

# 진화 연산을 이용한 실시간 자기동조 학습제어

장성욱\*· 이진걸\*\*

## The Real-time Self-tuning Learning Control based on Evolutionary Computation

Sung-Ouk Chang, Jin-Kul Lee

Key Words : Evolutionary Algorithm(진화알고리즘), Real-time(실시간), Adaptive learning control (적응 학습 제어), mutation(돌연변이), search region(탐색범위)

### Abstract

This paper discuss the real-time self-tuning learning control based on evolutionary computation, which proves its the superiority in the finding of the optimal solution at the off-line learning method. The individuals are reduced in order to learn the evolutionary strategy in real-time, and new method that guarantee the convergence of evolutionary mutations are proposed. It possible to control the control object varied as time changes. As the state value of the control object is generated, applied evolutionary strategy each sampling time because the learning process of an estimation, selection, mutation in real-time.

These algorithms can be applied, the people who do not have knowledge about the technical tuning of dynamic systems could design the controller or problems in which the characteristics of the system dynamics are slightly varied as time changes.

### 1. 서 론

시스템의 수학적 모델을 바탕으로 하는 제어기의 설계는 연속, 미분가능과 같은 제약이 필요하며 모델링 과정에서 정확히 파악하기 힘든 파라미터나 외란요소에 대한 영향을 정확히 고려하여 제어기를 설계하는 것이 매우 어렵다.

한편 PID제어기의 경우 제어 게인의 튜닝(tuning)을 위하여 많은 실험이 필요하며, 제어기 설계자의 경험에 따라 성능이 차이를 나타내는 특성을 지니고 있다[1][2][3]. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 제어제인을 자동으로 튜닝하는 방

법에 대한 연구가 행해져 왔다[4]. 그러나 이러한 튜닝방식은 실시간으로 행해지는 제어기에서 오프라인으로 컴퓨터상에서 미리 제어제인을 튜닝한 뒤 선정된 제인을 이용하여 실험을 행하거나, 실험적으로 튜닝을 하는 경우에는 한번의 게인 튜닝으로 시스템의 과도 응답특성과 정상상태 응답특성을 고찰한 뒤 새로운 제인을 계속하여 튜닝하는 방식으로 나누어 진다[5][6]. 이와같은 방식은 제어시스템이 시간에 따라 변화하는 경우에는 제어기가 변화하는 시스템에 적절하게 대응할 수 없으며, 시스템의 노후화로 인한 시스템 모델의 변화가 발생할 경우 적용하기 힘들다.

본 연구에서는 실험에서 실시간으로 매 샘플링시간마다 학습의 성공과 실패를 판단하는 방식으로 학습을 행함으로써, 제어시스템의 변화에 대하여 실시간으로 제어제인을 튜닝하는 PID 자기동조 학습제어를 행하였다. 따라서 시스템에 대한 지식이 없는 사람이 제어기를 설계하고자

\* 부산대학교 지능기계공학 박사과정

\*\* 부산대학교 기계공학부 교수

할 때나, 시스템의 노후화로 인한 모델식의 변화에 대하여 강인한 학습구조를 가지며, 시간에 따라 변화하는 제어시스템의 제어 및 적용 타당성을 실험을 통하여 검증하고자 한다.

## 2. 이론적 배경

### 2.1 실시간 진화전략 알고리즘

자연세계의 진화과정을 기본모델로 하는 진화전략 알고리즘은 부모의 교배에 의한 새로운 개체의 생성과정과 생성된 자식과 부모개체간의 경쟁을 통한 우성인자의 적자생존인 선택과정으로 크게 나누어진다[7]. 자연세계의 진화과정을 살펴보면 교배에 의한 진화보다는 돌연변이에 대한 영향이 더 큰 것으로 연구보고 되고 있다[8]. 진화전략 알고리즘은 기본적인 알고리즘 특성상 부모개체와 자식개체간의 경쟁으로 인하여 자연스런 탐색범위조정과 평가, 선택이 이루어지는 구조이므로, 경쟁할 수 있는 부모와 자식간의 개체수가 미리 형성되어야 하고, 개체수를 줄이면 국소탐색에 그치거나 많은 학습시간을 요구하게 된다. 이러한 많은 경쟁할 수 있는 개체의 형성 및 탐색 방법 때문에 진화전략 알고리즘 적용 시 오프라인(off-line) 학습으로 최적의 해를 탐색하는 연구가 주로 행하여 졌다[9][10]. 한편, 진화전략 알고리즘을 실시간으로 학습적용하기 위해서는 피드백 시스템(feedback system)에서 샘플링타임 안에 모든 학습이 완료되어야 하므로 개체수가 부모, 자식 각각 1개로 한정되어야 하며 이러한 개체수의 감소에 따른 학습시간의 증가, 탐색범위의 조정문제, 수렴성에 대한 고찰 등의 문제가 해결되어야 한다[11][12][13].

