

유전자 알고리즘을 사용한 PID제어기의 자동동조

An Auto-tuning of PID Controller using Genetic Algorithms

이 수 흠* · 정 순 현**

경남대학교 전기공학과

Soo-Heum Lee* · Soon-Hyun Jung**

요 약

본 논문은 여러 프로세스제어에 사용되는 PID제어기의 최적 자동동조에 관한 새로운 방법을 제안하고자 한다. 이 방법은 먼저, 제어대상의 계단응답으로부터 모델링된 1차 지연계를 Padé 근사화 하고, Ziegler-Nichols의 한계감도 법으로 초기계수를 결정한 후 유전자알고리즘의 부모세대의 2진 스트링에 적합도 값으로 입력시켜 선택 교배 및 돌연변이를 통하여 새로운 자손세대를 형성한다. 이 방법은 Ziegler-Nichols로 구한 출력특성보다 더욱 좋은 특성을 가지며 입력변수 K, L, T의 학습범위가 없어져 응용범위가 확장되는 장점을 가지고 있다.

Abstract

We propose a new method to deal with the optimized auto-tuning for the PID controller which is used to the process-control in various fields. First of all, in this method, 1st order delay system with dead time which is modelled from the unit step response of the system is Padé-approximated, then initial values are determined by the Ziegler-Nichols method and deciding binary strings of parents generation using by the fitness values of genetic algorithms, we perform selection, crossover and mutation to generate the descendant generation. The advantage of this method is better than the Ziegler-Nichols method in characteristic of output, and has extent of applying without limit of K, L, T parameters.

key words : Ziegler-Nichols method, genetic algorithms, selection, crossover and mutation, PID controllr

I 서 론

산업 현장에서 널리 사용되는 제어기의 대부분은 여전히 비례-미분-적분항의 세 가지 모드로 구성된 PID 제어기이며, 그 이유는 계 구성의 단순성, 견실성 그리고 넓은 적용성의 장점으로 제어 기술자에게는 가장 익숙한 제어 방식이기 때문이다.¹⁾

지난 40여년간 산업 공정에서 제어 기술자들은 제어 대상에 따른 PID 제어 계수를 경험적인 방법으로 수동으로 동조하여 왔다.

최근 마이크로 프로세서의 등장으로 PID 제어기 계수를 자동으로 동조하는 연구가 활발히 진행되고 있는 실정이다.^{2),3),4),5),6),7),8),9)}

본 연구에서는 이러한 점을 착안하여 PID 제어기의 최적 자동 동조에 관한 새로운 설계방법을 제안하고자 한다.

이 방법은 먼저 제어 대상의 계단응답으로부터 모델링된 1차 지연계를 Padé^{10),11)} 근사화 하고, Ziegler-Nichols^{12),13)}의 한계감도법¹⁴⁾으로 PID 제어기 계수들을 저장하여 유전자 알고리즘¹⁶⁾의 이진수 스트링에 적합도 값으로 적용시킨 후, 다음세대를 계속 평가하여 최적화된 개체집단을 선정하는 것으로서 이 유전자 알고리즘은 기존의 Ziegler-Nichols 방법보다 더욱 안정적으로 최적화된

PID 제어기 계수를 얻을 수 있다.

II PID제어기의 구성

이 장에서는 기본적인 Ziegler-Nichols의 PID제어기와 이 계수를 초기 적합도 값으로 하여 차세대에서의 PID 제어기 계수를 찾아가는 유전자 알고리즘에 대하여 서술한다.

1. PID제어기의 구성

우선 설비 시스템에 사용되는 제어기를 구성하기 위하여 PID제어기의 전달함수($G_c(s)$)와 1차 지연계($G_p(s)$)로 모델링된 제어대상의 정수(부동작시간, 시정수, 비례정수)들을 이용하여 제어기의 폐 루프 전달함수를 정식화 하고, 이로부터 제어대상의 계단응답을 역 라플라스 변환¹⁷⁾에 의하여 계산할 수 있도록 한다. 아래그림은 플랜트 PID제어의 개략도를 나타낸 것이다.

