

유전 알고리즘을 이용한 외란을 고려한 PID제어기의 자동동조

이 상 현*, 김 정 곤*, 서 보 혁*

*경북대학교 전기공학과

전화 : 053-940-8604 / 핸드폰 : 016-507-7578

An Auto-tuning of PID Controller in Consideration of Disturbance using Genetic Algorithms

Sang-Hyun Lee*, Jung-Gon Kim*, Bo-Hyeok Seo*
Kyungpook National University
E-mail : electrohyun@hanmail.net

Abstract

In this paper, 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. So 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.

I. 서론

많은 제어 알고리즘이 개발되어 왔음에도 불구하고 실제 현장에서는 아직도 PID 제어가 많이 사용되고 있다. PID 제어를 많이 사용하는 이유는 조정되는 파라미터들이 두세 개에 불과하므로 구조가 간단하고, 광범위한 플랜트에 대해서도 동작이 안정되어 제어효능을 유지할 수 있으며 현장 엔지니어에게 익숙하기

때문이다.¹⁾ 본 연구에서는 이러한 점을 착안하여 PID 제어기의 최적 자동 동조에 관한 새로운 설계 방법을 제안하고자 한다. 이 방법은 먼저 제어 대상의 계단응답으로부터 모델링된 1차 지연계를 Padé^{2),3)} 근사화 하고, Ziegler-Nichols^{4),5)}의 한계감도법으로 PID 제어기 계수들을 저장하여 유전 알고리즘^{6),7)}의 2진수 스트링에 적합도 값으로 적용시킨 후, 다음세대를 계속 평가하여 최적화된 개체집단을 선정할 것으로서, 이 유전 알고리즘은 기존의 Ziegler-Nichols방법보다 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 유전 알고리즘에 대하여 서술한다.

2.1 PID제어기의 구성

아래 그림은 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 페루프 전달함수를 정식화하고, 이로부터 제어대상의 계단응답을 역

라플라스 변환⁸⁾에 의하여 계산할 수 있도록 한다. 또한, 외란에 대한 강인성을 검토하기 위해 외란에 대한 함수를 근사적으로 정식화한다.

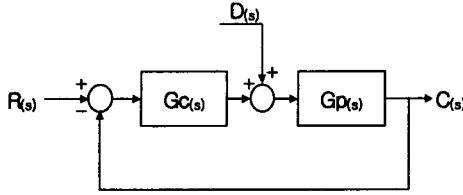


그림 1. 외란을 가지는 플랜트의 PID제어

다음은 Ziegler-Nichols 한계감도법에 의해 산출된 PID 계수를 부모세대의 적합도 값으로 하여 구한 유전 알고리즘의 블록선도를 그림 2에 나타내었다.

이는 Ziegler-Nichols방법을 통한 PID계수들을 사용, 유전 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 기존의 Ziegler-Nichols방법에 의한 계수를 유전 알고리즘의 초기 부모세대 적합도 값으로 취하였으므로, 세대 반복이 계속 될수록 Ziegler-Nichols방법에 의한 응답보다 더욱 좋은 출력 파형을 구할 수 있다.

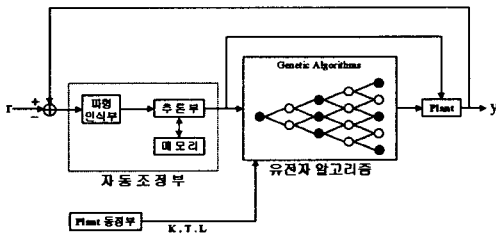


그림 2. 유전 알고리즘의 블록선도

2.2 제어기 및 제어대상의 정식화

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 비례이득, T_i 는 적분시간, T_d 는 미분 시간이다. 그리고, Ziegler-Nichols방법에 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 Kűpfmüller^{9),10)}의 방법을 사용한 1차 지연계를 선택하기로 한다. 이렇게 하여 모델링된 제어대상의 전달함수는

$$G_p(S) = \frac{K e^{-LS}}{1 + TS} \quad (2.3)$$

와 같고 e^{-LS} 를 2차까지 Padé근사화한 식은

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

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

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

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

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

제어대상의 페루프 전달함수를 계산하면,

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

가 된다. 이제 제어대상만 결정되면, Ziegler-Nichols의 한계감도법 및 Routh-Hurwitz의 안정도 판별법을 이용하여 PID 제어계수를 결정한다.

