

단순한 자동동조 PID제어기의 설계에 관한 연구

설남오, 신만식**, 이창구**

**전북대학교 전기공학과, *전북대학교 제어계측공학과

A Study on the Design of Simple Auto-tuning PID Controller

*Nam o Seul, Man Sic Shin, Chang Goo Lee

Chonbuk Nat'l University

Abstract

In this paper, we present a simple auto-tuning PID controller using genetic algorithms. The basic idea of the scheme is to parameterize a Ziegler-Nichols-like tuning formula by a single parameter α , then to use GA to select optimal tuning parameter. Also, simple rule mechanisms make the controller adapt against large variations in parametric and dynamics uncertainties in the plant. These scheme lead to improved performance of the transient and steady state behavior of the closed loop system, including processes with long delay-time and nonminimum phase systems.

1. 서 론

PID제어기는 단순한 구조와 견실한 성능으로 인해 현대 제어이론의 눈부신 발전에도 불구하고 산업현장에서 널리 이용되고 있다[1]. PID제어기는 비례, 적분 및 미분의 세 가지 형태로 구성되어 있으며 각 파라미터가 제어성능을 좌우하는 특성을 갖고 있다. 하지만 주어진 시스템에서 최적의 제어성능을 갖는 동조계수를 찾기가 쉽지 않고, 운전 중 환경이 변화하거나 동특성이 변화할 때는 재동조를 하여야 한다는 등의 어려움이 있다. 이러한 문제의 해결은 PID이득을 자동으로 동조하는 자동동조 기능을 개발하고 플랜트 변화에도 적용하는 적용기능을 추가하는 것이다[2]. 이에대한 많은 연구가 진행되어 왔으며, 대표적으로 크게 두부류로 나눌 수 있는데 첫번째는 Bristol의 제어용 담 페턴인식에 의한 방법과 Astrom과 Hagglund의 릴레이 케환에 의한 임계값을 이용한 동조 등 플랜트의 동특성을 구하고 이에 기초한 초기동조법을 들 수 있다[3]~[5]. 두번째는 적용제어 기법을 도입하거나 fuzzy논리를 이용하여 플랜트의 동특성에 대한 사전 실험없이 온라인으로

동조기능을 구현하는 일이다. 적용제어 기법은 설계변수의 제약과 견실성 면에서 문제점이 있으며, fuzzy제어기는 계계적인 설계방법이 없고 적용동조 기능을 구현하는데 GA, fuzzy논리, 신경망 등을 도입하여 복잡하고 실시간 제어가 어렵다[6]~[7]. 본 논문에서는 앞서 언급한 여러방법들을 이용하여 초기동조 기능과 온라인 동조기능을 갖으면서도 단순한 자동동조 PID제어기를 개발하였다. 이를 위하여 릴레이케환과 GA를 이용한 초기동조 방법과 규칙에 의한 온라인 동조기능을 제안하였다. 이들 방법은 매우 단순하고 견실하여 On-chip 마이크로프로세서 상에 구현하고 현장에 이미 설치된 PID제어기의 동조기로 이용할 수 있다.

2. GA를 이용한 최적 PID 제어계수 결정

유전 알고리즘은 미지의 함수를 최적화하는 계수를 발견하는 모의 진화형의 탐색알고리즘으로 아래와 같이 기본의 최적화 알고리즘과는 다른점들이 있다.

1)GA는 파라미터 자체를 사용하는 것이 아니라 파라미터 집합을 코딩해서 사용한다.

2)GA는 탐색공간에서 단일 해를 사용하는 것이 아니라 해집단을 사용한다.

3)GA는 미분 가능성, 연속성 등과 같은 최적화 함수의 정보를 필요치 않고 적합도 함수값만 이용한다.

4)GA는 결정론적인 전이규칙이 아닌 확률적인 전이 규칙을 사용한다.

본 논문에서는 기본의 릴레이 케환에 의한 PID제어기의 동조계수를 구하던 방법의 장점을 살리면서 최적의 계수를 얻기위해 GA를 이용하고자 한다. 그러나 GA를 이용한 최적의 동조계수 선정은 그 구조상 실시간 동조는 거의 불가능하다. 따라서 본 연구에서는 다만 초기동조를 하는데 있어서 GA를 이용하고 가능한 빠른 수렴과 견실한 동조값을 구할 수 있도록 릴레이 케환에 의한 임계값과

연관시켰다.