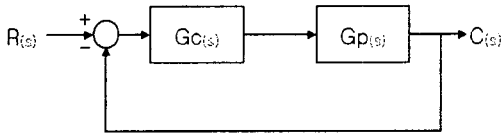


그림 1. 플랜트 PID제어
Fig. 1. PID control of plant

다음은 Ziegler-Nichols 한계감도법에 의해 산출된 PID 계수를 부모세대의 적합도 값으로 하여 구한 유전자 알고리즘의 블록선도를 그림 3에 나타내었다.

이 블록선도에서는 Ziegler-Nichols방법을 통한 PID계수들을 사용, 유전자 알고리즘의 입력 스트림에 2진수의 벡터형식으로 입력시켜서 그 값을 적합도 값으로 사용한 것으로 선택, 교배, 돌연변이를 통하여 다음 세대들을 계속적으로 평가하여 최적화 된 PID계수를 구할 수 있다. 또한 이 방법은 기존의 Ziegler-Nichols방법에 의한 계수를 유전자 알고리즘의 초기 부모세대 적합도 값으로 취하였으므로, 세대 반복이 계속 될수록 Ziegler-Nichols방법에 의한 응답보다 더욱 좋은 제어특성을 구할 수 있다.

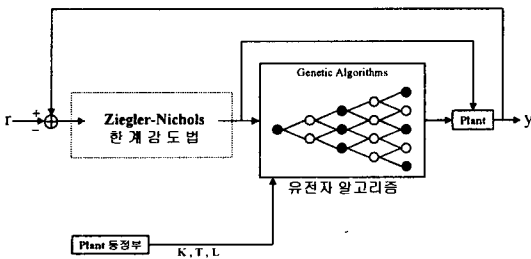


그림 3. 유전자 알고리즘을 사용한 PID제어 블록선도
Fig. 3. Block diagram of PID control system using genetic algorithms

2. 제어기 및 제어대상의 정식화

제어대상을 수학적 모델로 유도할 수 있는 경우, 페루프 시스템의 과도 및 정상 상태의 조건을 만족하는 제어기의 파라미터를 결정하는데 여러 가지 설계방식의 적용이 가능하지만 제어 대상이 너무 복잡하여 수학적 모델을 쉽게 얻을 수 없을 때에는 PID제어기 설계의 해석적 접근이 불가능하므로 제어기 설계에 실험적 접근이 필요하다.

따라서, 시뮬레이션에 사용한 PID제어기의 전달함수는 다음과 같이 정의한다.

$$G_C(S) = K_P \left(1 + \frac{1}{T_I S} + T_D S \right) \quad (2.1)$$

여기서 K_P 는 제어기의 비례이득, T_I 는 적분시간, T_D 는 미분시간이다.

그리고 Ziegler-Nichols의 한계감도법에 의해 식(2.1)에서 초기 PID 제어계수를 $T_D=0$, $T_I=\infty$ 로 설정함으로써 전달함수는 다음과 같다.

$$G_C(S) = K_P \quad (2.2)$$

제어대상은 가장 일반적인 모델인, Kűpfmüller¹⁸⁾¹⁹⁾의 방법을 사용한 1차 지연계를 채택하기로 한다. 이렇게 하여 모델링된 제어대상의 전달함수는

$$G_P(S) = \frac{Ke^{-LS}}{1+TS} \quad (2.3)$$

와 같고 e^{-LS} 를 2차까지 Padé근사화한 식은 다음과 같다.

$$e^{-LS} = \frac{1 - \frac{L}{2}S + \frac{1}{12}L^2S^2}{1 + \frac{L}{2}S + \frac{1}{12}L^2S^2} \quad (2.4)$$

식(2.4)을 식(2.3)에 대입하여 얻은 제어대상의 전달함수는 다음과 같다.

$$G_P(S) = K \frac{(L^2S^2 - 6LS + 12)}{TL^2S^3 + (6TL + L^2)S^2 + (12T + 6L)S + 12} \quad (2.5)$$

