

유전알고리즘을 이용한 Optical Disk Drive의

퍼지 PI 제어기 설계

Design of a GA-Based Fuzzy PI Controller for Optical Disk Drive

유 종화* · 주 영훈** · 박 진배*

Jong Hwa Yu, Young Hoon Joo, and Jin Bae Park

* 연세대학교 전기전자공학과,

** 군산대학교 전자정보공학부

요 약

This paper proposes a fuzzy proportional-integral (PI) controller for the precise tracking control of optical disk systems based on the genetic algorithm (GA). The fuzzy PI control rules are optimized by the GA to yield an optimal fuzzy PI controller. We validate the feasibility of the proposed method through a numerical simulation.

Key Words : 퍼지 PI 제어기, 유전 알고리즘, 광 디스크 드라이브

I. 서 론

컴퓨터 시스템의 발달이 가속화 되면서 컴퓨터 뿐 아니라 주변기기의 시스템 성능도 엄청난 속도로 발전하였다. 이에 고성능의 제어시스템 설계 및 구현이 필요하며 견실성과 경제적인 문제가 중요한 요소로 부각되고 있다. 1978년 필립스사가 개발하여 발표한 광학식 디지털 오디오 콤팩트디스크(CD: compact disk)는 일본의 소니사가 참여하면서 실용화되었고 규격이 제정되면서 1982년부터 일본회사들을 중심으로 광디스크드라이브(ODD: optical disk drive)가 상품화되기 시작했다. CD는 고밀도의 기록 용량을 가지고 있으며 노이즈가 거의 없는 우수한 음질을 재생하면서 조작이 용이하고 비접촉 광학 방식으로 반영구적으로 사용가능한 장점들을 보유하여 단 시일에 long play(LP)를 대체할 수 있었다. 그 후 오디오 뿐 아니라 컴퓨터의 프로그램과 정지 화상, 동화상 재생이 가능한 CD ROM계열이 상품화되면서 우리 생활 속에 깊숙이 자리 잡게 되었다. 이후에도 끊임없는 발전을 이루어 디지털 다용도 디스크(DVD: digital versatile disk)의 개발, 기록기기의 등장은 ODD를 좀 더 복잡하고 정확한 서보기술을 요구하게 되는 시점까지 이르게 되었다 [1].

ODD는 디스크에서 데이터 추출을 위해 광학헤드의 구동기를 포커스와 트랙 서보제어하여 정확한 데이터를 읽어낸다 [2]. 시스템의 배속이 증가하고 여러 가지 디스크 종류에 모두 대응해야 하는 현재의 ODD의 경우 비선형성, 외란 등 불확실성을 내포하여 시스템을 정확히 모델링하고 제어하기가 어려워지는 추세이다. 현재 ODD에서는 광학헤드의 구동기가 위상 여유가 부족한 불안정한 시스템이어서 위상 여유를 확보하기 위해 지상-진상-진상(lag-lead-lead)보상기가 사용되는 추세이다 [1, 3].

본 논문에서는 퍼지 비례-적분 제어기(PI: Proportional-Integral) 제어기를 설계한 뒤 구동기를 플랜트로 하여 제어기의 성능을 입증한다. 광학헤드의 구동기의 안정화 제어기를 설계하는데 퍼지 제어 규칙의 전반부 및 후반부의 파라미터를 최적화 하기 위해 유전알고리즘을 적용한다. 퍼지 제어 규칙을 설정하는데 있어 전문가의 경험과 지식, 혹은 시행 착오법에 바탕을 둔 종래의 퍼지 제어기 설계법과는 달리 본 논문에서는 최적화 방법인 유전알고리즘을 이용하여 퍼지 규칙을 자동으로 동정하고 또한 제안된 알고리즘을 ODD의 광학헤드 구동기에 적용한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 퍼지 PI 제어기에 대해서 설명하고 3장에서는 유전알

고리즘 적용과정을 논의한다. 4장에서는 제안된 알고리즘으로 설계된 퍼지 PI 제어기의 모의실험 결과 대해 설명하고 5장에서는 결론을 맺는다.

