

## 도립진자를 위한 유전 알고리즘과 PID제어기에 관한 연구

편강오, 장성환  
원광대학교 전기공학과

### A study of Genetic algorithms and PID controller for Inverted pendulum

Kang-O Puyn, Sung-Whan Jang  
Electrical Engineering Wonkwang University

**Abstract** - 본 연구에서는 로켓이나 보행로봇의 기본이 되는 도립진자 제어를 위한 새로운 강인한 PID제어기가 제시된다. 도립진자의 PID제어기 파라미터가 제어환경에 용이하게 결정될 수 있도록 MATLAB 프로그램을 이용한 새로운 시스템을 구현하였다. 도립진자 자세제어 성능을 향상시키기 위한 유전알고리즘을 활용한 PID제어기 개발로 우수한 응답 특성을 얻을 수 있었다.

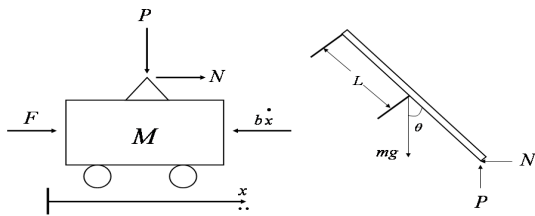
#### 1. 서 론

오늘날 제어분야에 있어서 디지털 컴퓨터의 발달 및 다양한 이론의 확립에 힘입어 다양한 제어 방식이 개발되어 왔으나 실제 제어대상 시스템에 제어 방식을 적용하여 제어를 설계하기 위해서는 먼저 제어대상 시스템의 동특성 수학적 모델을 구축하여야 한다. 하지만 제어대상 시스템은 일반적으로 비선형 특성을 가지고 있기 때문에 동적 특성을 정확히 기술하기란 매우 어려운 일이다.[1] 그 중 하나가 도립진자 제어이다. 도립진자 시스템은 cart와 pendulum으로 구성되어 있으며 가운데 축을 중심으로 pendulum이 cart의 중심에 경첩 되어 있다. 진자의 운동은 연직상에서 불안정한 상태가 되므로 제어력이 가해지지 않으면 어느 방향으로든지 넘어지는 불안정한 시스템이다. 이러한 도립진자 시스템에서 제어 목적은 cart를 rail상의 중심부에 오게 하고 그 위치에서 진자를 수직위치의 불안정 평형점에 위치하도록 하는 것이다. 도립진자를 제어하는 방법들은 많이 연구되어 왔다. 예를 들면 신경회로망, 퍼지제어 알고리즘, robust제어, 비선형제어 등이 있다. 최근에는 유전 알고리즘을 기반으로 최적의 계수를 구하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 유전 알고리즘은 유전학과 자연도태 현상을 알고리즘으로 구현한 것으로, 구배에 기초한 탐색 알고리즘과는 달리 연속성, 미분가능성, 단봉성과 같은 부가정보를 요구하지 않기 때문에 성공적으로 이용되고 있다. 본 연구에서는 유전 알고리즘을 이용하여 PID 각 계수를 조정함으로써 도립진자 제어 모델링과 컴퓨터 시뮬레이션으로 PID 각 계수 값을 유전자 알고리즘을 응용하여 최적화 하였다.[2-4]

#### 2. 본 론

##### 2.1 도립진자 모델링

도립진자 모델링은 <그림 1>과 같다.



<그림 1> 도립진자의 모델링

도립진자의 수학적 모델링을 세우기 위한 파라미터는 <표 1>과 같다.

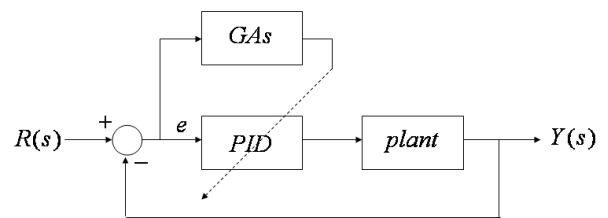
<표 1> 모델링 파라메타

F	cart에 가해지는 외력
M	cart의 질량
m	pendulum의 질량
J	pendulum의 관성모멘트
b	마찰계수
L	pendulum 무게 중심에서의 길이

##### 2.2 유전 알고리즘과 PID 제어기

평가함수는 시스템에 있어서 적합한 유전자 인가를 평가할 수 있는 적합도 함수이며, 교배율은 한 개의 부모와 다른 부모와의 교배될 확률을 나타내며, 돌연변이율은 새로운 형질을 제공하고 자연선택을 통하여 일정하게 사라져가는 유전적 변이를 공급하여 조기에 수렴하는 현상을 방지하기 위한 확률이다.

