

유전알고리즘 기반 광디스크를 위한 퍼지 PI/PD제어기 설계

유 중화*, 주 영훈**, 박 진배*
 * 연세대학교 전기전자공학과, ** 군산대학교 전자정보공학부

Design of a Fuzzy PI/PD Controller Based on Genetic Algorithm for Optical Disk Drive

Jong Hwa Yu, Young Hoon Joo, and Jin Bae Park
 * Yonsei Univ, ** Kunsan Univ

Abstract - 본 논문에서는 유전알고리즘을 기반으로 하여 설계된 광 디스크 드라이브의 광학헤드 구동기용 퍼지 PI/PD 제어기를 제안한다. 본 논문에서 제안하는 제어기는 광디스크 드라이브의 광학헤드용 구동기의 포커싱 서보계, 트랙킹 서보계를 제어할수 있는 퍼지 제어기이며 유전알고리즘을 통해 최적의 퍼지 규칙을 도출한다. 그리고 이를 토대로 모의실험을 수행한다.

1. 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 광 디스크 드라이브(ODD: optical disk drive)가 상품화되기 시작했다. 그 후 오디오 뿐 아니라 컴퓨터의 프로그램과 정지 화상, 동화상 재생이 가능한 CD ROM계열이 상품화되면서 우리 생활 속에 깊숙이 자리잡게 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, 2].

본 논문에서는 퍼지 비례-적분제어기와 비례-미분 제어기 제어기를 설계한 뒤 두 제어기를 동시에 사용할 수 있도록 하고 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 동정한다. 마지막으로 제안된 알고리즘을 ODD의 광학헤드 구동기에 적용한다.

2. 본 론

이미 ODD에 퍼지 제어기를 적용하는 것은 다양하게 시도되었으나 본 논문에서는 퍼지 PI/PD 제어기를 설계하여 광학헤드 구동기 제어에 적용한다 [4, 5, 8]. 기본적인 퍼지 제어기의 퍼지 규칙은 그림1과 같이 표현될 수 있다.

R_r^P : If e is E^r AND de is ΔE^r , then CI is ΔU_{PI}^r
 ($r=1,2,3,\dots,n$)

R_r^D : If e is E^r AND de is ΔE^r , then CI is U_{PD}^r
 ($r=1,2,3,\dots,n$)

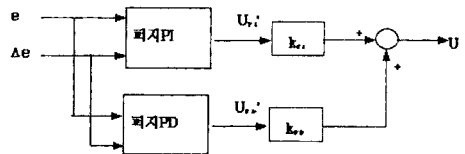


그림 1. 퍼지 PID제어기의 블록선도

여기서 e 는 플랜트 출력과 기준입력과의 오차를 의미하고 de 는 오차의 미분값이다. $E^r, \Delta E^r$ 은 입력값을 의미하고 ΔU_{PI}^r 은 플랜트로 입력되는 제어입력의 변화량을 나타낸다. 본 논문에서 설계하고자 하는 퍼지 PI/PD제어기는 그림 1과 같이 블록선도로 나타낼 수 있고 그 관계식은 다음과 같다.

$$U = k_{PI}U_{PI}^r + k_{PD}U_{PD}^r \quad (1)$$

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

3. 퍼지 PI/PD 제어기 설계

3-1. 퍼지 PI 제어기

퍼지 제어기의 입력은 최종출력의 e 와 오차의 변화량으로 표현되는 de 가 된다. 출력 ΔU_{PI}^r 은 플랜트로 입력되는 제어 입력의 변화를 의미한다. 퍼지 제어기의 설계 순서는 퍼지화, 퍼지 규칙, 비퍼지화 블록의 순으로 설계 되어진다 [1].

Step1: 퍼지화 추론

이 단계에서는 입력 소속 함수를 결정하며 입력 소속 함수는 그림 2, 3과 같이 결정한다. 입력 소속함수는 그림에서와 같이 삼각함수 타입으로 결정되었으며 범위 $[-1,1]$ 내에서 다섯 개의 삼각 함수를 가진다.