2. 퍼지 PI 제어기의 구조

Proportional-integral-derivative(PID) 형태의 제어기는 그 선형 시스템에 대한 효율성이나 저비용으로 설계할 수 있는 이점으로 산업전반에 걸쳐 사용되는 제어기이다. 실제 사용되는 제어기의 90% 이상이 PID 형태로 구성된다 [4]. 그러나 고전적인 PID 형태의 제어기는 비선형 시스템이나 복잡한 시스템에서는 적당하지 않은 것으로 알려져 있다. 이미 ODD에 퍼지 제어기를 적용하는 것은 다양하게 시도되었으나 본 논문에서는 퍼지 규칙이 적용된 퍼지PI 제어기를 설계하여 ODD의 광학헤드 균동기 제어에 적용한다 [5, 8].

기본적인 블록선도는 그림 1과 같다. 이를 위한 퍼지 규칙은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$R_r^{\mu} \text{ If } e \text{ is } E^r \text{ AND } de \text{ is } \Delta E^r, \text{ then } CI \text{ is } \Delta U_r^{\mu} \\ (r=1,2,3,\dots,n)$$

여기서 e 는 플랜트 출력과 기준입력과의 오차를 의미하고 de 는 오차의 미분값이다. $E^r, \Delta E^r$ 은 입력값을 의미하고 ΔU_r^{μ} 은 플랜트로 입력되는 제어 입력의 변화량을 나타낸다.

$$U = k_{PI} U_r^{\mu}$$

여기서 U 는 PI 제어기의 최종출력이고 U_r^{μ} 은 퍼지 규칙의 출력을 의미하고 k_{PI} 는 비례이득을 나타낸다.

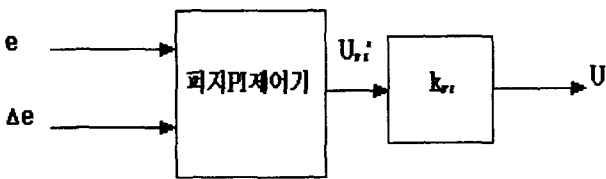


그림 1. 퍼지 PI 제어기의 블록선도

3. 유전알고리즘을 이용한 퍼지PI제어기 설계

3.1. 퍼지 PI 제어기

퍼지 제어기의 입력은 최종출력의 e 와 오차의 변화량으로 표현되는 de 가 된다. 퍼지 제어기의 설계 순서는 퍼지화, 퍼지 규칙, 비퍼지화 블록의 순으로 설계되어진다 [1].

Step1: 퍼지화 추론

이 단계에서는 입력 소속 함수를 결정하며 입력 소속 함수는 그림 2, 3과 같이 결정한다.

Step2: 퍼지 규칙 결정

위와 같이 입력 소속함수에 의해 만들어진 25개의 퍼지 규칙들은 다음과 같다.

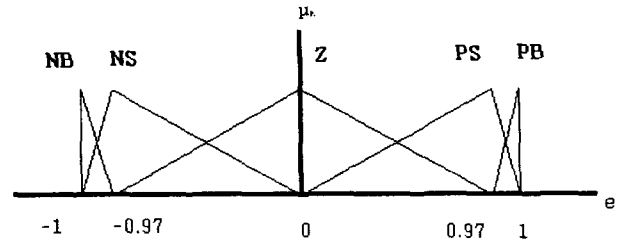


그림 2. 퍼지 PI 제어기 입력 e 의 소속 함수

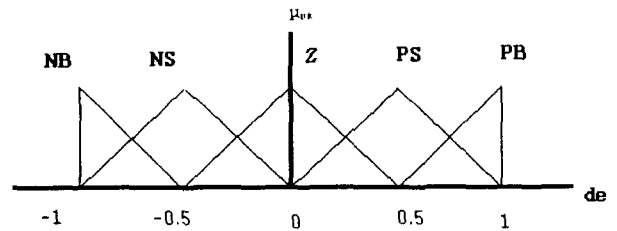


그림 3. 퍼지 PI 제어기 입력 de 의 소속 함수

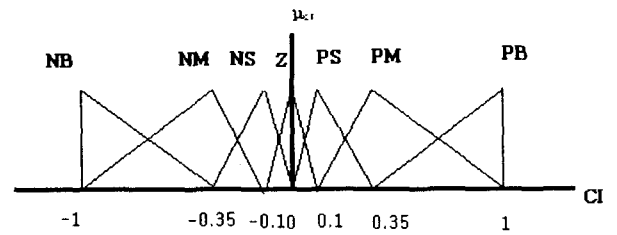


그림 4. 퍼지 PI 제어기의 출력 소속 함수

- $r1: \text{ If } e \text{ is } \mathcal{A}_1 \text{ and } de \text{ is } \mathcal{B}_1, \text{ then } CI \text{ is } \mathcal{C}_1$
- $r2: \text{ If } e \text{ is } \mathcal{A}_2 \text{ and } de \text{ is } \mathcal{B}_2, \text{ then } CI \text{ is } \mathcal{C}_2$
- \vdots
- $r25: \text{ If } e \text{ is } \mathcal{A}_{25} \text{ and } de \text{ is } \mathcal{B}_{25}, \text{ then } CI \text{ is } \mathcal{C}_{25}$

