퍼지 및 지능시스템학회 논문지 2004, Vol. 14, No. 5, pp. 598-603

유전알고리즘을 이용한 Optical Disk Drive의 퍼지 PID 제어기 설계

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

유종화* · 주영훈** · 박진배*

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

* 연세대학교 전기전자공학과

** 군산대학교 전자정보공학부

요 약

광디스크에 저장된 데이터를 읽기 위한 광디스크 드라이브는 광학헤드 구동기의 포커싱 서보계와 트랙킹 서보계로 구성된다. 기존에 사용하는 지상-진상-진상 보상기는 시스템의 배속이 증가하면서 광학헤드의 구동기 제어가 점점 어려워지는 추세이다. 따라서 본 논문에서는 광학헤드 구동기 서보계 구현을 위하여 유전알고리즘 기반 퍼지 PID 제어 광학헤드 구동기 설계 기법을 제안한다. 제안된 광학헤드 구동기는 두개의 퍼지 PI, PD 제어 블록으로 구성되며 두제어기의 퍼지 규칙은 유전알고리즘을 사용하여 최적화된다. 구동기의 포커싱, 트랙킹 서보계의 플랜트 모델은 유사하므로 트랙킹 서보계의 모의실험만을 통하여 제안된 기법의 우수성을 보인다.

Abstract

An optical head actuator of an optical disk drive consists of two servo mechanisms for the focusing and the tracking to acquire data from disk. As the rotational speed of the disk grows, the utilized lag-lead-lead compensator has known to be above its ability for precisely controlling the optical head actuator. To overcome the difficulty, this paper propose a new controller design method for optical head actuator based fuzzy proportional-integral-derivative (PID) control and the genetic algorithm(GA). It employs a two-stage control structure with a fuzzy PI and a fuzzy PD control and is optimized by the GA to yield the suboptimal fuzzy PID control performance. It is shown the feasibility of the proposed method through a numerical tracking actuator simulation.

Key words : fuzzy PID controller, genetic algorithm, optical disk drive

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. CD는 고밀도의 기록 용량을 가지고 있으며 노이즈가 거의 없는 우수한 음질을 재생하면서 조작이 용이하고 비접촉 광학 방식으로 반영구적으로 사용가능한 장점들을 보유 하여 단 시일에 long play(LP)를 대치할 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 여유을 확보하기 위해 지상-진상-진상 (lag-lead-lead)보상기가 사용되고 있다 [1, 3].

본 논문에서는 퍼지 비례-적분-미분 제어기(PID)의 설계 방법을 제안한다. 광학헤드의 구동기의 안정화 제어기를

설계하는데 퍼지 제어 규칙의 전반부 및 후반부의 파라미터를 최적화하기 위해 유전알고리즘을 적용한다. 퍼지 제어 규칙을 설정하는데 있어 전문가의 경험과 지식, 혹은 시행착오법에 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 PID 제어기의 구조에 대해 설명하고, 3장에서는 퍼지 PID 제어기

접수일자 : 2004년 3월 18일
완료일자 : 2004년 7월 28일

설계방법을 제안한다. 4장에서는 제안된 제어기를 ODD에 적용하는 시뮬레이션을 수행하고, 마지막으로, 5장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

2. 퍼지 PID 제어기의 구조

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 2단계 퍼지 PID 제어기를 설계하여 ODD의 광학헤드 구동기 제어에 적용한다 [5, 8]. 본 논문에서 사용된 퍼지 제어기의 퍼지 규칙은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$R_r^{PI}: If\ e\ is\ E^r\ AND\ de\ is\ \Delta E^r,\ then\ CI\ is\ \Delta U_{PI}^r \quad (r=1,2,3.....,n)$$

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

여기서, e는 플랜트 출력과 기준입력과의 오차를 의미하고 de는 오차의 미분값이다. $E^r, \Delta E^r$은 입력값을 의미하고 ΔU_{PI}^r는 플랜트로 입력되는 제어입력의 변화량을 나타낸다. 본 논문에서 설계하고자 하는 퍼지 PID제어기는 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, U는 PI 제어기의 최종출력이고 U_{PI}^r은 퍼지 규칙의 출력을 의미하고 k_{PI}는 비례이득을 나타낸다.

