

초고속 광 디스크 드라이브의 제어기 비교 연구

고영철* · 왕지남* · 신서용**

ABSTRACT

본 연구에서는, 반복 학습 제어 이론에 기초하고 신경망을 이용하여 설계된 제어 기술을 광 디스크 드라이브 시스템(Optical Disk Drive System)을 제어하는데 적용한다. (광디스크 드라이브류에는 compact disk drive, mini drive, magneto-optical disk drive 등이 있다.) 반복 학습 제어 이론은 불확정한 시스템의 제어에 이용되며 제어의 대상이 되는 시스템에 대해 보다 적은 정보로도 반복적으로 똑같은 일을 수행하는 것처럼 수행 도가 좋다.

신경망은 신경망의 입력에 대한 출력과 목표 출력간의 맵핑을 학습하고, 이 맵핑의 특성은 두 출력간(목표 출력과 실제 출력)의 차이를 감소시킨다. 이러한 특성을 가지는 신경망을 이용하여 제어기를 설계하고, 제안된 신경망 제어기를 광 디스크 드라이브 시스템의 초점 제어에 적용한다. 제안된 제어 알고리즘은 다른 어떤 제어 기술과 비교하여 보다 좋은 성능이 예상된다.

1. 서론

광 디스크 드라이브는 광학 원리를 이용하여 비접촉식으로 데이터를 기록 또는 재생하므로 디스크의 마모를 방지할 수 있고, 먼지나 손의 지문 등으로부터 정보를 보호할 수 있는 장점이 있다. 또 플로피 디스크 드라이브처럼 디스크를 교환할 수 있어서 정보의 보안성 및 휴대성이 좋은 장점이 있다. 현재는 광 디스크 드라이브류는 컴퓨터의 기억 장치뿐만 아니라, 동화상 정보를 실시간에 디지털로 기록하고 재생하는 곳에 사용하기 위하여 기록 밀도의 향상과 데이터 전송 속도를 높이려는 연구가 진행되고 있다.

자동 제어 분야에 전형적인 설계 문제는 시스템과 목표 출력 궤적의 주어졌을 때 폐루프 시스템이 안정적으로 동작하고 출력이 원하는 궤적을 추종(tracking)하도록 하는 제어기를 설계하는 문제라 할 수 있다.

* 아주대학교 산업공학과

** 명지대학교 정보통신학과

제어 대상의 동특성(dynamics)이 복잡하고 비선형이며 부하에 따라 파라미터 등이 변동되는 등 많은 불확실성을 내포하고 있는 경우는 미지의 동특성을 효과적으로 제어하는 방법에 대한 연구가 이루어져야 하며, 이에 대한 연구로 반복 학습 제어를 들 수 있다. 동일한 일을 반복적으로 수행할 때 다음 번 시행시는 보다 효율적이고 효과적으로 하게 하는 학습이라는 개념을 자동 제어에 적용한 반복 학습 제어는 시스템에 대한 정확한 모델이 없어도 제어를 반복함에 따라 이전 수행시의 오차에 대한 정보를 기준으로 제어 입력을 수정하여 점차 성능이 개선된다는 장점이 있으며, 제어 방식이 단순하여 쉽게 구현되므로 이에 대한 이론적인 연구가 활발히 진행되어 왔다. 실제 반복 학습 제어의 적용은 주로 반복적인 일을 하는 로봇의 반복작업에 국한되어 왔으나, 최근에는 디스크 드라이브의 트래킹 제어와 같은 회전체를 가진 시스템의 주기적인 잡음 제어에도 응용이 시도되고 있으며, 본 연구에서는 반복 학습 제어의 개념을 이용하여 신경망을 이용한 제어기의 알고리즘을 제시한다. 제안된 알고리즘을 광 디스크 드라이브의 제어에 적용하여 이 시스템의 제어 시간을 단축시키고 구동 메가니즘을 개선시키며 전체 광 디스크 드라이브의 성능을 향상시키고자 한다.

앞으로의 논문 구성은 다음과 같다. 2장에서는 반복 학습 제어와 신경망 이론에 대한 기존 연구 및 광 디스크 드라이브의 구성도에 대해 간단히 고찰해보고, 3장에서는 신경망을 이용한 제어기를 기술하고, 4장에서는 결론을 내린다.