여기서 CI 는 플랜트의 제어입력 신호이고 $\mathcal{A}_i, \mathcal{B}_i$ 그리고 \mathcal{C}_i 는 퍼지 PI 제어기의 입력 및 출력 소속 함수의 값을 의미한다. 퍼지 규칙은 플랜트가 최적의 값을 출력할 수 있도록 유전 알고리즘을 통해 결정된다.

Step3: 비퍼지화 결정

퍼지 PI 제어기의 출력 소속 함수는 그림 4와 같이 묘사된다. 비퍼지화 과정은 주어진 입력에 대한 각 규칙의 전반부 적합도를 구한다. 이때 e 와 de 입력에 대한 적합도 값 중 작은 값을 정한다. 이때의 최종 추론 결과값들 중 최대값을 취해 이 값들로서 무게중심법을 이용하여 비퍼지화를 수행한다.

$$C_I = \frac{\sum_i \mu_{CF_i} (\sum_{j=1}^k CI_{ij}/k)}{\sum_i \mu_{CF_i}}$$

(1) μ_{ci} 는 각각 출력 함수값의 최대값을 의미하고 $\sum_{i=1}^k CI_i/k$ 는 이 평균값을 의미한다. 따라서 퍼지 PI제어기의 최종 출력은 다음과 같이 주어진다.

$$U'_m[(k+1)T] = U'_m(kT) + \Delta U'_m[(k+1)T] \quad (2)$$

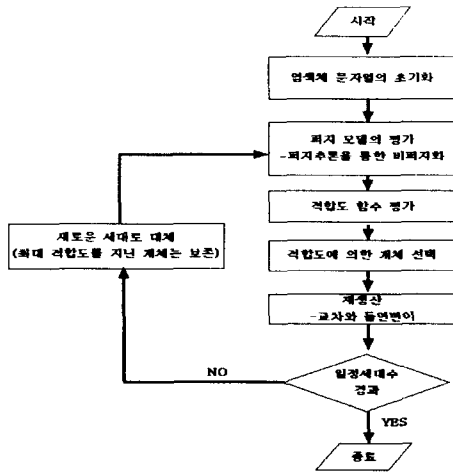


그림 5. 유전 알고리즘

	NB	NS	Z	PS	PB
NB	1	2	3	4	11
NS	5	6	7	12	10
Z	8	9	13	9	8
PS	10	12	7	6	5
PB	11	4	3	2	1

그림 6. 퍼지규칙

3.2. 유전 알고리즘을 이용한 제어기 최적화

유전 알고리즘은 주요한 현대 생물학적 사고의 하나로서 컴퓨터를 이용해 생물학적 진화를 묘사하는 최적화 기법이다. 본 논문에서 제시된 유전 알고리즘 기반 퍼지 모델링은 임의로 초기화된 유전 개체들을 기본적인 유전 연산자들인 재생, 교차, 돌연변이 연산자에 의해 자식개체들을 생성하며 진화한다. 유전 연산자들을 통한 세대 교체 시 최고의 적합도를 갖는 개체는 다음 세대에서 보존하는 이론을 적용하여 적합도 함수의 수렴을 보장한다 [6]. 유전 알고리즘을 이용한 퍼지 모델링 단계는 그림 5와 같이 요약된다.

