

GA를 이용한 비선형 다변수시스템의 PID제어

서강민*, 안정훈**, 강문성**
 * 주성대학 SATIC, ** 청주대학교 전자공학과

PID Control for Nonlinear Multivariable System using GA

Seo Kang-Myun*, An Jung-Hoon**, Kang Moon-sung**
 * Juseong Coll., ** Chongju Univ.

※ 본 연구는 과학기술부·한국 과학재단 지정 청주대학교 정보통신연구센터의 지원에 의한 것입니다.

Abstract - In this paper, PID control method using genetic algorithm to control the nonlinear multivariable system is presented. Genetic algorithms are global search techniques for nonlinear optimization. For experiment, the x-y rod balancing system with driver circuit board is fabricated. Experiments such as angle and position control for system are performed. The validity and control performance of the GA-based PID controller are confirmed by experimental results.

1. 서론

오늘날 제어분야에 대한 많은 이론이 연구되고 있으나 실제 제어기에 적용하는 데는 많은 제약이 따른다⁽¹⁾⁽²⁾. 이러한 이유로 비교적 구조가 단순하여 구현이 용이하고 제어 특성도 우수한 PID제어기는 제어분야에 많이 사용되고 있다⁽³⁾. PID제어기의 계수 결정방법은 다양하게 제안되어 왔으나 운전자의 경험이나 지식에 기반되었다 하더라도 계수 설정을 위한 많은 시간이 필요하고 시스템의 종류에 따라 제어 성능에 많은 차이를 보이고 있다. 반면 GA(Genetic Algorithm)는 최적화 문제에 PID튜닝과 같은 분야에 효과적으로 활용할 수 있으며 미분불가능이나 비선형과 같은 문제에서 강인한 특성을 가지는 것으로 알려져 있다⁽⁴⁾⁽⁵⁾.

본 논문에서는 생물의 유전자 진화론에 근거한 확률적인 최적치 탐색기법인 유전 알고리즘을 이용한 P, I, D 계수 튜닝기법을 도입하였다. 유전알고리즘은 1962년 Holland에 의하여 소개된 적자생존의 법칙에 기반을 둔 최적화 이론으로서, 재생산, 교배, 돌연변이등의 연산자로 구성된다.⁽³⁾

본 논문에서는 GA에 의해 구해진 P, I, D계수를 이용하여 PID제어기를 PC상에서 구현하여 I/O보드를 통해 실시간처리가 가능하도록 구현하였다. 또한 제안된 제어기 설계방법의 타당성 검증 및 제어성능 확인을 위해 비선형 다변수 시스템인 X-Y Rod Balancing System에 적용하여 진자의 각도와 대차의 위치를 동시에 제어하는 실험을 수행하였다.

2. Rod Balancing System

2.1 시스템 개요 및 구성

Rod Balancing System은 그림 1.에서 보는 바와 같이 대차에 진자가 달려있어 힘을 가하게 되면 대차가 이동하고, 이 이동 때문에 진자의 운동에 영향을 주게 되는 시스템이다. 아래 식(1)과 식(2)에서 보듯이 시스템의 출력이 진자의 운동각과 대차의 이동 위치인 다변수 시스템이다. 여기서 F는 시스템의 입력인 힘, x는 대차의 이동거리, 그리고 θ 는 진자의 각도를 나타낸다.

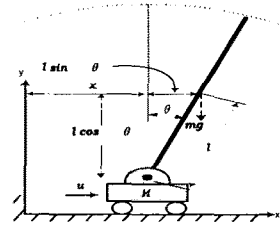


그림 1. Rod Balancing System

$$\sum F: M\ddot{x} + b\dot{x} + m\ddot{x}_C = u \tag{1}$$

$$\sum M: m\ddot{x}_C l \cos \theta - m\ddot{y}_C l \sin \theta = mgl \sin \theta \tag{2}$$

실험을 위해 제작한 X-Y Rod Balancing System은 그림 2.에 나타나 있다. 이 시스템은 0.8 m × 0.7 m의 크기로 LM가이드를 이용하였으며, 그림과 같이 진자, 각도감지/위치 감지 포텐서미터, 모터 타이밍벨트로 구성되어 있다. 따라서 모터의 출력이 타이밍 벨트에 의해 진자가 얹혀져 있는 대차로 전달되어 레일 위를 움직이며, 이 움직임은 모터의 반대편에 있는 포텐서미터에서 감지하게 된다. 또한 진자의 각도는 진자에 연결되어 있는 포텐서미터에 의해 감지된다.