식(2.5)와 식(2.2)에 의해서 전방경로 전달함수 $G(s)$ 를 계산하면, 다음과 같다.

$$G(S) = KK_P \frac{(L^2S^2 - 6LS + 12)}{TL^2S^3 + (6TL + L^2)S^2 + (12T + 6L)S + 12} \quad (2.6)$$

제어대상의 페루프 전달함수를 계산하면,

$$M(S) = \frac{G(S)}{1+G(S)} = \frac{KK_P(L^2S^2 - 6LS + 12)}{TL^2S^3 + (6TL + L^2 + KK_PL^2)S^2 + (12T + 6L - 6KK_PL)S + 12KK_P + 12} \quad (2.7)$$

가 된다.

이제 제어대상만 결정되면 (K , L , T 값의 결정), Ziegler-Nichols의 한계감도법 및 Routh-Hurwitz의 안정도 판별법을 이용하여 PID 제어계수 (K_P , T_I , T_D)를 결정하여 원하는 응답특성을 얻을 수 있다.

3. 유전자 알고리즘

유전자 알고리즘은 초기값인 부모세대가 2진 스트림과 그것에 따른 함수로 주어졌다면 이것을 선택과 교배, 돌연변이를 통하여 다음세대를 만들고 이를 반복하여 전역적인 최적의 값을 구하는 일종의 자연의 현상을 모델링한 확률적인 탐색방법이다.

이 방법을 통하여 2.3절에서의 방법으로 구한 퍼지 평가함수의 PID계수들을 유전자 알고리즘의 부모세대에 초기값인 2진 스트림과 적합도 값으로 넣어 그것들에 대한 계산을 하게되면, 그 PID계수들에 따른 계단응답 파형은 기존의 Ziegler-Nichols의 방법을 퍼지 평가함수를 사용하여 구한 계단응답보다 더욱 좋은 계단응답을 구할 수 있었고, 다음 그림4, 5, 6에 파형을 제시하였다. 신경망의 역전파 알고리즘 및 다변량 선형회귀분석에서의 단점인 학습범위라는 한정된 영역이 없으므로 입

력변수 K, L, T의 사용이 자유롭게 되어 폭넓은 특성을 보이게 된다. 시뮬레이션에서 사용된 제어 대상은 다음의 2 경우 3가지 모델을 선정하였다. 모델 1과 모델 2는 L=0.5, T=100, K=1인 시스템으로 모델 1에서는 유전자 알고리즘의 자식 세대수를 10세대 후까지 사용하였고, 모델 2에서는 유전자 알고리즘의 세대수를 50세대 후까지 좀더 많은 세대수를 거쳐 그 계단응답을 분석하였다.

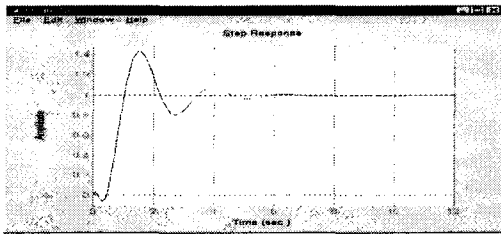


그림 4. Ziegler-Nichols방법에 의한 계단응답
Fig. 4. Step-response by Ziegler-Nichols Method(model 1)

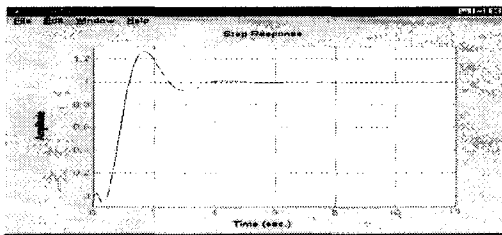


그림 5. Fuzzy제어에 의한 계단응답
Fig.5. Step-response by Fussy inference (model1)

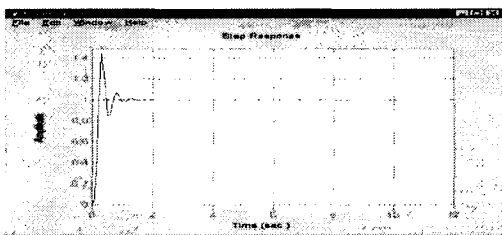


그림 6. Ziegler-Nichols방법에 의한 계단응답
Fig. 6. Step-response by Ziegler-Nichols Method(model 2)