본 연구에서는 실시간으로 학습이 가능하고 부모·자식간의 개체수를 각각 1개로 한정하였을 때, 개체수의 감소에 따른 탐색범위 조정의 어려움을 해결하기 위하여 시스템의 제어시 발생하는 오차(error)량을 이용하여 다음과 같은 수식을 사용하였다[14][15].

$$\alpha(t+1) = \alpha(t) \cdot \exp(N(0, e(t))) \quad (1)$$

$$x(t+1) = x(t) + N(0, \alpha(t+1)) \quad (2)$$

### 2.2 자기동조 학습제어기

Fig.1 은 진화전략 알고리즘을 이용한 자기동조

PID 학습제어기의 계략도를 나타낸 것이다. 그림에서 나타낸 바와같이 PID제어기의 계인은 매 샘플링타임 마다 진화전략 알고리즘에 의하여 실시간으로 업데이트(update) 된다. 진화 전략 알고리즘은 매 샘플링 타임마다 발생하는 오차량의 변화율을 이용하여 평가함수에서 학습의 성공·실패를 판단하며, 돌연변이에 의한 새로운 개체를 매 순간 발생시킨다. 따라서 실시간 자기 동조 학습제어기는 PID제어기의 제어 계인을 이용한 PID 자기동조 학습제어기의 출력  $u^t$ 는 매 샘플링 타임마다 갱신되며 갱신된 제어계인은 전기·유압 서보시스템을 구동시키고 변위출력  $y_0^t$  를 발생시킨다.

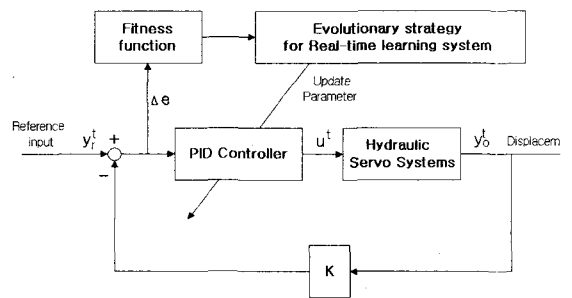


Fig. 1 Schematic diagram of PID self-tuning learning control in real time

이러한 PID 자기동조 학습제어기는 PID 제어기에서의 비례계인, 적분계인, 미분계인을 진화 알고리즘의 돌연변이 연산에 의한 개체생산 및 적합도 함수의 평가결과에 따라 PID제어 계인값이 틀려지므로 진화전략 알고리즘의 실시간 학습 능력에 따라 제어기 전체의 성능이 영향을 받는다.

## 3. 실험장치 구성

실시간 적응 학습제어 알고리즘을 실험적으로 검증하기 위하여 Fig. 2와 같이 실험장치를 구성하였다. 그림에서 나타난 바와 같이 유압 서보 시스템은 최대출력 7.5 [kW]의 전동기에 연결된 가변용량형 피스톤 펌프를 사용하였다. 또한 실험에서 사용된 서보밸브는 정격유량 38 [l/min]인 제품을 사용하였으며, 유압실린더는 양 로드 실린더를 사용하였다.

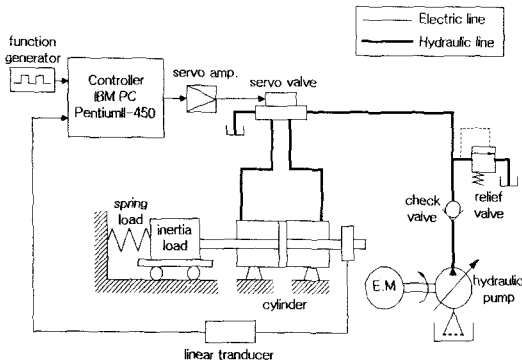


Fig. 2 Schematic diagram of the experimental setup on the hydraulic servo system.

실린더의 위치신호를 전기적인 신호로 변환하기 위한 변위변환기로서 포텐서미터를 사용하였으며, 제어기의 입출력을 위하여 12비트 A/D, D/A 변환이 가능한 DAC(Data Acquisition Card)를 사용하였다[20]. 본 연구에서의 유압 서보 시스템의 실험 장치에서 사용된 장비의 제원은 Table.1에 나타내었다.