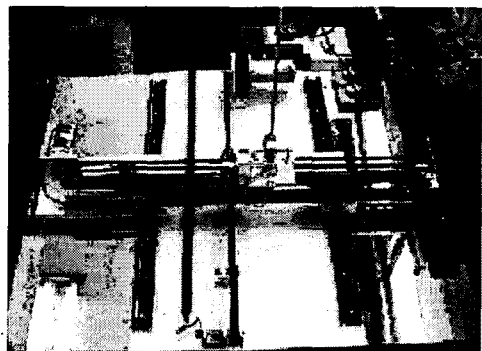


그림 2. 제작한 Rod Balancing System

표1.에 시스템의 각 파라미터 값을 나타내었다.

표 1. 시스템 파라미터

파라미터	X축	Y축
Cart 질량(M)	0.96 kg	11 kg
진자 질량(m)	0.46 kg	0.8 kg
진자 길이(l)	0.47m	0.5m
중력 가속도(g)	9.8m/sec ²	9.8m/sec ²

2.2 모터구동장치

모터를 제어하기 위하여 모터구동장치를 제작하였으며, 그림 3.에 나타내었다. 이 구동장치는 제어기(PC)에서 연산을 수행할 계측부와 연산된 값을 PWM 변환 후 모터에 전달하는 PWM 변환부로 구성된다.

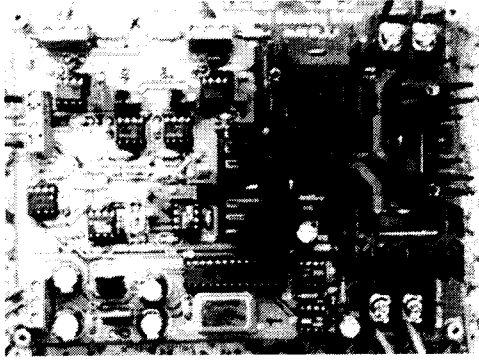


그림 3. 제작한 모터구동장치

2.2.1 계측부

각도 및 위치 계측부는 각각 1턴 1KΩ와 10턴 10KΩ의 포텐서미터를 사용하였으며, 계측전압은 최대 ±10V까지 변화시킬 수 있다. Rod가 수직일 때를 0V를 기준으로 좌우로 기울어짐에 따라 전압이 변화하며 실험에서는 ±15°일 때 ±4V로 제한하여 실험을 하였다. 대차가 LM가이드의 중심에 있을 때를 0V, 양 끝단에 위치할 때를 ±10V로 설정하고 대차의 이탈을 방지하기 위하여 9V일 때 PWM 출력전압을 끊어주는 이탈방지 기능이 있다.

2.2.2 PWM출력부

출력부의 입력전압은 ±10V이며, 입력 전압에 따라 Duty비를 조절하여 주파수가 3KHz인 PWM신호를 만들어 모터에 인가한다. 모터가 정·역회전을 할 수 있도록 정·역 판별회로를 구성하였으며, 정·역시 모터의 단락을 방지하기 위하여 Off Margin(±0.1V)를 주었다.

2.2.3 I/O Board 사양

PC와 모터구동장치의 인터페이스를 위하여 사용된 I/O 보드(RG-IO3)는 IBM-PC의 PCI슬롯에 장착하였다. 이 I/O 모드에서 X-Y축을 제어하는데는 각각 Analog Input 2ch과 Analog Output 1ch를 사용하였다.

3. GA를 이용한 PID 계수 설정

PID제어기로 구성된 단위피동제어시스템의 제어입력 을 이산형으로 표현하면 (3)식과 같다.

$$u(kT) = u((k-1)T) + (K_p + K_I T + \frac{K_D}{T})e(kT) - (K_p + \frac{2K_D}{T})e((k-1)T) + \frac{K_D}{T}e((k-2)T) \quad (3)$$

먼저, 유전자 알고리즘을 적용하여 PID계수 설정하기 위하여 K_p , K_I , K_D 를 각각 n개의 2진수로 표현하여 개체를 생성한다.

$$1010110\cdots 11 \quad | \quad 1010110\cdots 11 \quad | \quad 1010110\cdots 11$$

$$K_p \quad \quad \quad K_I \quad \quad \quad K_D$$

따라서 개체의 총 길이는 3n이 되며, 각 계수는 탐색구간이 $K_p \in [0, K_{pm}]$, $K_I \in [0, K_{Im}]$, $K_D \in [0, K_{Dm}]$ 으로 주어지며, 2진수열로 표현되는 각 계수는 이 구간 내에서 상응하는 10진수의 값으로 변환된다.