2. 기존의 연구 및 광 디스크 드라이브의 구성도

Uchiyama에 의해 최초로 제안된 반복 학습 제어 방법은 Arimoto와 그의 동료들에 의해 이론이 확립되었으며, 완벽한 추종이 이루어질 때까지 알고리즘을 계속 반복적으로 미지의 시스템에 적용한다. 제어기의 기본 형태는 다음과 같다.

$$u_{k+1} = u_k + L \frac{d}{dt} e_k(t) \quad 0 \leq t \leq T$$

단, $u_k(t)$: k번째 반복에서의 제어 입력

$e_k(t)$: 시스템의 출력, $y_k(t)$ 과 시스템의 목표 출력, $y_d(t)$

사이의 차. 즉, $e_k(t) = y_d(t) - y_k(t)$

L : gain factor

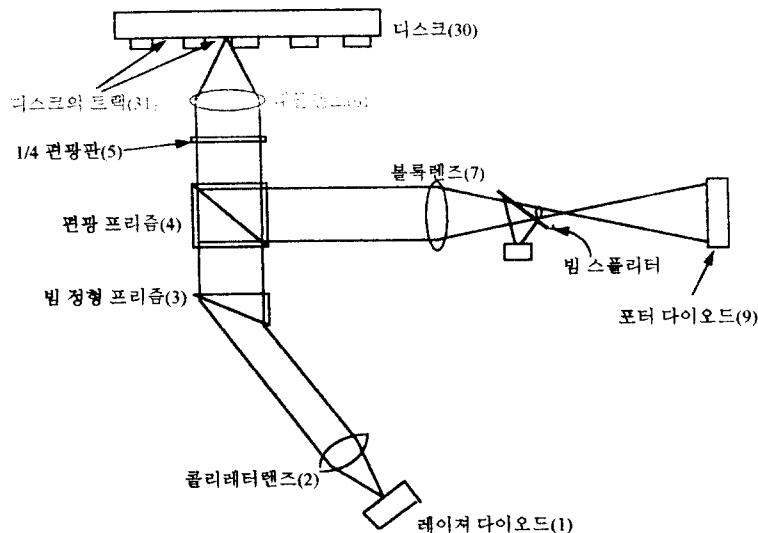
또한, Francis와 Wonham이 제안한 '주어진 외부 신호를 정상 상태 오차 없이 추종하는 것을 보장하기 위해서는 외부 신호의 동적 구조의 모델이 안정된 폐루프 시스템 내에 포함되어 있어야 한다'는 내부 모델의 원리를 이용한 반복 제어가 있다.

Mita와 Kato는 선형 시불변 시스템에 대하여 주파수 영역에서의 분석을 통해서 학습 제어 알고리즘을 제안하고 그 알고리즘에 의해 제어 입력과 출력 오차가 수렴하기 위한 조건을 제시하였다.

반복 학습 제어는 시스템의 정확한 모델을 필요로 하지 않는 장점이 있으며, 시스템이 조건을 만족하면 제어를 반복함에 따라 일괄 추종(uniform tracking) 성능을 보장한다는 장점이 있다.

Kolmogrov는 신경망을 사용해서 R^n 에서 R^m 으로의 비선형 맵핑이 가능함을 보였다. 이 연구를 계기로 제어기 설계에 신경망을 이용한 연구들의 계기를 마련하였다.

Psaltis, Sideris와 Yamamura 등은 신경망을 사용하여 feedforward 제어기를 설계하여, 세 가지 제어 방법을 제시하였다. 첫 번째 방법은 제어 입력과 신경망의 출력과의 차를 최소화하도록 제어기를 설계하는 것과, 두 번째로는 제어 입력과 시스템의 출력과의 차의 제곱을 최소화하도록 제어기를 설계하였다. 마지막 방법은 제어 입력으로 출력을 학습시켜 목표 출력에 수렴하도록 제어기를 설계하였다. 동적으로 작동하는 시스템의 동특성 제어를 위해 Narendra와 Parthasarathy는 신경망을 이용하여 제어기를 설계하였다.



<그림 1> Optical Disk Drive의 구성도

광 디스크 드라이브의 구성은 위의 그림 1과 같이 광을 발생시키는 레이저 다이오드(1)와 상기 레이저 다이오드에서 발생된 타원 발산광속을 평형 원광속으로 정형화시키는 콜리레터렌즈(2)와 상기 콜리레터렌즈로 부터의 빛을 정형화시키는 빔 정형프리즘(3)과 상기 빔 정형프리즘을 통과한 빔을 분리하는 편광프리즘(4)과 상기 편광프리즘으로 부터의 빛이 45도 편광시키는 1/4파장판(5), 상기 파장판으로 부터의 빛을 디스크(30) 트랙(31)에 입사시키는 대물렌즈(6)와 상기 편광프리즘(4)으로 부터 90도 회전된 빛을 포커싱하는 볼록렌즈(7)와 상기 볼록렌즈의 빛을 분배하는 빔 스플리터(8)와 상기 빔 스플리터에 입사된 광원을 판독인식하는 포토다이오드(9)로 구성하였다.

이 광 디스크 드라이브의 동작 원리는 레이저 다이오드(1)에서 나온 빛이 여러 광학 부품을 거쳐 대물렌즈(6)에 의해 회전하는 디스크(30)의 트랙(31)에 초점이 맷하게 된다. 디스크(30)의 트랙(31)에 맷한 빛은 기록면에서 반사된 뒤 다시 대물렌즈에 의해 집광되고, 이 빛은 여러 광학 부품을 통한 뒤 빔스플리터(8)에 의해 포토 다이오드(9)에 도달된다. 이때, 포토 다이오드에 도달된 빛은 데이터가 기록된 형태에 따라 프리펫 데이터의 경우에는 회절의 원리에 의해 광량의 변화가 발생하고, 마그네토토 옵티칼(Magneto-Optical)데이터의 경우 Kerr효과에 의해 편광 방향의 변화가 발생하므로 이러한 변화를 전기적 신호로 변환하여 기록된 정보를 추출한다.

