즈가 기준광의 중심에서 벗어나게 된다. 기준광으로 Gaussian 분포의 레이저를 사용하기 때문에, 기준광의 중심에서 벗어난 대물렌즈에 의해 결상된 트랙 이미지의 광량은 현저히 줄어들어 tracking servo 에서 RF 신호의 크기가 작아진다. 이 시스템에서는 기준광의 크기가 120 μm 이고, 디스크 편심이 $\sim 50\mu\text{m}$ 내외이므로 편심에 의해 발생한 광량의 변화는 RF 신호에 상당한 영향을 준다. RF 신호의 크기를 일정하게 유지하기 위해서는 기준광을 항상 대물렌즈 중심에 있도록 위치시키는 것이 중요하다.

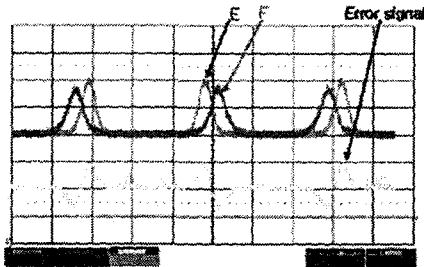
기준광 서보를 구성하기 위하여 다음과 같은 새로운 광학계를 제안하였다. 디스크와 대물렌즈를 통과한 기준광은 PBS(Polarizing Beam Splitter)에 의해 90° 반사되어 tracking servo 광학계로 입사된다. Tracking servo 광학계에 의해 트랙 이미지는 3-hole 슬릿에 결상되고, 한 트랙 이미지만이 슬릿을 통과하여 tracking servo PDIC 에 맞힌다. 하지만 기준광이 디스크에 입사되는 크기는 120 μm 으로 한 트랙의 이미지 2 μm 를 제외한 대부분의 기준광은 슬릿에서 반사된다. 반사된 기준광은 다시 QWP(Quarter Wave Plate)와 PBS 를 거쳐 기준광 서보 광학계의 Lens3 에 의해 기준광 서보의 PDIC 에 맞힌다. [그림 4(a)]. Lens1, 대물렌즈, Lens3 이 모두 광축에 있을 때는 기준광은 PDIC 의 중심에 맞춰 (E-F)의 신호가 0 이 된다. 그러나, tracking servo 를 위해 대물렌즈가 이동하면 기준광 서보의 PDIC 에 맞히는 기준광의 위치도 변화하게 되어, (E-F)의 신호가 0 에서 벗어나 기준광 위치 오차 신호가 발생한다. 대물렌즈 이동에 의한 광량 손실을 막기 위해 기준광을 galvanometer 를 이용하여 대물렌즈의 중심으로 이동시키면, 기준광은 PDIC 의 중심에 맞춰 기준광 위치 오차를 0 으로 만들 수 있다[그림 4(b)]. 디스크의 편심에 의해 발생하는 기준광 위치 오차는 S-curve 가 되는 것을 실험적으로 측정하였다[그림 4(c)].



(a) Architecture of reference beam servo



(b) Idea of reference beam servo



(c) Reference beam error signal

Fig. 4. Reference beam servo

이 기준광 위치 오차 신호를 바탕으로 galvanometer 를 작동하면 기준광 위치 오차가 최소화되어, 기준광이 항상 대물렌즈의 중심에 위치하게 할 수 있다. 실제 각도 다중화로 기록된 홀로그래픽 이미지를 재생할 경우에도 위와 같은 원리로 기준광의 각도를 미세 조정할 수 있다.

3. 서보 작동 및 eye pattern

3.1 홀로그래픽 롬에서의 Eye pattern

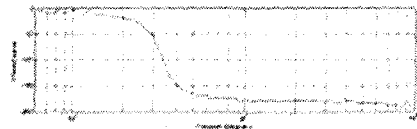
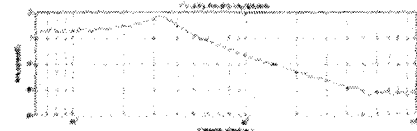
앞에서 제안된 세 가지 서보를 작동하기 위하여, focusing 과 tracking actuator 특성을 측정하여

식 1 과 식 2 와 같이 2 차식으로 근사화된 적절한 전달 함수를 구하였다[그림 5].