한편, 최적화하기 위한 제어시스템의 성능함수는 다음 식(4)으로 기술되는 하중절대편차적분(ITAE, Integral of time-multiplied absolute value of error)을 이용한다.

$$\int_0^{\infty} |e(t)| t dt \quad (4)$$

그런데, 유전자 알고리즘에 있어서 적합도함수로서는 성능함수의 역수를 취함으로써 식(5)의 최대화함수로 변환한다.

$$FitFun = \frac{1}{\int_0^{\infty} |e(t)| t dt} \quad (5)$$

그리고 선택규칙으로는 roulette 선택기법을 채용하며, 교차는 K_p , K_I , K_D 각 계수에 대해서 1점 교차(one-point crossover), 즉 각 개체에 대하여 3점에서 교차가 교차확률에 따라 발생되도록 한다.

본 논문은 진자를 수직으로 세우고 대차의 위치가 중심으로 이동시키는데 목적이 있으므로 실제 제어기(PC)는 X-Y축 각각에 대한 각도 및 위치를 동시에 제어하기 위한 PID 계수를 설정하여 시스템에 적용시켰다.

4. 실험 및 결과 검토

실험은 GA를 이용하여 구해진 P,I,D계수 값을 PID 제어기에 적용하였다. GA를 실험하기 위한 각 변수는 1) 개체의 총길이 : 66 (22×3), 2) 계산종료시까지의 세대수 : 200, 3) 개체집합의 크기(개체수) : 60, 4) 교차확률 : 0.25, 5) 돌연변이확률 : 0.01로 설정하였다. 또한 P, I, D계수의 탐색영역은 X축 $K_p \in [0, 20]$, $K_I \in [0, 30]$, $K_D \in [0, 0.05]$, $K_{I2} \in [0, 4]$, $K_{D2} \in [0, 0.2]$, $K_{D3} \in [0, 0.05]$, Y축은 $K_{p1} \in [0, 20]$, $K_{I1} \in [0, 30]$, $K_{D1} \in [0, 0.05]$, $K_{I2} \in [0, 4]$, $K_{D2} \in [0, 0.2]$, $K_{D3} \in [0, 0.05]$ 으로 설정하였다.

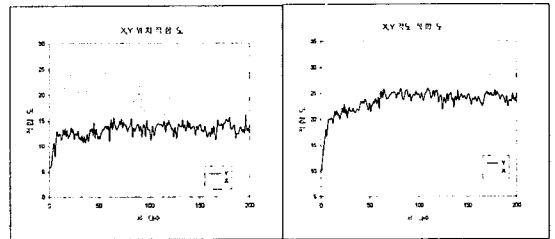


그림 4. 진화에 따른 적합도 변화

그림 4.에서 최적 P, I, D계수를 구하기 위한 진화에 따른 적합도의 변화특성을 나타내었으며 이때 구해진 X-Y축 최적 P,I,D계수는 표 2.의 좌측값을 얻었다. 최적계수의 추출은 같은 세대에서 적합도가 다른 세대보다 높다고 판단되는 세대의 계수를 설정하였다.

표 2. X-Y축 PID 계수

항		K_p		K_I		K_D	
X축	각도	1.7	5.5	10.5	18	0.05	0.046
	위치	1.63	3.5	0.5	0.5	0.004	0.003
Y축	각도	5.4	9	38	30	0.5	0.002
	위치	4.1	4.5	2.5	3.5	0.008	0.001

그림 5.에 실시간 제어를 위해 PC에서 상용 소프트웨어

어인 SIMTool을 사용하여 구현한 PID제어기 구성도를 나타내었다. 실험대상 시스템이 SIMO시스템이기 때문에 X축, Y축 각각에 대해 2개씩의 PID제어기를 구성하여 합성하였다.

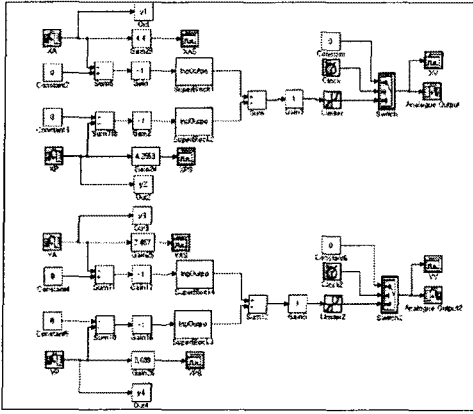


그림 5. PID 제어기 구성도

그림 6.은 GA를 이용하여 구해진 P, I, D계수를 초기값으로 이용하여 몇번의 시행착오적인 실험을 통해 조정된 계수를 사용하여 진자의 초기각도가 각각 X축 15°와 Y축 10°인 실제의 X-Y Rod Balancing System에 적용한 출력특성이다.