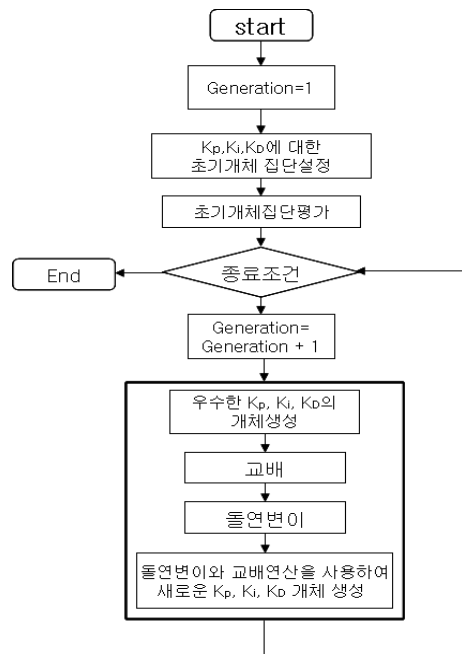
<그림 2>는 유전 알고리즘과 PID제어기를 결합하여 구성한 도립진자 제어시스템이다.



<그림 2> 유전 알고리즘을 이용한 PID 제어기

##### 2.3 유전 알고리즘을 이용한 PID계수 자동조정

유전 알고리즘은 일정크기의 가능해를 동시에 고려하여 탐색을 진행하고 병렬처리를 이용함으로써 조기에 수렴하여 원치 않는 해에 수렴하는 것을 방지할 수 있다. 본 논문에서 사용된 선택연산은 일반적으로 가장 많이 사용하고 있는 룰렛방식을 이용하였고, 교배는 단일교배 연산자를 사용하였다. <그림 3>은 유전 알고리즘의 제어파라미터를 최적화하는 흐름도를 나타내고 있다.



<그림 3> 유전 알고리즘을 사용한 PID 계수조정 알고리즘

### 2.3.1 집단크기(population size)

집단크기는 개체가 얼마나 있는지에 따라 유전 알고리즘에 큰 영향을 미친다. 만일 집단크기가 너무 적으면 유전적 부동으로 인해 원치 않은 값으로 빨리 적응해 가고, 반대로 너무 크면 성능이 향상되는데 비해 많은 연산을 필요로 하여 유전 알고리즘의 동작이 느려지게 된다. 본 연구에서 population size는 20-100을 선택하였다.

### 2.3.2 교배율(crossover rate)

교배율은 교배가 일어나는 빈도를 조절하는 매개변수로서 일반적으로 낮게 설정되면 다음세대에서 새로운 개체 발생이 적게 되어 탐색이 침체되고, 반대로 높게 설정되면 탐색공간을 빨리 탐색하는 특징을 갖게 된다. 일반적으로 교배율은 0.7 ~ 0.9를 사용하며 본 연구에서는 0.7을 선택하였다.

### 2.3.3 돌연변이율(mutation rate)

일반적으로 돌연변이율은 0.01 ~ 0.05를 사용하며 본 연구에서는 0.02로 선택하였다.

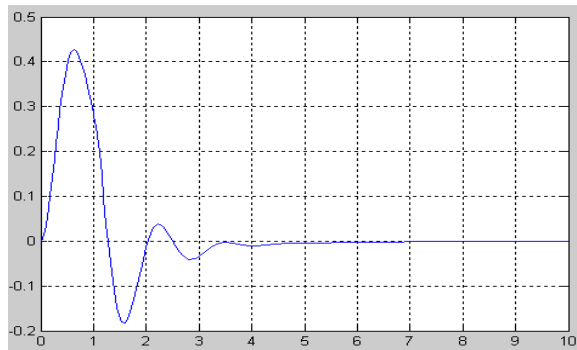
### 2.4 시뮬레이션 및 결과

유전자 알고리즘과 PID제어기의 결합에 의한 도립진자 자세제어에 관한 시뮬레이션을 수행하였고 <표 2>는 도립진자의 파라미터들이다.

<표 2> 파라미터 값

파라미터	값
M	0.5kg
m	0.125kg
L	0.5m
J	0.0104 $kg.m^2$
b	0.1kg/s

<그림 4>는 경험적으로 구한 PID제어기의 응답특성을 나타내고 있다.