PID제어기의 전달함수를 식(1)과 같이 표현하면 Ziegler-Nichols 동조는 릴레이 궤환에 의한 임계값을 이용 식(2)에 의하여 동조계수를 제공한다.

$$u(t) = K_p [e(t) + f e(t)dt/T_i + T_d de(t)/dt] \quad (1)$$

$$K_p = 0.6k_c, T_i = 0.5t_c, T_d = 0.25T_i \quad (2)$$

GA를 이용한 PID제어기의 최적 동조계수(K_p, T_i, T_d)을 구하는데 있어서 문자열의 길이를 간략화하는 한편 견실성을 향상시키고 시스템의 동특성 변화에도 적용할 수 있도록 위하여 식(2)를 식(3)과 같이 a 의 함수로 표현하였다.

$$K_p = 1.2ak_c, T_i = 0.75t_c/(1+a), T_d = 0.25T_i \quad (3)$$

즉, 본 논문에서는 동조기능을 초기동조와 온라인 동조로 구성하며 초기동조 기능은 GA와 릴레이궤환에 의하여 수행한다. 온라인 동조는 오차의 크기와 변화량에 따라 a 를 조절하므로써 PID제어수를 자동동조하도록 한다. 제안한 동조과정은 그림 1과 같다.

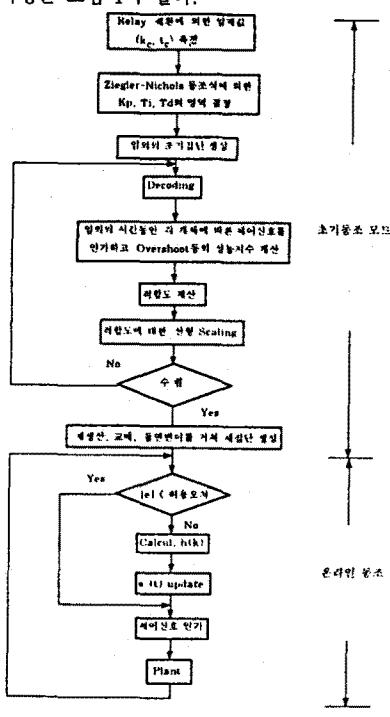


그림 1. 단순한 자동동조 제어기의 흐름도

3. 단순 규칙에 의한 온라인 동조

식(3)으로 표현한 동조수식은 PID제어 이득과 출력의 형태사이의 임의의 규칙에 의하여 플랜트 출력을 적절히

조절하는 역할을 한다. 또한, a 의 증가로 비례이득이 증가(감소)하면 적분과 미분시간이 감소(증가)하도록 한다. a 값의 조절은 크게 출력신호(y)와 기준입력(y_r) 사이의 네가지 경우로 나누어 규칙화 한다. 즉, 출력신호가 기준입력에 위나 아래에서 접근할 때와 이탈할 때로 나누며, 접근할 때는 a 를 크게하여 접근 속도를 가속화하고 이탈할 때는 a 를 작게하여 이탈 정도를 느리게 한다. a 의 update는 변화를 완만하게 하고 한정된 적용성을 갖도록 0에서 1사이의 값으로 제한하고 식(5)와 같이 표현한다.

```

if( e(k)*de(k)<0 )
  h(k) = |h(k)|;
else
  h(k) = -|h(k)|;
  
```

(4)

```

a(k) = a(k-1) + h(k)*(1-a(k)), for a(k)>0.5
a(k) = a(k-1) + h(k)*a(k), for a(k)<=0.5
  
```

(5)

여기에서 a 의 update 계수인 $h(k)$ 는 오차(e)와 오차의 변화량(de)에 의한 제어신호의 크기를 결정하는 표준 fuzzy 규칙을 하나의 식(6)으로 수식화하고 scaling값에 해당하는 K_u, K_e, K_{de} 값은 초기동조 모드에서 제공된 임계값에 의하여 정한다.

$$h(k) = K_u(K_e * e + K_{de} * de) \quad (6)$$

4. 시뮬레이션 및 결과

최적의 동조계수를 구하는데 있어서 GA이용 가능성을 실험하기 위하여 초기 공정모델로 $1/(1+3s)(1+5s)$ 를 그후 표1과 같이 변화된 플랜트로 설정하고 300에서 350스텝사이에 20% 크기의 외란을 인가하였다. GA 개발환경은 문자열의 길이를 16, 모집단의 크기를 60개로 정하였다. 또한, 교배율은 0.64, 돌연변이율은 0.033으로 설정하여 실험하였다. 최적동조계수는 수렴 후 모집단중 최대값으로 선정하였으며 이 때의 a 값은 0.583, 즉, $K_p=4.7139, T_i=4.7378, T_d=1.18446$ 인 최적 동조계수를 찾아냈다.