3. 퍼지 PID 제어기 설계

3.1 퍼지 PI 제어기

퍼지 제어기의 입력은 최종출력의 e와 오차의 변화량으로 표현되는 d_e가 된다. 출력 ΔU_{PI}^r는 플랜트로 입력되는 제어입력의 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.

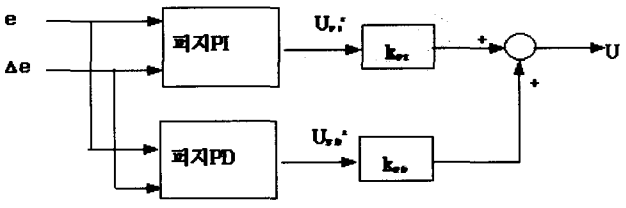

그림 1. 2 단계 퍼지 PID제어기의 블록선도
Fig. 1. The block diagram of the two-stage fuzzy PID controller

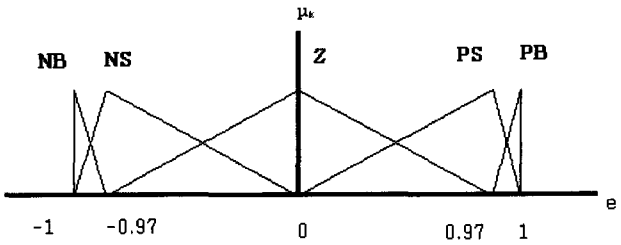

그림 2. 퍼지 PI 제어기 입력 e의 소속 함수
Fig. 2. The membership functions of e

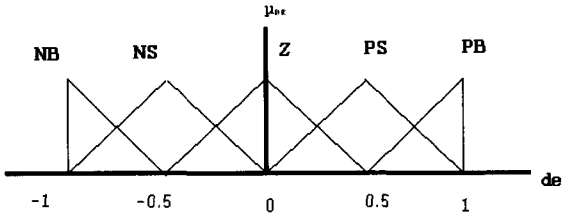

그림 3. 퍼지 PI 제어기 입력 de의 소속 함수
Fig. 3. The membership functions of de

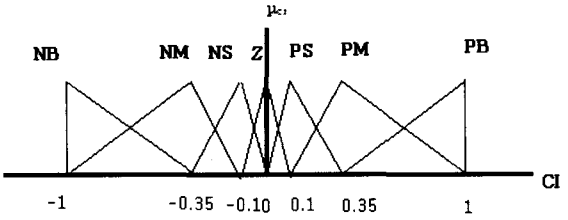

그림 4. 퍼지 PI 제어기의 출력 소속 함수
Fig. 4. The membership functions of fuzzy PI controller

Step2 : 퍼지 규칙 결정
위와 같이 입력 소속함수에 의해 만들어진 25개의 퍼지 규칙들은 다음과 같다.

r_1: *If e is* $\widetilde{A}_1$ and *de is* $\widetilde{B}_1$, *then CI is* $\widetilde{C}_1$
r_2: *If e is* $\widetilde{A}_2$ and *de is* $\widetilde{B}_2$, *then CI is* $\widetilde{C}_2$
⋮
r_{25}: *If e is* $\widetilde{A}_{25}$ and *de is* $\widetilde{B}_{25}$, *then CI is* $\widetilde{C}_{25}$

표 1. 25개의 퍼지규칙
Table 1. 25 fuzzy rules

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

여기서. CI는 플랜트의 제어입력 신호이고 $\widetilde{A}_i$, $\widetilde{B}_i$ 그리고 $\widetilde{C}_i$는 퍼지 PI 제어기의 입력 및 출력 소속 함수의 값을 의

미한다. 퍼지 규칙은 플랜트가 최적의 값을 출력할 수 있도록 유전 알고리즘을 통해 결정된다.

Stpe 3 : 비퍼지화 결정

퍼지 PI 제어기의 출력 소속 함수는 그림 4와 같이 묘사된다. 비퍼지화 프로세스를 간단하게 하기 위해 입력, 출력 소속함수는 모두 삼각함수 형태로 결정하였다. 입력 e와 de는 최소한 네 개의 입력 소속 함수에 영향을 미치게 되는데 예를 들면 $e\in[0.97,1]$이고 $de\in[0,0.5]$ 일 때 다음과 같이 4개의 규칙을 생각할 수 있다.