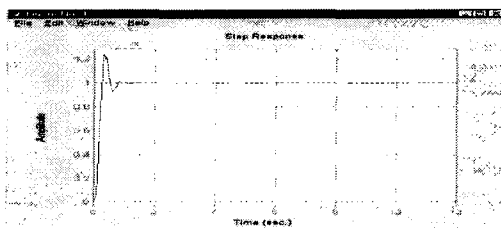


그림 7. Fuzzy제어에 의한 계단응답
Fig. 7. Step-response by Fuzzy Inference(model 2)

III 제어 알고리즘

II장의 3절에서 정의된 외란을 포함한 PID제어의 자동동조 과정을 살펴보면 다음과 같이 요약될 수 있다. 제어대상을 결정하기 위한 정수를 입력받아 제어대상을 결정하여 기존의 Ziegler-Nichols방법에 의한 PID계수들을 유전자알고리즘에 입력시켜 구속조건을 두어 교배, 돌연변이를 통하여 모수 추정을 한 후, 초기의 부모세대에서부터 계속적으로 반복되는 차세대를 거쳐가면 기존의 Ziegler-Nichols방법보다 출력특성이 좋은 P, I, D계수와 파형이 나타나며, 임의의 외란 성분을 포함한 제어를 통하여 외란에 대해서도 강인한 응답특성을 보일 것이다. 이 과정을 순서대로 좀더 자세하게 나타낸 것이 그림 3이다.

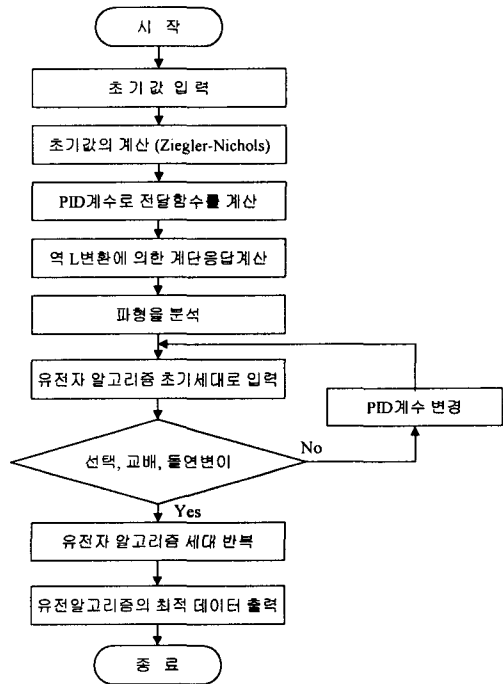


그림 8. 제안된 제어기 순서도
Fig. 8. Flow chart of the proposed controller

IV 시뮬레이션 및 고찰

본 논문에서는 위와 같이 구성된 제어기를 시뮬레이션 하기 위해서 MATLAB[®]을 이용하여 자동 동조 프로그램을 제작 사용하였으며, 시뮬레이션을 위해 제어 대상을 3가지 모델로 선정하였다. 모델 1과 모델 2는 초기값과 외란 영향이 동일한 가운데 진화전략의 자손세대수를 변화시켜 그 응답을 보인 것이고, 모델 3은 모델 1, 2와는 다른 파라미터를 사용하여 그 출력응답을 비교하였다.

표 1. PID제어기의 파라미터
table 1. Parameter of PID Controller

구 분	Model 1, 2	Model 3
비례정수 (K)	1	1
부동작시간 (L)	0.5	0.01
시정수 (T)	80	100
자손세대수	50 200	200

제어대상을 첫 번째 경우 모델 1, 2로 정의하였을 때의 Ziegler-Nichols방법, 유전자 알고리즘의 계단응답이 아래에 나타나 있다.