Step2: 퍼지 규칙 결정

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

- r1: If e is \bar{A}_1 and de is \bar{B}_1 , then CI is \bar{C}_1
- r2: If e is \bar{A}_2 and de is \bar{B}_2 , then CI is \bar{C}_2

⋮

- r25: If e is \bar{A}_{25} and de is \bar{B}_{25} , then CI is \bar{C}_{25}

여기서 CI 는 플랜트의 제어입력 신호이고 \bar{A}_r, \bar{B}_r 그리고 \bar{C}_r 는 퍼지 PI 제어기의 입력 및 출력 소속 함수의 값을 의미한다. 퍼지규칙 및 관련 파라미터는 플랜트가 최적의 값을 출력할 수 있도록 유전 알고리즘을 통해 결정된다.

Step3: 비퍼지화 결정

퍼지 PI 제어기의 출력 소속 함수는 그림 4와 같이 묘

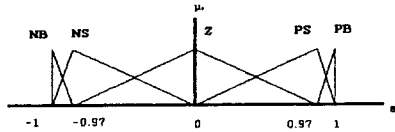


그림 2. 퍼지 PI 제어기 입력 e 의 소속 함수

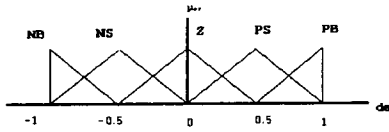


그림 3. 퍼지 PI 제어기 입력 de 의 소속 함수

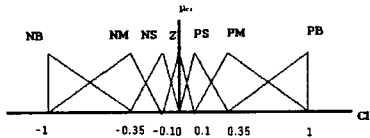


그림 4. 퍼지 PI 제어기의 출력 소속 함수

사된다. 비퍼지화 프로세스를 간단하게 하기 위해 입력, 출력 소속 함수는 모두 삼각함수 형태로 결정하였다. 입력 e 와 de 는 최소한 네 개의 입력 소속 함수에 영향을 미치게 된다. 위의 퍼지규칙에서 and 연산자는 두 입력 사이의 최소값을 취하는 것을 의미한다. 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 수행하며 다음과 같이 나타낸다.

$$C_1 = \frac{\sum \mu_{C_1} (\sum_{i=1}^k C_i / k)}{\sum \mu_{C_1}} \quad (2)$$

μ_{C_1} 는 각각 출력 함수값의 최대값을 의미하고 $\sum_{i=1}^k C_i / k$ 는 이 평균값을 의미한다. 따라서 퍼지 PI제어기의 최종 출력은 다음과 같이 주어진다.

$$U_{PI}^r(k+1)T = U_{PI}^r(k)T + \Delta U_{PI}^r(k+1)T \quad (3)$$

3-2. 유전 알고리즘을 이용한 제어기 최적화

본 논문에서 제시된 유전알고리즘 기반 퍼지 모델링은 임의로 초기화된 유전 개체들을 기본적인 유전 연산자들인 재생, 교차, 돌연변이 연산자에 의해 자식개체들을 생성하며 진화한다. 유전 연산자들을 통한 세대교체 시 최고의 적합도를 갖는 개체는 다음 세대에서 보존하는 이론을 적용하여 적합도 함수의 수렴을 보장한다[6].

Step 1: 앞에서 언급한 바와 같이 25개의 퍼지 규칙을 그림5와 같이 부호화한다. 유전알고리즘을 수행하는 데 있어 좀더 간단하게 하기 위해 여기서는 그림 5에서 보는 바와 같이 13개의 문자열만으로 알고리즘을 수행하고 대칭되는 부분은 여접함으로 다음과 같이 정의한다.

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

문자열은 또 각각의 소속 함수를 대표하는 숫자로서 아래 표현과 같이 각각의 소속 함수를 정수로 설정하여 진화시킬 수 있다.

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

Step2 : 적합도 함수는 다음과 같이 설정한다.

$$J_i = \sum_{k=1}^n w_k \text{abs}(e(k)), \quad i=1,2,\dots,n \quad (4)$$

$de \setminus e$	NB	NS	Z	PS	PB
NB	1	2	3	4	11
NS	5	6	7	12	10
Z	8	9	13	5	8
PS	10	12	7	6	3
PB	11	4	3	2	1

그림 5. 퍼지 규칙의 부호화 방법

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

여기서 w 는 가중치, n 은 개체수를 의미한다.

Step3 : 본 논문에서는 최대 세대수, 개체군수의 파라미터를 30, 60으로 설정하였다.