(1) *If e is PB* and *de is PS, then CI is* C_1)

(2) *If e is PB* and *de is Z, then CI is* C_2

(3) *If e is PS* and *de is PS, then CI is* C_3

(4) *If e is PS* and *de is Z, then CI is* C_4

여기서, and 연산자는 두 입력사이의 최소값을 취하는 것을 의미한다. 비퍼지화 과정은 주어진 입력에 대한 각 규칙의 전반부 적합도를 구한다. 이때, e와 de입력에 대한 적합도 값 중 작은 값을 정한다. 이때의 최종 추론 결과값들 중 최대값을 취해 이 값들로서 무게중심법을 이용하여 비퍼지화를 수행한다.

$$C_I = \frac{\sum_{j}^{i} \mu_{Cij} \left(\sum_{i=1}^{k} CI_i / k \right)}{\sum_{j}^{i} \mu_{Cij}} \tag{2}$$

여기서, μ_{Cij}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.

$$U_{PI}^{r}[(k+1)T] = U_{PI}^{r}(kT) + \Delta U_{PI}^{r}[(k+1)T] \tag{3}$$

3.2 유전 알고리즘을 이용한 제어기 최적화

유전 알고리즘은 주요한 현대 생물학적 사고의 하나로서 컴퓨터를 이용해 생물화적 진화를 묘사하는 최적화 기법이다. 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 세대교체시 최고의 적합도를 갖는 개체는 다음 세대에서 보존하는 이론을 적용하여 적합도 함수의 수렴을 보장한다 [6].

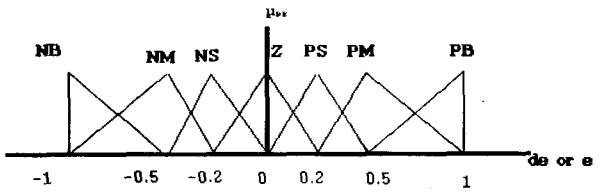

그림 5. 퍼지 PD 제어기의 입력 멤버쉽 함수

Fig. 5. The input membership functions for the fuzzy PD controller

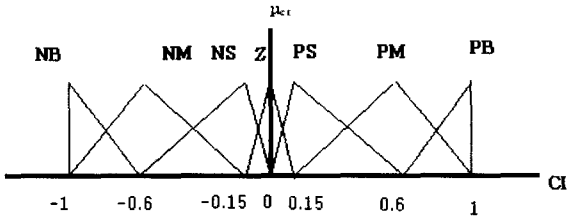

그림 6. 퍼지 PD 제어기의 출력 멤버쉽 함수

Fig. 6. The output membership functions of the fuzzy PD controller

Step 1 : 앞에서 언급한 바와 같이 사용된 퍼지 규칙은 표 1과 같이 25개의 규칙을 사용한다. 유전알고리즘을 수행하는데 있어 좀더 간단하게 하기 위해 여기서는 표 1에서 보는 바와 같이 13개의 문자열만으로 알고리즘을 수행하고 대칭되는 부분은 여집합으로 다음과 같이 정의한다.

{NB↔PB, NM↔PM, NS↔PS, Z↔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 진화시킬 수 있다.

{NB, NM, NS, Z, PS, PM, PB} -> {1,2,3,4,5,6,7}

Step 2 : 적합도 함수는 다음과 같이 설정한다.

$$J_i = \sum_{k=1}^{k} w * abs[e(k)], \quad i = 1,2,\ldots n \tag{4}$$

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

여기서, w는 가중치를 n은 개체수를 의미한다.

Step 3 : 기본적인 초기 파라미터인 최대 세대수, 개체군수를 결정하고 교차율, 돌연변이율을 정한다. 본 본문에서는 세대수는 30, 개체수는 30, 교차율은 0.8, 그리고 돌연변이율은 0.2를 사용한다.

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.

그림 7. 광학헤드

Fig. 7. The optical head

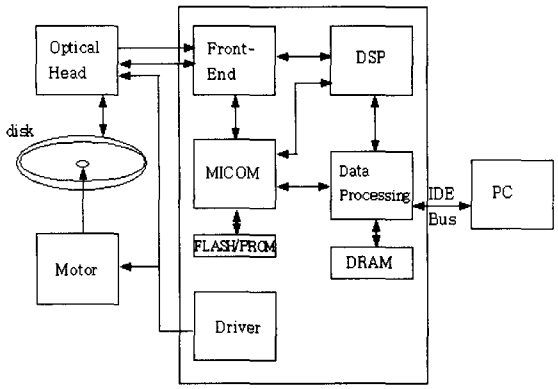

그림 8. ODD의 기본 블록선도
Fig. 8. The block diagram of ODD

Step 1 : 퍼지 PD제어기에서 적합도 함수는 다음과 같이 정의한다. 적합도 함수에 에러의 합 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.