2.3 외란의 영향

외란의 페루프 전달함수는 2.2절에서와 같은 방법으로 그림1에서 정의되어지고, 외란 출력은 다음과 같다.

$$W(S) = B(S)D(S) \quad (3.1)$$

여기서, 외란의 페루프 전달함수 $B(s)$ 는 다음과 같다.

$$B(S) = \frac{G_p(S)}{1 + G_p(S)G_c(S)} \quad (3.2)$$

또한, 외란 $D(s)$ 는 다음과 같다.

$$D(S) = \frac{1}{S} e^{-T_d S} \quad (3.3)$$

따라서, 그림1에서 나타낸 외란을 고려한 플랜트의 PID제어대상의 응답은 다음과 같이 된다.

$$C(S) = M(S)R(S) + B(S)D(S) = \left[\frac{G_c(S)G_p(S)}{1 + G_c(S)G_p(S)} \right] R(S) + \left[\frac{G_p(S)}{1 + G_c(S)G_p(S)} \right] D(S)$$

(3.4)

III. 유전 알고리즘

유전 알고리즘은 초기값인 부모세대가 2진 스트링과 그것에 따른 함수로 주어졌다면 이것을 선택, 교배, 돌연변이를 통하여 다음세대를 만들고 이를 반복하여 전역적인 최적의 값을 구하는 확률적인 탐색방법이다. 즉, 현재의 적합도 값에 비례하는 크기를 룰렛 선택하는데 사용된다. Π 절에서 구한 PID계수들을 유전 알고리즘의 부모세대의 초기값인 2진 스트링과 적합도 값으로 넣어 계산하게 되면, 그 PID계수들에 따른 계단 응답 파형은 기존의 Ziegler-Nichols방법보다 더욱 좋은 계단응답을 구할 수 있었고, NN의 역전파 알고리즘의 단점인 학습범위라는 한정된 영역이 없으므로 입력변수의 사용이 자유로워 폭넓은 특성을 보였다.

IV. 제어 알고리즘

제어대상을 결정하기 위한 정수를 입력받아 제어대상을 결정하고 이 정수를 이용하여 Ziegler-Nichols 방법에 의한 PID계수들을 유전 알고리즘에 입력시켜 구속조건을 두어 교배, 돌연변이를 통하여 모수를 추정을 한 후, 초기의 부모세대에서부터 계속적으로 반복되는 차세대를 거쳐가면 기존의 Ziegler-Nichols방법보다 출력특성이 좋은 P, I, D계수와 파형이 나타나며, 외란 성분을 포함한 제어를 통하여 이에 대해서도 강한 응답특성을 보일 것이다. 이를 순서도로 나타내면,

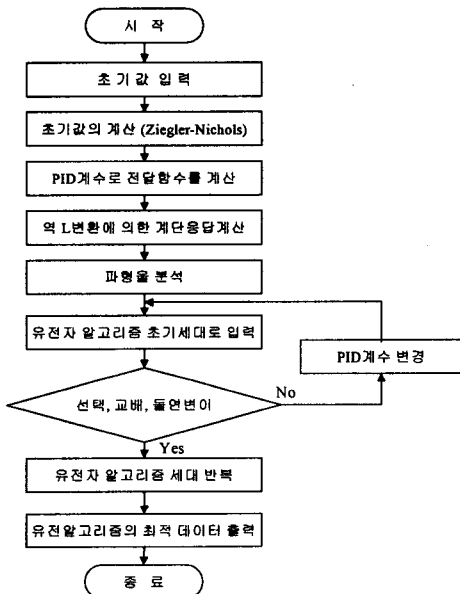


그림 3. 제안된 제어기의 순서도

V. 시뮬레이션 및 고찰

본 논문에서는 MATLAB을 이용하여 자동 동조 프로그램을 제작 사용하였으며, 시뮬레이션을 위해 제어 대상을 3가지 모델로 선정하였다.

표1. PID제어기의 파라미터

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

모델 1,2는 초기값과 외란이 동일할 때 진화전략의 자손세대수를 변화시켜 그 응답을 보인 것이고, 모델 3은 모델 1,2와는 다른 파라미터를 사용하여 그 출력응답을 비교하였다. 제어대상을 모델 1,2로 정의하였을 때의 Ziegler-Nichols방법, 유전 알고리즘의 계단응답이 아래에 나타나 있다.