3-3. 퍼지 PD 제어기 설계

퍼지 PD 제어기의 설계 방법은 앞에서 보인 퍼지 PI 제어기와 유사하게 표현할 수 있다. 따라서 자세한 표현을 생략하기로 한다.

Step1 : 퍼지 PD제어기에서 적합도 함수는 다음과 같이 정의한다. 적합도 함수에 에러의 함 값만을 적용할 경우 정상상태에서의 에러를 보장할 수 없기 때문에 정상상태에서 에러나 발진이 발생할 수 있다. 그러므로 적합도 함수에 에러의 변화량(de)을 추가하고 반복되는 상수(k)를 곱해준다.

$$J_i = \sum_{k=1}^n \text{abs}(e(k)) + \text{abs}(de(k))k \quad (5)$$

Step2 : 입출력 소속 함수는 그림 6,7과 같이 결정한다. 7개의 삼각함수로 이루어진 소속 함수를 가지며 비퍼지화 방법은 퍼지 PI와 동일하게 이루어 질 수 있다. 여기서 $r(k)$ 는 시스템의 기준입력을 의미한다.

$$U_{PD}^r(k) = CI_crisp + r(k) \quad (6)$$

Step3 : 퍼지 PI에서의 방법과 동일한 방법으로 유전알고리즘을 수행하여 25개의 문자열로 구성된 퍼지 규칙을 그림과 같이 얻을 수 있다. 또 퍼지 PI제어기와 PD제어기는 서로 다른 시간상에서의 동작을 목적으로 결정되었으므로 제어기가 스위칭할 때 제어기 입력이 연속성을 가지도록 유지해줘야 한다. 따라서 제어기 입력을 식7과 같이 결정한다.

$$k_{PD} = \begin{cases} 0.5, & |e| > 0.9 \\ 0, & |e| < 0.9 \end{cases} \quad (7)$$

또 최종으로 시스템에 입력되는 제어기 출력은 식8과 같이 결정 될 수 있다.

$$U = k_{PI}U_{PI}^r + k_{PD}U_{PD}^r \quad (8)$$

여기에서 $k_{PI} = 1 - k_{PD}$.

4. 실험 결과

ODD는 광학헤드를 통해서 쏘아진 레이저빔을 디스크에 반사시키고 그 반사된 광 신호를 전기적 신호로 바꾸어 신호를 복조한 뒤 컴퓨터로 전달하는 역할을 한다.

디스크에는 피트(PIT)라고 하는 트랙을 따라 데이터가 형성되어 있는데 이 데이터가 있는 부분과 없는 부분을 반사정도에 따라 데이터를 복조하는 신호를 읽어내게 된다. 피트는 폭이 CD의 경우 $1.6 \mu\text{m}$ (DVD는 $0.74 \mu\text{m}$)로 형성되어 있는데 광학헤드에서 방사되는 레이저빔의 초점이 정확히 피트위에 투영될 수 있도록 포커스 방향과 트랙킹 방향으로 광학헤드의 구동기를 서보제어하여 가장 좋은 품질의 데이터를 읽어내도록 하고 있다. 이것을 각각 포커싱(focusing) 서보계, 트랙킹(tracking) 서보계라 하고 이외에도 원하는 위치의 데이터를 읽기 위

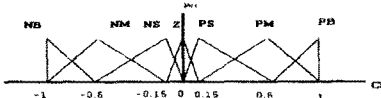


그림 6. 퍼지 PD 제어기의 출력 소속 함수

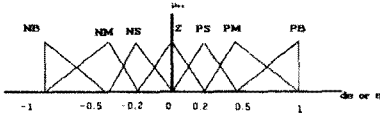


그림 7. 퍼지 PD 제어기의 입력 소속 함수

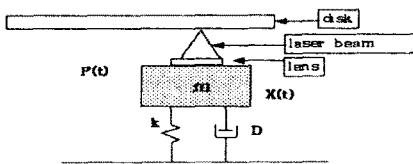


그림 8. 광학헤드 구동기의 구조

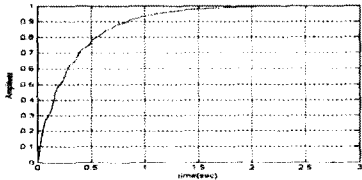


그림 9. 트래킹 구동기의 출력(퍼지PI제어기)

해 광학헤드 및 광학헤드의 구동계를 움직이는 시크(seek) 서보계, 디스크를 포함하는 회전계를 목표하는 회전수로 회전하도록 제어하는 회전 서보계가 있다. 초점방향 서보는 디스크 면에 대해 수직방향으로 디스크에 레이저의 초점이 정확히 맺히도록 하고 트래킹 방향은 레이저빔이 현재 추종하는 트랙을 벗어나지 않도록 그 트랙의 좌우방향을 조정하는 동작이다 [1, 2, 3, 7].