표 1 실험기구의 내역

Table. 1 Specifications of the experimental apparatus

Instruments	Specification	Model number
Electric Motor	7.5 kW	HICO
Hydraulic Pump	28 cc/rev	A10V28DR1RP1D
Relief valve	210 kg/cm <sup>2</sup>	OR-G03-P
Solenoid Valve	24 V	4WE100-A0/LG24N
Cylinder		Double rod
Servo valve	38 ℓ/min	J076-103
Servo Amp.	±75 mA	J121-001
Potential meter	20 cm	
Oscilloscope	100 MHz	54600B
PentiumII-450	450 MHz	IBM Compatible
DAC	12 bit	PCL-818
Power Supply	200 W	ED-330

실험에서 사용된 샘플링 시간(sampling time)은 1[ms]이며, 펌프에서의 초기 토출압은 70[bar]이다. PID 제어 기인의 튜닝은 매 샘플링타임마다

진화 전략 알고리즘에서 돌연변이 연산으로 발생하는 새로운 개체에 의하여 실시간으로 업데이트(update)되며, 업데이트된 제어입력은 서보앰프에서 증폭되어 서보밸브를 구동하고 서보밸브는 유압실린더(hydraulic cylinder)를 구동하게 된다. 이러한 실린더의 변위는 변위센서에 의하여 위치가 검출되고, 기준입력 위치신호와 비교하여 오차량을 검출한다.

#### 4. 실험 결과 및 고찰

Fig. 2에서 나타낸 실험 장치를 이용하여 실시간으로 제어 계인을 튜닝하면서 스스로 학습하는 PID 자기동조 학습제어기를 사용한 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 그림에서 나타낸 바와같이 PID 자기 동조 학습제어기는 상승시간 0.15[s], 정착시간 0.2[s]로 매우 양호한 결과를 나타내고 있으며 정상상태 도달 후 안정적인 정특성을 나타내고 있다.

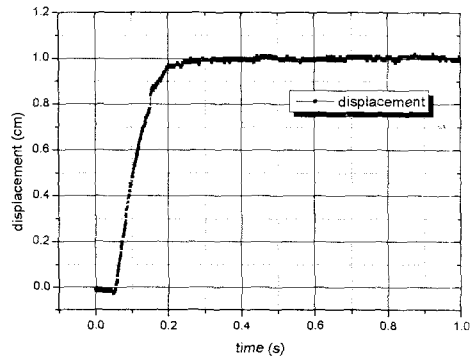


Fig. 3 The experimental result of real-time learning system using PID self-tuning learning control

여러번의 시행으로 인한 결과를 고찰해 본 결과 PID 자기 동조 학습제어기는 매우 안정적인 특성을 나타내었으며, 실험결과에서 나타나는 초기 0.05[s] 정도의 데드영역(dead zone)은 진화 전략 기인튜닝의 결과 학습이 실패한 영역을 나타내고 있다. 따라서 진화 전략 알고리즘을 이용한 실시간 적응 학습제어를 이용하여 PID 계인을 튜닝할 경우, 학습을 실패시에도 최소한 샘플링

시간 한 스텝 전단계의 결과를 유지하며, 학습성 공시에는 실험결과에서 보는 바와같이 뛰어난 추종성을 나타내고 있다.

PID 제어를 적용한 실제 기계시스템의 위치 제어는 제품초기의 제어게인을 유지하여 지속적으로 튜닝이 요구되지 않으나, 사용시 발생하는 마모나 시스템의 변동에 대해서는 지속적으로 대처하기가 매우 어렵다. 따라서 이러한 자기동조 PID 학습제어를 적용함으로써 제어시스템의 노후화로 인한 모델식의 변화로 인한 제어게인의 새로운 튜닝작업에 매우 유용하게 적용가능 함을 알 수 있다. 또한 제어시스템의 제어를 매 샘플링 시간마다 새롭게 적응 학습제어를 행함으로써, 시간에 따라 제어시스템의 모델이 조금씩 변화하는 곳에서도 적용 가능하다.

#### 4. 결론

PID제어기는 시스템에서 발생하는 오차량을 이용하여 비교적 간단하게 적용가능하다는 장점을 가지고 있으나, 제어게인의 튜닝시 시스템에 대한 지식이 필요하고 및 시스템의 노후화등으로 인한 새로운 게인 튜닝등의 필요한 단점이 있다 [16][17]. 이러한 어려움은 인공지능에서 주로 적용되고 있는 학습알고리즘을 이용함으로써 극복 가능하다[18][19].