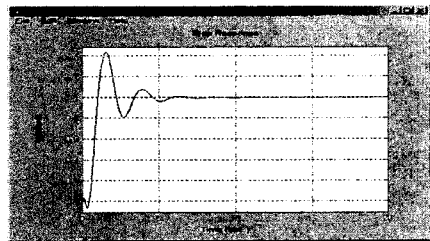


그림 4. Ziegler-Nichols방법에 의한 계단응답 (모델 1,2)

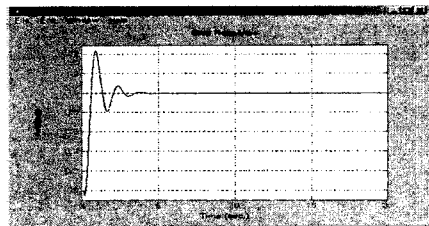


그림 5. 유전 알고리즘에 의해 추론된 계단응답 (모델1)

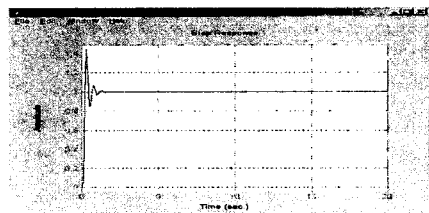


그림 6. 유전 알고리즘에 의해 추론된 계단응답 (모델2)

모델 1에 대한 시뮬레이션 결과를 살펴보면 Ziegler-Nichols방법에 의한 계단응답보다 유전 알고리즘에 의한 계단응답이 안정됨을 볼 수 있다. 그리고 유전 알고리즘에 의해 차세대에서 추론된 계단응답은 자손의 세대수를 늘리므로 좋은 응답특성을 구할 수 있다. 이에 따라 모델2에서는 유전 알고리즘의 자손 수를 모델1에서의 50단계로 하지 않고 200단계로 늘려서 사용한 방식으로 그림 6에 나타내었다. 이는 그림 5보다 자손의 수가 많으므로 더욱 안정한 파형을 얻을 수가 있었다. 여기서 진화전략의 최적값은 자손세대수가 200단계가 끝날 때의 마지막 값이 최적의 값이 되는 것이 아니라 200단계 중 가장 뛰어난 전역적인 값을 최적의 값으로 가진다. 다음은 제어대상을 모델 3으로 정의하였을 때의 Ziegler-Nichols방법과 유전 알고리즘의 계단응답을 시뮬레이션 한 결과를 그림 7과 8에 나타내었다.

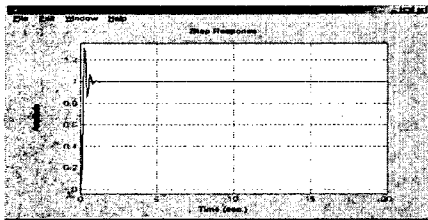


그림 7. Ziegler-Nichols방법에 의한 계단응답 (모델 3)

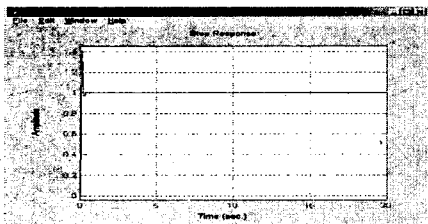


그림 8 유전 알고리즘에 의해 추론된 계단응답 (모델3)

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

VI. 결 론

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

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

① 유전 알고리즘은 제어대상의 물리적 파라미터의 변화에도 적응성이 좋다.

② 유전 알고리즘은 신경망이론, 다 변량 선형회귀모형에서의 학습을 위한 입력값의 범위가 따로 주어지지 않으므로 기존의 방식에 비해 응용범위가 넓다.

③ Neural-Network의 역전파 알고리즘에서의 문제점인 지역값에 빠지는 오류가 거의 없다.

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

참고문헌(또는Reference)

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. ING-RONG HORONG and JYH-HORONG CHOU, "Digital PID controller design via general discrete orthogonal polynomials" , INT.J.Control Vol.47 No.1, pp. 187-192, 1988.
3. 黄昶善 外 共譯, "動的 시스템의 피드백 制御", 大光文化社, 1990.
4. J.G Ziegler, N.B Nichols, "optimum settings for automatic controllers", Trans ASME Vol.65, pp. 433-444, 1942.
5. Hill,A.G : Venable,S.W. , "The Effect of model Error on optimum PID controller tuning", ISA/89, pp. 51-64, 1989.
6. Zbigniew Michalewicz , "Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs" pp.13-54, 1992
- 7.Siddique, M.N.H.; Tokhi, M.O."Training neural networks: backpropagation vs. genetic algorithms",pp: 2673 -2678,2001
8. Tor Steinal Schei , "A method for closed loop automatic tuning of PID controllers", IFAC, Vol.13 No.3, pp. 155-162, 1992.
9. "System & Control encyclopedia", pergamon press Vol.4. pp. 2320-2325
10. Fernando,L. at al. , "An Intelligent PID Controller Based on expert system Techniques", SCI. (POLAND) Vol.17 No.4, pp. 73-80, 1991.