$$J_i = \sum_{k=1}^{k} abs[e(k)] + abs[de(k)]k \tag{5}$$

Step 2 : 입출력 멤버쉽 함수는 그림5, 6과 같이 결정한다. 8개의 삼각함수로 이루어진 멤버쉽 함수를 가지며 비퍼지화 방법은 퍼지 PI와 동일하게 이루어 질 수 있다. 여기서 r(k)는 시스템의 기준입력을 의미한다.

$$U^{r}_{PD}(k) = CI_crisp + r(k) \tag{6}$$

Step 3 : 퍼지 PI에서의 방법과 동일한 방법으로 유전알고리즘을 수행하여 25개의 문자열로 구성된 퍼지 규칙을 그림과 같이 얻을 수 있다. 또 퍼지 PI제어기와 PD제어기는 서로 다른 시간 상에서의 동작을 목적으로 결정되었으므로 제어기가 스위칭할 때 제어기 입력이 연속성을 가지도록 유지해주어야 한다. 따라서 제어기 입력을 다음과 같이 결정한다. 본 본문에서는 세대수는 30, 개체수 30, 교차율 0.8, 그리고 돌연변이율은 0.2를 사용한다.

$$k_{PD} = \begin{cases} 0.7, & |e| > 0.9 \\ 2-20y, & 0.8 < |e| < 0.9 \\ 0, & |e| < 0.8 \end{cases} \tag{7}$$

마지막으로, 시스템에 입력되는 제어기 출력은 다음과 같이 결정 될 수 있다.

$$U = k_{PI}U^{r}_{PI} + k_{PD}U^{r}_{PD} \tag{8}$$

여기서, $k_{PI} = 1 - k_{PD}$

4. 시뮬레이션 및 결과 고찰

ODD는 그림 7과 같이 디스크를 장착할 수 있는 메카니즘 부분과 광학 헤드 부분(붉은색 원안) 그리고 전기적인 동작을 수행하는 회로부분으로 구성되어있는데 이것의 전체적인 블록선도는 그림 8과 같이 주어진다. 그림 9는 광학헤드 부분을 보여주는데 레이저다이오드,렌즈, 포토다이오드 등의 부품들로 구성이 되어 있으며 붉은색 사각형 안에서 보여주는

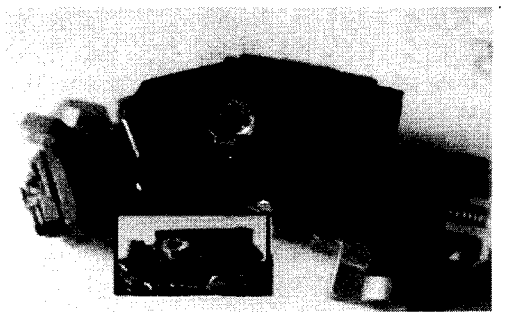

그림 9. 광학헤드의 구동기
Fig. 9. The actuator of the optical head

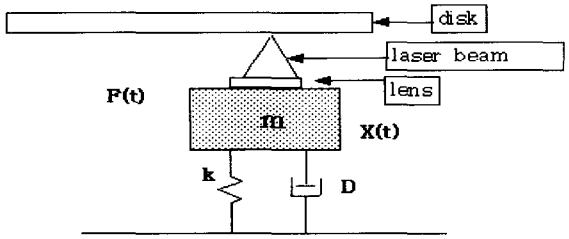

그림 10. 광학 헤드 구동기의 구조
Fig 10. The actuator mechanism system of the optical head

것이 광학헤드의 구동기를 확대한 부분이다. 위의 구동기는 4개의 와이어를 이용하여 서보 동작을 수행하며 이것으로 렌즈를 디스크에 초점이 잘 맺히도록 조정해주는 역할을 한다.