본 연구에서는 오프라인(Off-line) 상태에서 이미 최적의 해를 탐색하는 분야에서 그 우수성이 입증된 진화 알고리즘을 이용하여 PID제어게인을 자동으로 학습하는 알고리즘을 적용하여 보았다. 일반적인 제어시스템은 온라인(On-line)상태에서 실시간으로 제어시스템을 운용하며, 제어기의 설계 또한 실시간으로 적용하는 것이 필요하다. 따라서 진화전략 알고리즘을 실시간으로 학습시키기 위하여 개체수를 줄이고 시스템에서 발생하는 오차에 의한 자동탐색 범위 조절을 이용하여, PID제어 게인의 튜닝이 매 샘플링 시간마다 이루어짐으로써 실시간 자기동조 PID 학습제어를 행하였다. 따라서 본 논문에서 제시한 자기동조 PID 학습제어를 적용함으로써 제어시스템의 노후화로 인한 모델식으로 변화로 인한 제어게인의 새로운 튜닝작업에 매우 유용하며, 또한 제어시스템에 대한 제어를 매 샘플링 시간마다 새롭게 적응 학습제어를 행함으로써, 시간에

따라 제어시스템의 모델이 조금씩 변화하는 곳에서도 적용 가능함을 알 수 있었다.

#### 참고문헌

- (1) S.O.Chang, J.K.Lee, 2000, "Development of a Hydraulic Servo System Real-Time Simulator Using a One-Board Microprocessor and personal computer," Proceedings of the 4th Asia-Pacific conference on Control and Measurement, pp128-132, 9-12 July.
- (2) 장성욱, 이진걸, 2000, "윈보드 마이크로 프로세서 제어기 및 PC를 이용한 유압서보시스템의 실시간 시뮬레이터 개발," 한국정밀공학회지, 제17권, 제8호, pp94-99.
- (3) S.O.Chang, J.K.Lee, 2000, "A Study on the Application of the Real-Time Simulator," Proceedings of the 15<sup>th</sup> Korea Automatic Control Conference, October 19-21.
- (4) J.O Han et al, 1999, "Development of Self-tuning Fuzzy-PID controller for the power plant control of steam Generator for Nuclear Power Plant," Proceeding of the 14th KACC, pp140-143.
- (5) B.M KIM et al, 1999, "GA based PID gain tuning of AWC system in Hot strip mills," Proceeding of the 14th KACC, pp225-228.
- (6) P. Vega, C. Prada, V. Aleixandre, 1991, "Self-Tuning predictive PID controller, " IEE Proceeding-D, Vol.138, No.3.
- (7) D B Fogel, 1995, "Evolutionary Computation. Toward a New Philosophy of Machine Intelligence," Pisonaway, NJ : IEEE Press.
- (8) E Vonk, L -C Jain, R -P Johnson, 1997, "Automatic Generation of Neural Network Architecture Using Evolutionary Computation," World Scientific Publishing Co.
- (9) D.B. Fogel and J.W. Atmar, 1990, "Comparing Genetic Operators with Gaussian Mutations in Simulated Evolutionary Processes Using Linear Systems," Biological Cybernetics, Vol. 63:2, pp. 111-114.
- (10) T. Back, 1996, "Evolutionary Algorithms in Theory and Practice," Oxford, NY.

- (11) H.P. Schwefel, 1995, " Evolution and Optimum Seeking", John Wiley, NJ.
- (12) Z. Michalewicz and D. B. Fogel, 2000, How to Solve It: Modern Heuristic, Springer-Verlag, Berlin, pp. 161-184/335-341.
- (3) E. Sanchez and M. Tomassini, eds., 1996, Toward Evolvable Hardware: The Evolutionary Engineering Approach, Springer-Verlag, Berlin, pp. 19-47/221-249.
- (14) S.O.Chang, J.K.Lee, 2001, "New approach to real time adaptive learning control of neural networks based on an evolutionary algorithm(I)," 2001 IEEE International Symposium on Industrial Electronics, 12-16, June.
- (15) S.O.Chang, J.K.Lee, 2001, "New approach to real time adaptive learning control of neural networks based on an evolutionary algorithm(II)," 2001 IEEE International Symposium on Industrial Electronics, 12-16, June.
- (16) Gene F, Franklin et al, 1997, "Digital Control of Dynamic systems," Third Ed., Addison Wesley.
- (17) K. Astrom, T. Hagglund, 1994, "PID Controller : Theory, Design, and Tuning," Second Ed.
- (18) S. Haykin, 1999, Neural Networks : A comprehensive foundation, second Ed., Prentice-Hall Inc.
- (19) J. S. Jang, C.S. Sun, and E. Mizutani, 1997, Neuro-Fuzzy and soft Computing : A Computational Approach to Learning and Machine Intelligence, Prentice-Hall Inc.