Step 1: 앞에서 언급한 바와 같이 25개의 퍼지 규칙을 아래 그림6과 같이 부호화를 한다. 단 유전 알고리즘에서 사용하는 문자열을 간단하게 대칭되는 부분은 여집합으로 다음과 같이 정의한다.

$$\{ NB \leftrightarrow PB, NM \leftrightarrow PM, NS \leftrightarrow PS, Z \leftrightarrow Z \}$$

위와 같이 부호화하면 13개만을 이용하여 문자열을 감소시킬 수 있다. 문자열은 또 각각의 소속 함수를 대표하는 숫자로서 아래 표현과 같이 각각의

소속 함수를 정수로 설정하여 진화시킬수 있다.

$$\{NB, NM, NS, Z, PS, PM, PB\} \rightarrow \{1,2,3,4,5,6,7\}$$

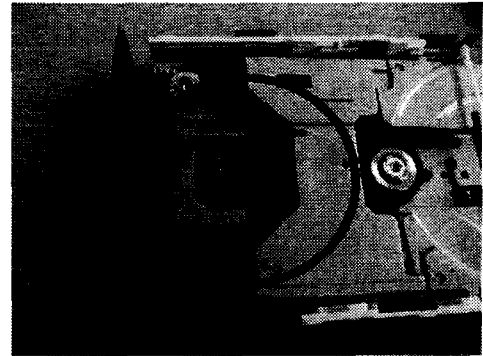


그림 7. ODD의 광학 헤드

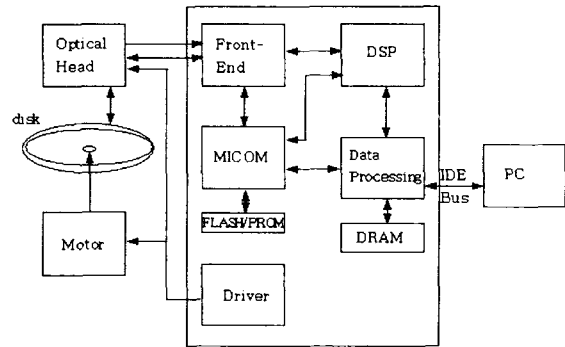


그림 8. ODD의 기본 블럭선도

Step2: 적합도 함수는 다음과 같이 설정한다.

$$J_i = \sum_{k=1}^n w * abs[e(k)], \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

$$w = \begin{cases} 10, & |e| \geq 1 \\ 1, & |e| < 1 \end{cases}$$

여기서 w 는 가중치를 의미하고 n 은 개체수를 의미한다.

Step3: 기본적인 파라미터들 최대 세대수, 개체군수를 결정하고 교차율, 돌연변이율을 정한다.

4. 시뮬레이션 및 결과 고찰

그림 7에 보여지는 실제 ODD는 광학헤드를 통해서 쏘아진 레이저빔을 디스크에 반사시키고 그 반사된 광 신호를 전기적 신호로 바꾸어 신호를 복조한 뒤 컴퓨터로 전달하는 전체구조 그림 8에 나타난다. 디스크에는 피트(PIT)라고 하는 경로(트랙)를 따라 데이터가 형성되어 있는데 이 데이터가 있는 부분과 없는 부분을 반사정도에 따라 데이터를 복조하는 신호를 읽어내게 된다. 피트는 폭이 CD의 경우 $1.6 \mu m$ (DVD는 $0.74 \mu m$)로 형성되어 있는데 광학헤드에서 방사되는 레이저빔의 초점

이 정확이 피트위에 투영될 수 있도록 포커스 방향과 트래킹 방향으로 광학헤드의 구동기를 서보제어하여 가장 좋은 품질의 데이터를 읽어내도록 하고 있다. 초점방향 서보는 디스크 면에 대해 수직방향으로 디스크에 레이저의 초점이 정확히 맺히도록 하고 트래킹 방향은 레이저 빔이 현재 추종하는 트랙을 벗어나지 않도록 그 트랙의 좌우 방향을 조정하는 동작이다 [1, 2, 3, 7].