그림 7-9에서 보여지는 실제 ODD는 광학헤드를 통해서 쏘아진 레이저빔을 디스크에 반사시키고 그 반사된 광 신호를 전기적 신호로 바꾸어 신호를 복조한 뒤 컴퓨터로 전달하는 전체구조는 그림 10에 나타난다. 광 디스크 드라이브는 레이저의 초점부근을 디스크 기록면에 유지시켜 목표 디스크의 데이터 트랙으로 레이저 빔 초점을 이동시키고 더욱이 초점을 트랙에 추종시키기 위한 제어계를 갖고 있다. 이것을 각각 포커싱(focusing) 서보계, 트랙킹(tracking) 서보계라 하고 이외에도 원하는 위치의 데이터를 읽기 위해 광학헤드 및 광학헤드의 구동계를 움직이는 시크(seek) 서보계, 디스크를 포함하는 회전계를 목표하는 회전수로 회전하도록 제어하는 회전 서보계가 있다 [1-3].

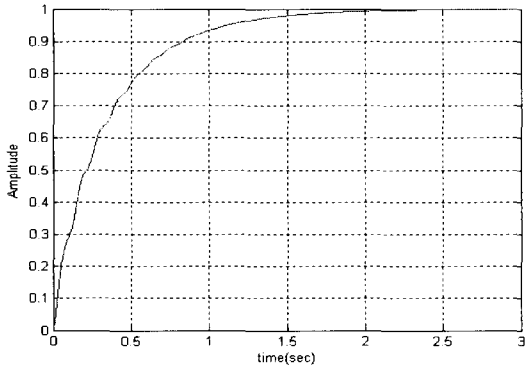

그림 11. 트랙킹 구동기의 출력(퍼지PI제어기)
Fig 11. The output of tracking actuator (fuzzy PI controller)

포커싱 서보계 : 광디스크의 면진동량은 거의 일정 가속도로 간주해서 상당히 고주파 성분을 갖고, 또한 디스크가 안착되는 턴테이블에도 면진동이 존해하기 때문에 서보계로서는 진동과 디스크의 반사율 변동등의 외란이 설령 존재하더라도, 광학헤드의 렌즈에서 사출되는 레이저빔의 초점이 디스크 기록면에 오도록 제어할 필요가 있다. 그림 9에서 렌즈를 중심으로 좌우로 움직이는 동작을 수행한다.

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 트랙킹 서보계로서는 진동, 사용중인 디스크의 상태, 디스크의 반사율 변동, 온도등의 외란이 있어도 레이저 빔을 트랙 흔들림에 추종시킬 필요가 있다. 그림 8에서 렌즈를 중심으로 위아래로 움직이는 동작을 수행한다.

앞에서 설명한 바와 같이 디스크에는 피트(PIT)라고 하는 트랙을 따라 데이터가 형성이 되어 있는데 이 데이터가 있는 부분과 없는 부분을 반사정도에 따라 데이터를 복조하는 신호를 읽어내게 된다. 피트는 폭이 CD의 경우 1.6 μm (DVD는 0.74 μm)로 형성되어 있는데 광학헤드에서 방사되는 레이저빔의 초점이 정확이 피트위에 맺힐 수 있도록 포커스 방향, 트랙킹 방향으로 광학헤드의 구동기를 서보제어하여 가장 좋은 품질의 데이터를 읽어내도록 하고 있다. 초점방향 서보는 디스크 면에 대해 수직방향으로 디스크에 레이저의 초점이 정확히 맺히도록 하고 트랙킹 방향은 레이저 빔이 현재 추종하는 트랙을 벗어나지 않도록 좌우 방향을 조정하는 동작이다 [1-3, 7].

포커싱 서보계와 트랙킹 서보계의 구동기의 수학적 모델은 그림 10과 같이 표현될 수 있다. 두 포커싱 서보계의 플랜트와 트랙킹 서보계의 플랜트는 거의 비슷한 전달함수를 가지며 이것을 표현하면 식 (9)에서와 같이 표현할 수 있다. 이 모델에서 탄성계를 스프링 상수 k와 점성 마찰계수 D로 표현하고 가동부의 질량은 m으로 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. 제어기 설계 시 빠른 응답속도 보다는 정상 상태에서의 오차가 존재하지 않도록 퍼지 PI 제어기를 먼저 모의실험을 통해 구한다. 얻어진 퍼지 PI 제어기를 적용한 후 시스템의 최종 출력은 그림 11과 같이 주어진다. 또 이와 동일한 방법으로 퍼지 PD 제어기를 구한 뒤의 퍼지 PD제어기를 적용한 후 시스템의 출력은 그림 12와 같이 얻어졌다. 퍼지 PI 제어기는 정상상태 오차 없이 충실히 입력값을 따라가는 결과를 보였고 퍼지 PD 제어기는 빠른 시간 내에 기준입력으로 추종하려는 성능결과를 보여주었다. 이를 식 (8)과 같은 조건으로 퍼지 PID 제어기의 성능을 확인한다. 퍼지 PID제어기를 적용한 후 시스템의 최종 출력은 퍼지 PI 제어기와 퍼지 PD제어기를 각각의 비중을 두어 적절하게 사용함으로서 퍼지 PID제어기의 출력을 얻을 수 있으며 본 논문에서는 식 (7)을 이용하여 그림 13의 결과를 도출하였다.