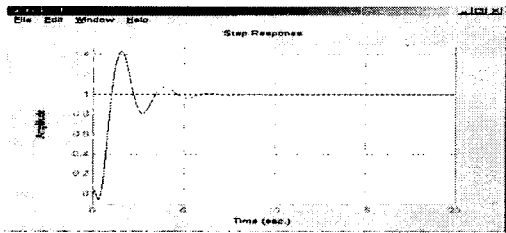


그림 9. Ziegler-Nichols방법에 의한 계단응답 (모델 1,2)
Fig. 9. Step-response by Ziegler-Nichols method(model 1,2)

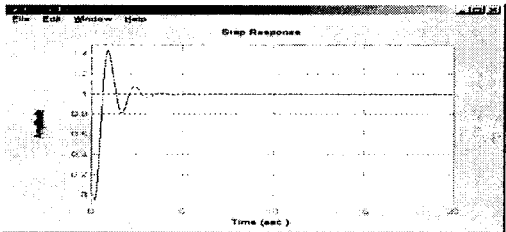


그림 10. 유전자 알고리즘에 의해 추론된 계단응답 (모델1)
Fig. 10. Step-response by genetic algorithm(model 1)

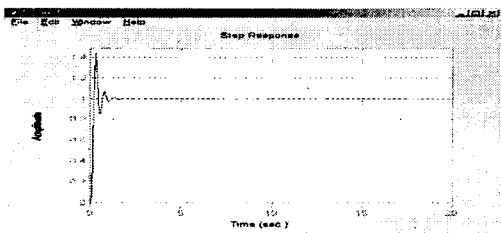


그림 11. 유전자 알고리즘에 의해 추론된 계단응답 (모델 2)
Fig. 11. Step-response by genetic algorithm(model 2)

모델 1에 대한 시뮬레이션 결과를 살펴보면 Ziegler-Nichols방법에 의한 계단응답 보다 유전자 알고리즘에 의한 계단응답이 안정됨을 볼 수 있다. 그리고 유전자 알고리즘에 의해 차세대에서 추론된 계단응답은 자손의 세대수를 늘리므로 좋은 응답특성을 구할 수 있다.

이에 따라 모델2에서는 유전자 알고리즘의 자손 수를 모델1에서의 50단계로 하지 않고 200단계로 늘려서 사용한 방식으로 그림 9에 나타내었다. 여기서 그림 8보다 자손의 수가 많으므로 더욱 안정한 파형을 얻을 수가 있

었다. 여기서 진화전략의 최적값은 자손세대수가 200단계가 끝날 때의 마지막 값이 최적의 값이 되는 것이 아니라 200단계 중 가장 뛰어난 전역 적인 값을 최적의 값으로 가진다.

다음은 제어대상을 모델 3으로 정의하였을 때의 Ziegler-Nichols방법과 유전자 알고리즘의 계단응답을 시뮬레이션 한 결과를 그림 8~10에 나타내었다.

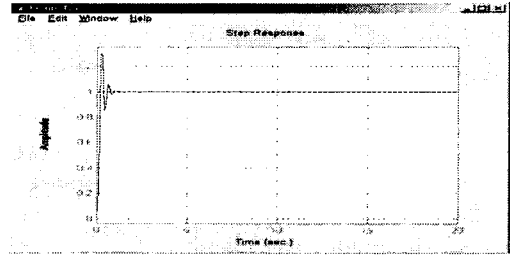


그림 12. Ziegler-Nichols방법에 의한 계단응답 (모델 3)
Fig. 12. Step-response by Ziegler-Nichols method(model 3)

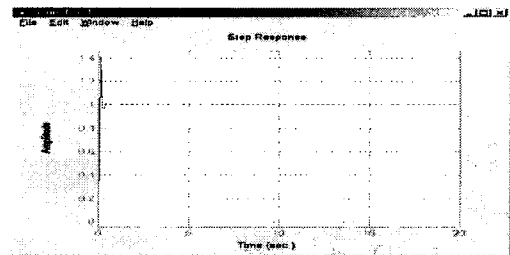


그림 13. 유전자 알고리즘에 의해 추론된 계단응답 (모델3)
Fig. 13. Step-response by genetic algorithm(model 3)