<그림 4> 경험적 PID제어기 응답특성

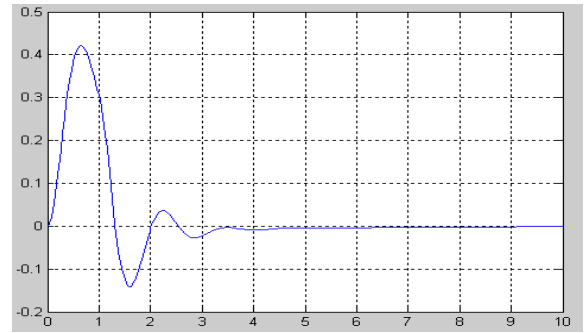
그리고 PID매개변수를 유전자 알고리즘을 결합하여 실험을 하였다. generation은 20, 50, 100 세까지 크기로 실험하였다. 각 세대별 PID를 최적화하여 비교하면 <표 3>과 같다.

<표 3> 최적 제어 계수의 비교

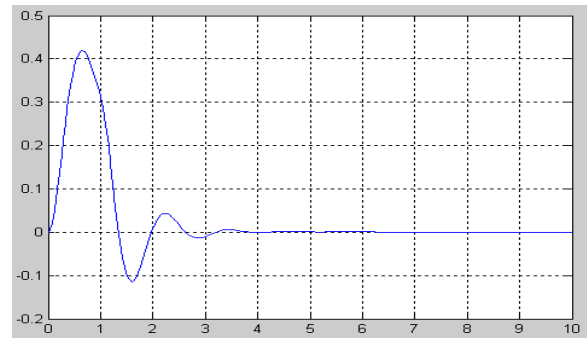
generation \ 매개변수	$K_p$	$K_i$	$K_D$
20	15	3.6257	1
50	15	2.2522	1
100	15	2.251	1

<그림 5-7>은 각각 20, 50, 100세대에 따른 최적해에 관한 값으로 실험을 실시한 것이다. 여기서 세대가 증가함에 따라 PID 매개변수 제어기의 성능이 향상 되는 것 같아 보이지만 100세대를 실험한 결과와 50세

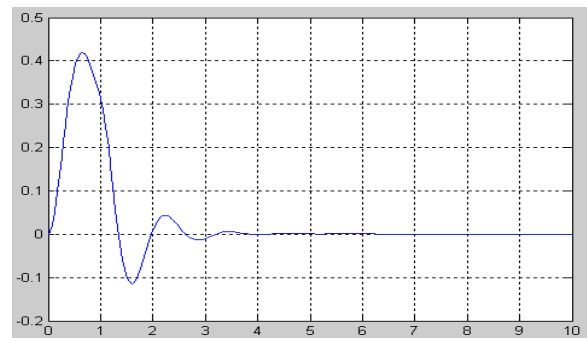
대를 실험한 결과 거의 비슷한 매개변수 값들을 얻는다는 것을 알 수 있었다.



<그림 5> 20 세대의 응답특성



<그림 6> 50 세대의 응답특성



<그림 7> 100 세대의 응답특성

### 3. 결 론

본 연구에서는 유전알고리즘을 이용한 PID 매개변수를 구하여 도립진자의 자세 제어를 수행하였다. 시뮬레이션 결과 경험적으로 매개변수 값을 구하는 것보다 유전알고리즘을 사용하면 더 정확한 값을 얻을 수 있다는 것을 알 수 있었다.

또 유전알고리즘을 사용하여 최적해를 구하는데 많은 세대수가 진화를 하면 더 좋은 결과 값을 얻을 수 있다는 것을 알았지만 일정세대가 진화하면 그 이후의 최적값은 거의 동일하게 나온다는 것을 알 수 있었다.

### [참 고 문 헌]

[1] Renato A. Krohling and Joost P. Rey, "Design of optimal Disturbance Rejection PID controller using Genetic Algorithms", IEEE, pp.78-82, February 2001.  
 [2] Wonhyuk Cho and Inteak Kim, "Application of Genetic Algorithms to optimal path finding", Proceedings of JCEANF, pp.123-126, 1996.  
 [3] Dae-Keun Lee, Sung-Kwun Oh and Sung-Whan Jang, "Estimation of Optimal Control Parameters and Design of Hybrid Fuzzy Controller by Means of Genetic Algorithms", KIEE, pp.599-609, NOV. 2000.  
 [4] 진강규, "유전알고리즘과 그 응용", 교우사, 2004.