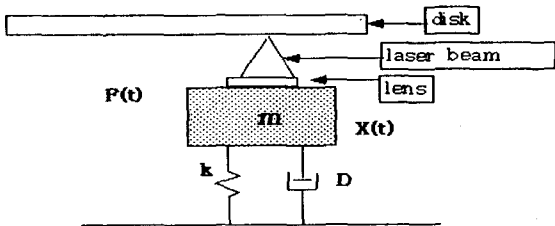


그림 9. 광학헤드 구동기의 구조

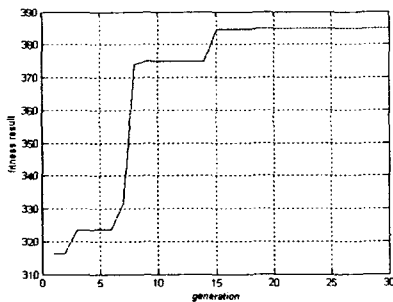


그림 10. GA의 적합도 그래프

e	NB	NS	Z	PS	PB
de	NB	Z	NB	Z	NM
u	NB	NS	NB	PS	PB
	NS	Z	NS	NB	Z
	Z	NB	PB	Z	PB
	PS	Z	PB	PS	Z
	PB	Z	NM	PB	PB

그림 10. 최종 퍼지규칙

세대 수	30
개체 수	30
교차율	0.8
돌연변이율	0.2

그림 11. 유전알고리즘 파라미터

모델링 된 구동기의 수학적 모델링은 다음 그림 9로 표현된다. 이 모델에서 탄성계를 스프링 상수 k 와 점성 마찰계수 D 로 표현하고 가동부의 질량

은 m 으로 하며 가동부의 변위를 $X(t)$ 로 모델링하여 이를 전달함수 $X(s)$ 로 표현하면 다음과 같다.

$$F(t) = mX(t) + D \dot{X}(t) + kX(t)$$

$$X(s) = \frac{1}{ms^2 + Ds + k} F(s) \quad (4)$$

여기서 $F(s)$ 는 전자기력에 의한 힘을 나타낸다. 제어기 설계 시 빠른 응답속도 보다는 정상

상태에서의 오차가 존재하지 않도록 퍼지 PI 제어기를 선택하였으며 모의시험 결과를 그림 13에서와 같이 얻을 수 있었다.

이미 설정된 입출력 소속 함수로 유전 알고리즘을 수행한 결과 그림 10과 그림 11에서와 같은 적합도 및 최적화된 퍼지 규칙을 얻을 수 있었으며 이때 사용된 변수는 그림 12에 나타내었다. 그림 11에서 얻어진 퍼지 규칙을 갖는 제어기를 최종 플랜트에 적용한 결과는 그림 13과 같은 출력 특성을 보였으며 여기서 볼 수 있듯이 충실히 기준 입력 1을 따라감을 확인할 수 있다.

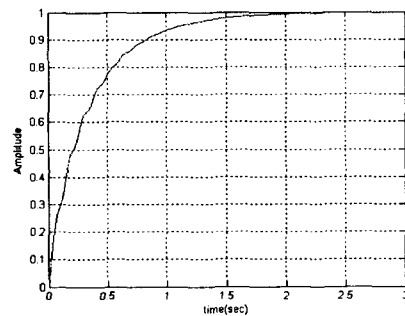


그림 13. 구동기의 출력

5. 결론

본 논문에서는 ODD의 광학헤드 구동기를 제어하기 위해 유전알고리즘을 이용하여 퍼지 모델의 규칙을 최적화 함으로써 새롭게 퍼지 PI 제어기를 설계하였다. 설계된 퍼지 PI 제어기를 플랜트에 적용하여 모의실험을 한 결과 입력값에 대한 출력이 원하는 대로 얻어짐을 확인하였다.

6. 참고 문헌

- [1] 삼성전자 OMS사업부, "ODD SERVO 기술," 2001.
- [2] 서동필, "콤팩트디스크와 플레이어," 동신출판사, 1994.
- [3] 삼성전자 OMS사업부, "광디스크 기술," 삼성전자.
- [4] T-H S. Li and M. Y. Shieh, "Design of a GA-based fuzzy PID controller for non-minimum phase systems," *Fuzzy Set and Systems*, vol 3. pp. 183-197, 2000.
- [5] J. Carvajal, G. Chen and H. Ogmen, "Fuzzy PID

- controller: design, performance evaluation, and stability analysis," *Information Science*, vol. 123, pp. 249-270, 2000.
- [6] 장욱, 손유석, 주영훈, 박진배, "비선형시스템의 퍼지 모델링에 관한 연구," *대한전기학회논문지*, vol. 47, pp. 826-834, 1998.
- [7] 이주상, 최진영, 박노철, 양현석, 박영필, "고배속 광 디스크 적용을 위한 외란 관측기 설계," *한국소음 진동공학회 춘계학술대회*, pp. 1170-1175, 2003.
- [8] J.Y. Yen, C.S. Lin, C.H. Li and Y.Y. Chen, "Servo controller design for an optical disk drive using fuzzy control algorithm," *Fuzzy System, IEEE International Conference*, pp. 989-997, 1992.