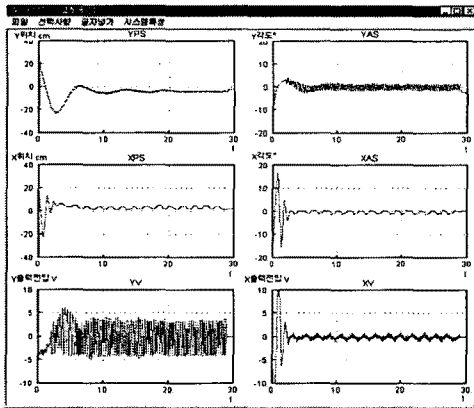


그림 6. GA-based PID제어기에 의한 출력특성

GA를 이용해 얻은 제어기 계수값을 적용하여 실험한 결과 정상상태오차가 비교적 큰값을 갖는 것으로 나타나 반복실험을 통해 계수값을 조정하였다. 이와같이 정상상태오차가 크게 나타나는 것은 실제 시스템과 시뮬레이션 시 적용한 모델, 즉, 대차의 마찰계수나 X축과 Y축 사이의 간섭효과 혹은 관성 등을 고려하지 않아 생기는 모델링오차에서 기인하는 것으로 보인다. 표 2.의 각 계수의 우측값이 실험을 통해 조정된 값이다. 그림에 나타난 것과 같이 계수가 조정된 PID제어기의 출력은 각도와 위치 약간의 진동은 있으나 모두 5초 이내에 원하는 출력값으로 수렴함을 알 수 있다.

그림 7.은 정상 상태에서 인위적인 외란을 가한 경우의 각도와 위치의 출력특성을 나타낸 그림이다. 외란은 손으로 진자에 순간적으로 물리적인 힘을 가하여 측정하였다. 그림에 나타난 것과 같이 진자와 대차 모두 원하는 위치로 빠른 시간에 수렴함을 볼 수 있다.

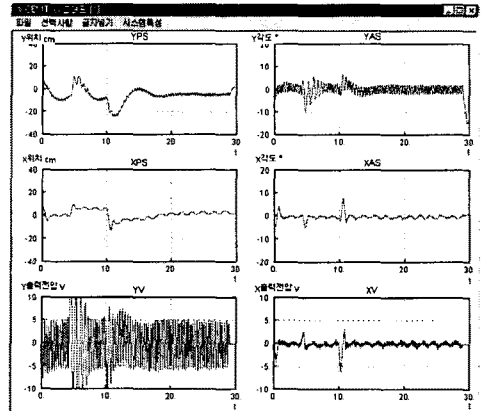


그림 7. Rod Balancing System의 외란 실험

실험결과 GA기법이 PID제어기 설계에 대단히 효과적인임을 확인할 수 있었다.

5. 결 론

본 논문에서는 대표적인 다변수 비선형시스템인 X-Y Rod Balancing System를 제어하기 위해 확률적 탐색 기법인 유전자 알고리즘을 이용하였다. GA를 이용하여 구해진 P, I, D계수를 초기값으로 이용하여 반복실험을 통해 제어기 계수값에 변화를 주어 실제 시스템인 Rod Balancing System에 적용하여 실험하였다. GA를 이용하여 얻은 초기 계수값을 이용하여 실험한 결과에서는 정상상태오차가 크게 나타났으나 제어기 계수값을 조정하여 실험한 결과에서는 각도와 위치 모두 오차가 현저하게 줄어들음을 알 수 있었다. 결과적으로 GA를 이용하여 얻은 계수값과 조정된 계수값을 사용하였을 때 나타나는 성능차는 GA시뮬레이션 시 사용한 모델과 실제 시스템과의 모델링 오차에 기인한 것으로 보이며, 앞으로 이러한 문제점을 해결하기 위한 연구가 계속되어야 할 것으로 사료된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 정승, 임선빈, "신경회로망을 이용한 비선형 시스템 제어의 실험적 연구", 제어·자동화·시스템공학 논문지 제7권 제 11호, 2001.
- [2] 임윤규 외 2인, "불안정한 다변수 시스템에 대한 퍼지 학습제어", 제어·자동화·시스템공학 논문지 제5권 제 7호, 1999.
- [3] Yasue Mitaukura 외 2인, "A Design of Self-Tuning PID Controller using a Genetic Algorithms, Proceedings of ACC, 1999.
- [4] David E. Goldberg, "GENETIC ALGORITHMS", Addison Wesley, 1989.
- [5] Katsuhiko Ogata, "MODERN CONTROL ENGINEERING", Prentice Hall, 1997