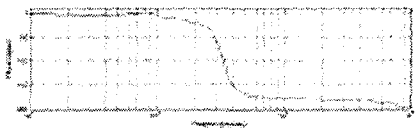
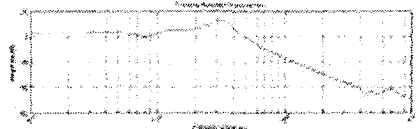
$$G_f(s) = \frac{1.0}{(s/330)^2 + 2 \times 0.14 (s/330) + 1} \quad (1)$$

$$G_t(s) = \frac{1.4}{(s/320)^2 + 2 \times 0.14 (s/320) + 1} \quad (2)$$

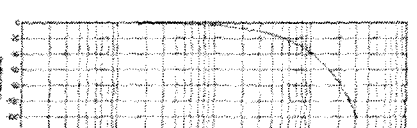
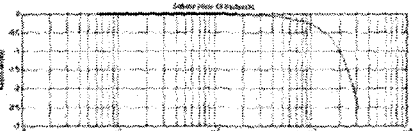
통합된 시스템은 DSP(Digital Signal Processor)를 이용하여 제어되므로 DSP 및 샘플링을 위한 A/D(Analogue-Digital converter), 신호 복구를 위한 D/A(Digital-Analogue convter)가 사용되며, 아날로그 전단필터(anti-aliasing filter)를 아날로그-디지털 변환기 전에 배치하였다. 샘플 속도는 20KHz 로 설정하고, 앞섬 보상기(lead compensator)를 사용하여 제어를 설계하였다. 그림 6(a)는 세 가지 서보를 합쳐 홀로그래픽 롬 시스템 평가를 구현한 것이다.



(a) Focusing servo characteristic



(b) Tracking servo characteristic

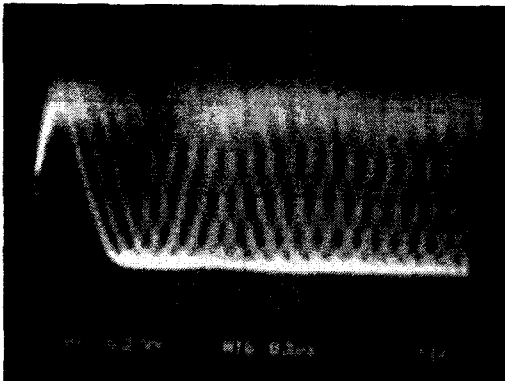


(c) Galvanometer characteristic
Fig. 5. Servo characteristic

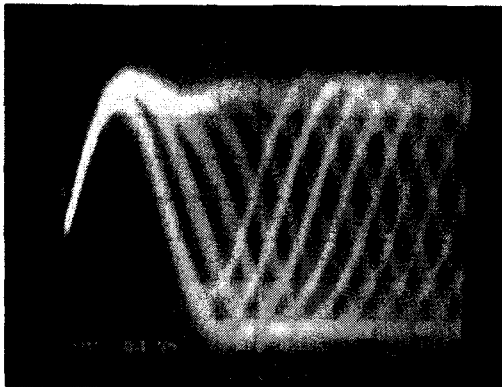
대물렌즈는 NA 0.6 인 DVD 용 렌즈를 사용하였으며, focusing servo 는 대물렌즈를 제거한 필립스 CD-RW 픽업을 사용하였다. 이 시스템을 사용하여 디스크가 700rpm 으로 회전할 때, tracking, focusing, 기준광 서보를 유기적으로 작동하여 램덤 데이터에서 eye pattern 을 얻었다[그림 6(b)].



(a) Holographic ROM system



(b) Eye pattern from Holographic ROM



(c) Eye pattern from CD
Fig. 6. Eye pattern

이 eye pattern 에서 pattern 간의 간격이 뚜렷이 구별되어 신호가 재생 가능하다고 판단할 수 있다.

3.2 DVD 와의 호환성

서론에서 언급한 바와 같이 현재 개발된 홀로그래픽 롬 시스템은 DVD 용 대물렌즈와 픽업을 사용하기 때문에 DVD 의 재생이 가능하다. DVD 를 재생하기 위해서는 홀로그래픽 롬 focusing servo 용 픽업내의 PDIC 에서 검출되는 신호를 바탕으로 DVD 재생을 위한 focusing servo 와 tracking servo 가 동시에 이루어져야 한다. 이를 확인하기 위해 디스크 대신 CD 타이틀을 장착, 고속 회전하여 focusing servo 의 PDIC 신호만으로 eye pattern 을 얻어 DVD 와 호환 가능한 것을 알 수 있다[그림 6(c)].

4. 결 론

홀로그래픽 롬 시스템에서 tracking, focusing, 기준광 서보를 동기화하여, actuator 를 구동함으로써 홀로그래픽에서 재생 되는 비트 타입의 데이터를 재생 가능하다는 것을 보였다. 또한 일반 DVD 도 같은 대물렌즈와 PDIC 를 사용하여 재생할 수 있었다. 앞으로 실제 기준광을 사용하여 홀로그래픽 데이터를 저장한 디스크를 재생함으로써 DVD 와 호환 가능한 홀로그래픽 롬을 상용화 할 수 있을 것으로 보아 진다.

후 기

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

참고문헌

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