3. 제안 알고리즘

신경망의 가장 큰 장점은 학습에 있다. 입력패턴과 그에 대한 목표출력이 주어지면 신경망은 내부적인 연결강도를 조정하여, 학습이 성공적으로 진행되었을 때는 입력패턴에 대해 정확한 답을 줄 수 있도록 내부적인 변수(parameter)들이 조정된다.

이러한 특성을 지닌 비선형 시스템인 신경망을 제어기의 설계에 이용하는 것은, 신경망이 비선형 시스템이고 내부 representation을 학습하며 연상 기억 능력을 가지므로 비선형 제어의 좋은 대상이 된다.

본 연구에서는 신경망 이론을 사용하여 제어기를 설계하고, 설계된 제어기를 이용하여 제어 입력, $u_k(t)$ 와 제어 입력에 대응하는 제어 출력, $y_k(t)$ 를 맵핑시켜 원하는 제어 출력인 $y_d(t)$ 에 수렴하도록 한다. 즉, 완벽한 추종이 이루어지도록 하는 제어 입력을 만 들어낸다.

학습 과정의 목적은 제어 입력, $u_k(t)$ 이 시스템에 주어졌을 때 시스템의 출력이 목표 출력 $y_d(t)$ 에 일치하도록 신경망상의 가중치(weight value)들을 학습시키는 것이다.

4. 결론

일반적으로 광 디스크 드라이브와 같이 원하는 출력이 주기성을 가지는 시스템은 모터의 회전에 따라 반복되는 특성을 가진다. 이러한 시스템은 반복 학습 제어의 개념을 도입하여, 출력과 목표 출력간의 어려움에 의해 입력 신호를 수정 개선해 나갈 수 있으므로

로, 시스템에 대한 정확한 모델을 필요하지 않는 장점이 있다. 이러한 개념을 신경망에 적용하여 제어기를 설계하려 한다.

본 연구에서, 기존의 연구에서 디스크 드라이브 등의 회전체에 적용되었던 반복 학습 알고리즘을 광 디스크 드라이브에 적용하고 신경망을 적용한 알고리즘과의 수행도를 비교한다.

기존의 알고리즘 보다 신경망을 적용한 알고리즘의 성능이 좋으리라 예상된다.

앞으로의 과제로는 학습으로 유연성이 적어진 패턴을 다중 신경망을 이용하여 학습 시켜 패턴의 유연성을 향상시키고, 비선형인 신경망과 선형의 조합 및 신경망과 신경망의 조합 등의 하이브리드형의 제어기를 설계하고, 이 설계된 제어 알고리즘을 신경망 전용 칩을 통해 구현하여 학습에 소요되는 시간을 줄이고 효율을 높이려 한다.

- [1] D. Psaltis, A. Sideris, and A. Yamamura, "A multilayered neural network controller," *IEEE Control Systems Magazine*, vol. 8, pp. 7-21, April 1988.
- [2] Kevin L. Moore, Iterative Learning Control for Deterministic Systems, Springer-Verlag, 1993
- [3] 이경호, "반복 학습 제어기의 설계 및 MODD 초점 제어에의 응용에 관한 연구", 박사학위 논문, 한국 과학 기술원, 전기 및 전자 공학과, 1994.
- [4] Z. Bien and K. M. Huh, "Higher-order iterative learning control algorithm," *IEE Proceedings*, vol. 136, Pt. D, No. 3, May 1989.
- [5] S. R. Oh, Z. Bien, and I. H. Suh, "An Iterative Learning Control Method with Application for the Robot Manipulator," *IEEE Journal of Robotics and Automation*, vol. 4, no. 5, October 1988
- [6] K. Narendra and K. Parthasarathy, "Identification and control of dynamical systems using neural networks," *IEEE Transactions on Neural Networks*, vol. 1, pp. 4-27, March 1990
- [7] A. Guez, J. L. Elbert, and M. Kam, "Neural Network Architecture for Control," *IEEE Control Systems Magazine*, pp. 22-25, April 1988
- [8] S. R. Oh, Z. Bien, and I. H. Suh, "An Iterative Learning Control Method with Application for the Robot Manipulator," *IEEE Journal of Robotics and Automation*, vol.4, No. 5, October 1988
- [9] F. L. Lewis, K. Liu and A. Yesildirek, "Neural Net Robot Controller with Guaranteed Tracking Performance," *IEEE Transactions on Neural Networks*, Vol. 6, No.3 May 1995
- [10] K. H. Lee and Z. Bien, "Initial conditions problem of learning control," *IEE Proceedings-D*, Vol. 138, No. 6, November 1991