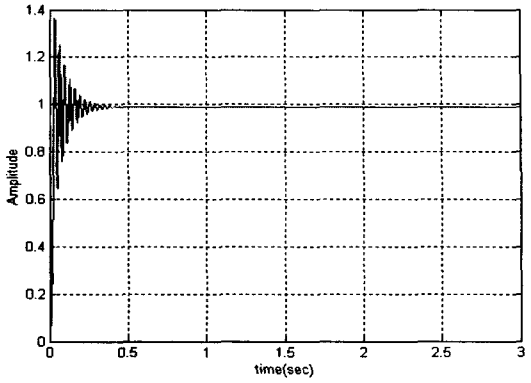

그림 12. 트랙킹 구동기의 출력(퍼지PD제어기)
Fig. 12. The output of the tracking actuator (fuzzy PD controller)

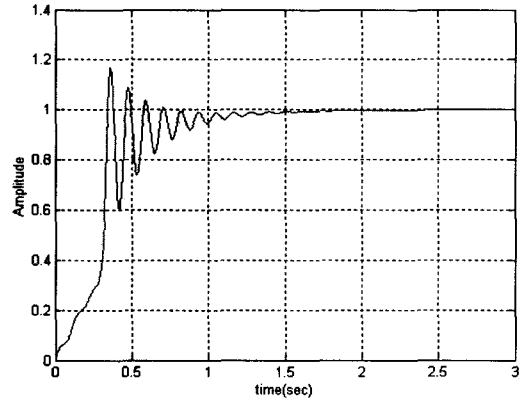

그림 13. 트랙킹 구동기의 출력(퍼지 PID제어기)
Fig 13. The output of tracking actuator (fuzzy PID controller)

5. 결 론

본 논문에서는 ODD의 광학헤드 구동기를 제어하기 위해 유전알고리즘을 이용하여 퍼지 모델의 규칙을 최적화 함으로써 새롭게 퍼지 PID 제어기를 설계하였다. 시스템 배속이 빨라지고 외란이 증가하는 상황에서 기존에 사용하는 지상-진상-진상 보상기가 아닌 비선형 퍼지 PID제어기의 필요를 느꼈으며 이에 퍼지 PI, 퍼지 PD 제어기 두 블록으로 구성된 제어기를 설계하였다. 퍼지 PI 제어기는 정상상태 오차 없이 기준입력을 따라가는 성능을 보였으며 퍼지 PD제어기는 빠른 시간의 응답특성을 보였다. 이것을 적절한 방법으로 두 개의 블록을 조합함으로써 최종 플랜트의 출력을 얻을 수 있었다.

향후 과제로는 시스템에 실제 적용함에 있어 시스템의 온도 특성이나 외란에 의해 플랜트의 미세한 변화에도 적응할 수 있는 적응형 퍼지 PID 제어기의 개발도 필요하다.

참 고 문 헌

[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 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.

저 자 소 개

유종화(Jong Hwa Yu)
1997년 : 아주대학교 제어계측공학과 졸업
2003년-현재 : 연세대학교 전기전자공학과 석사과정
1997년 2월-현재 : 삼성전자 OMS사업부 선임연구원

관심분야 : 퍼지 PID 제어기, 유전알고리즘, 지능시스템 설계

Phone : 02-2123-2773
Fax : 02-362-4539
E-mail : yjhwa@control.yonsei.ac.kr

주영훈(Young Hoon Joo)
제 14권 3호(2004년 6월호) 참조

박진배(Jin Bae Park)
제 14권 3호(2004년 6월호) 참조