포커싱 서보계: 광디스크의 면진동량은 거의 일정 가속도로 간주해서 상당히 고주파 성분을 갖고, 또한 디스크가 안착되는 턴테이블에도 면진동이 존재하기 때문에 서보계로서는 진동과 디스크의 반사를 변동 등의 외란이 설령 존재하더라도, 광학헤드의 레이저빔의 초점이 디스크 기록면에 오도록 제어할 필요가 있다.

트래킹 서보계: 회전하고 있는 디스크 위의 트랙은 여러 가지 원인에 의해 트랙 흔들림을 일으키고 있다. 이 트랙 흔들림은 간단하게 디스크의 회전수에 동기한 주파수 성분만이 아닌, 고주파 성분을 갖고 있다. 이에 트래킹 서보계로서는 진동, 사용중인 디스크의 상태, 디스크의 반사를 변동, 온도 등의 외란이 있어도 레이저빔을 트랙 흔들림에 추종시킬 필요가 있다.

포커싱 서보계와 트래킹 서보계의 구동기의 수학적 모델은 그림 8과 같이 표현될 수 있다. 두 포커싱 서보계의 플랜트와 트래킹 서보계의 플랜트는 거의 비슷한 전달함수를 가진다. 이 모델에서 탄성계를 스프링 상수 k 와 점성 마찰계수 D 로 표현하고 가동부의 질량은 m 으로 하며 가동부의 변위를 $X(t)$ 로 모델링 하여 이를 전달함수 $X(s)$ 로 표현하면 다음과 같다.

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

$$X(s) = \frac{1}{ms^2 + Ds + k} F(s) \quad (9)$$

여기서 $F(s)$ 는 전자기력에 의한 힘을 나타낸다. 설계된 제어기에 의한 출력은 그림 9, 10에서와 같이 퍼지

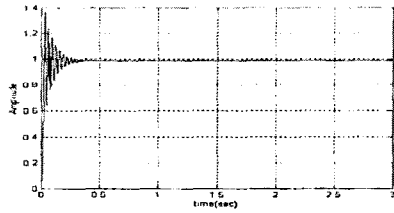


그림 10. 트래킹 구동기의 출력(퍼지PD제어기)

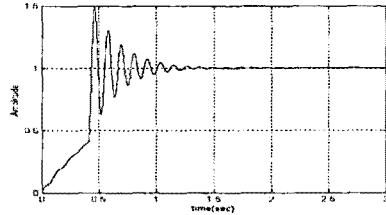


그림 11. 트래킹 구동기의 출력(퍼지 PI/PD제어기)

PI, 퍼지PD제어기의 출력을 확인할 수 있다. 이를 식 8과 같은 관계식으로 퍼지 PI/PD제어기의 성능을 확인한다. 퍼지 PI/PD제어기를 적용한 후 시스템의 최종 출력은 그림 11과 같이 퍼지 PI 제어기와 퍼지 PD제어기를 각각의 비중을 두어 적절하게 사용함으로써 퍼지 PI/PD제어기의 출력을 얻을 수 있으며 본 논문에서는 식 8과 같이 선택 그림 11의 결과를 도출하였다.

5. 결론

본 논문에서는 ODD의 광학헤드 구동계를 제어하기 위해 유전알고리즘을 이용하여 퍼지 모델의 규칙을 최적화함으로써 새롭게 퍼지 PI/PD 제어기를 설계하였다. 구동기의 포커싱 서보계 플랜트 및 트래킹 서보계의 플랜트 모델을 적용하여 설계된 퍼지 PI/PD제어기를 모의실험 해본 결과 기준 입력에 충실하게 따라가는 결과를 도출하였다.

본 논문은 한국과학재단의 목적기초연구사업(R01-2001-000-00316)에 의해 지원되었습니다.

[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, "고속 광디스크 적용을 위한 외란 관측기 설계," *한국소음진동공학회 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.