모델 3의 결과를 보면, 앞서와 마찬가지로 Ziegler-Nichols방법보다 유전자 알고리즘에 의한 계단응답특성이 향상됨을 볼 수 있다. 모델 1, 2, 3을 살펴보면 Ziegler-Nichols방법에 의한 계단응답과 유전자 알고리즘에 의해 추론된 계단응답을 비교해 볼 때, 유전자 알고리즘의 자손의 수를 높임, 즉 구속조건에서 교배와 돌연변이가 계속될수록 Ziegler-Nichols방법에 의한 계단응답보다 더욱 좋은 특성이 구해짐을 알 수 있다.

V 결 론

본 연구에서는 기존의 Ziegler-Nichols방법과 유전자 알고리즘을 사용한 PID 제어기를 제안하고 시뮬레이션을 통하여 그 타당성을 입증하였다.

기존의 Ziegler-Nichols의 방법과 비교하여 이 방법의 특징은 다음과 같다.

1) 유전자 알고리즘은 제어대상의 물리적 파라미터 변화에도 적응성이 좋다.

2) 유전자 알고리즘은 신경망이론, 다변량 선형회귀모형에서의 학습을 위한 입력값의 범위가 따로 주어지지 않으므로 기존의 방식에 비해 응용범위가 넓다.

3) 신경망의 역전파 알고리즘에서의 문제점인 지역값에 빠지는 오류가 거의 없다.

그러나 유전자 알고리즘의 자손세대수의 범위를 얼마나 길게 해야하는지 또한 그것에 따른 전역적인 정밀도 향상이 완료되는 시점을 찾는 것이 향후 연구과제로 남는다.

접수일자 : 2002. 4. 19 수정완료 : 2002. 5. 10

본 논문은 2000 년도 경남대학교 학술 연구조성비 지원에 의해 연구되었음.

참 고 문 헌

1. GAWTHROP,P.J , "Automatic Tuning of Commercial PID Controllers computer control of real-Time processes.", IEEE control system magazine January pp. 37-57, 1990.
2. 林東均 外, "PID 制御機의 最適 同調", 電氣工學會論文誌, 第30卷 B. 第11號, pp. 1075-1084, 1993
3. K.J. Astrom et al. , "Automatic tuning and adaptation for PID Controllers - A Survey", Adaptive systems in control and signal processing 1992, pp. 371-376, 1992.
4. Hong Hyeongpyo et al. , "A Design of Auto-Tuning PID Controller using Fuzzy Logic", proceeding of The 1992 International Conference on Industrial electronics control, Vol.2, pp. 971-976.
5. M.Zhuang, D.P Atherton, "Automatic tuning of optimum PID Controllers", IEEE Proceedings-D, Vol.140 No.3, pp. 216-224, 1993.
6. 李壽欽 外, "퍼지 평가함수를 사용한 PID제어기의 자동 동조" 照明 · 電氣設備學會誌 第8卷 第3號, pp. 64-70, 1994
7. 李壽欽, 朴賢泰, 李來一, "전력설비시스템을 위한 퍼지 평가함수와 신경회로망을 사용한 PID제어기의 자동동조" 照明 · 電氣設備學會誌 第13卷 第2號, pp. 63-70, 1999



이수흠(soo-heum Lee)

正會員

1969.2 영남대 전기공학과

1975.2 영남대 전기공학과

(공학석사)

1987.8 경북대 대학원 전자공학과

(공학박사)

1998.2 경남대학교 공과대학(학장)

2002.2 경남대학교 산업대학원(원장)

현재 : 경남대학교 전기전자 공학부 교수

한국신호처리 · 시스템학회 수석 부회장

경상남도주관 기계산업육성사업단 추진위원

관심분야 : 유전자 알고리즘, 퍼지 시스템, 신경회로망,



정순현(soon-hyun Jeong)

準會員

2001.2 경남대학교 전기전자공학부

(공학사)

현재 : 경남대학교 대학원 전기공학과

(석사과정)

관심분야 : 유전자 알고리즘, 퍼지 시스템, 신경회로망