표 1. 플랜트 모델의 변화

스텝	공정모델
1-100	$1 / (1 + 3s)(1 + 5s)$
101-200	$e^{-4s} / (1 + 5s)$
201-300	$e^{-4s} / (1 + 3s)(1 + 5s)$
301-500	$e^{-3s} / (1 + 0.5s)(1 + 2s)$

그림 2는 GA에 의한 동조제어기, 릴레이동조기 및 적용규칙을 참가한 동조기에 의한 응답결과를 표시하였다. 그

림에서 보듯이 초기동조 기능은 각 방법마다 큰 차이가 없으나, 동특성이 변화할 때는 큰차이가 있음을 알 수 있다. 그림 3은 이러한 특성이 좀더 구체적인 결과로써 기준 입력이 변화하고 플랜트가 변화된 환경에서의 실험결과이다. 그림 4는 규칙에 의한 적응기능을 갖는 동조기의 특성을 나타낸 것으로 5%크기의 노이즈와 20%크기의 외란이 인가된 환경에서도 견실한 결과를 보였다. 그림 5는 비최소위상($(1-4s)/(1+4s)(1+5s)$)시스템에 적용한 응답이다.

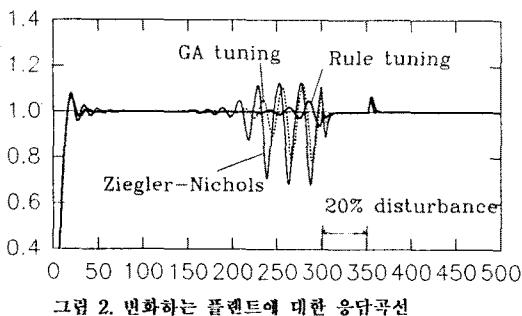


그림 2. 변화하는 플랜트에 대한 응답곡선

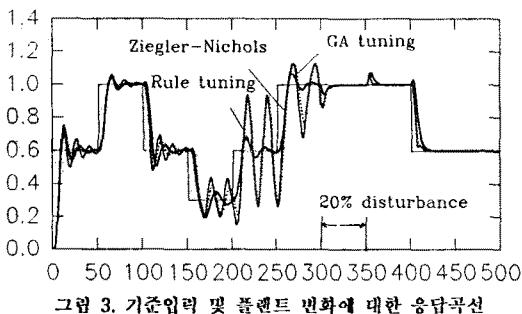


그림 3. 기준입력 및 플랜트 변화에 대한 응답곡선

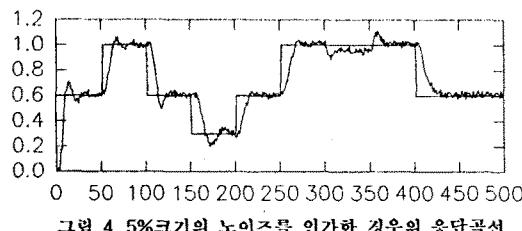


그림 4. 5%크기의 노이즈를 인가한 경우의 응답곡선

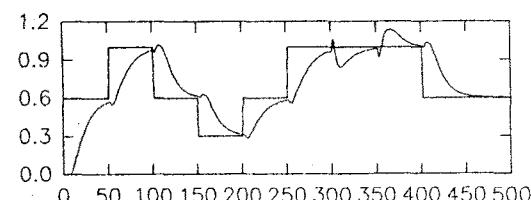


그림 5. 비최소위상 플랜트에 대한 응답곡선

5. 결 론

GA를 이용한 동조기능의 개발 가능성에 관심을 기울였으나 실험과정중 변수의 선정과 실시간 동조기능의 불가능성을 확인하였다. 비록, GA의 이용은 초기동조값을 최적으로 선정하였으나 실험결과 릴레이제환에서 얻은 임계값을 이용한 동조기능과 큰 차이가 없음을 확인하였다. 본 연구에서는 제어환경의 변화나 플랜트 동특성 변화에 적응기능을 갖는 단순하고 견실한 자동 동조기능을 개발하고 그 가능성을 확인하였다. 릴레이제환에 의한 초기동조모드에 제안한 적응동조 기능을 첨가하여 단일칩 마이크로프로세서상에 구현한 자동동조기는 기존 현장에 설치된 PID제어기의 동조기로서 널리 이용할 수 있으리라 사료된다.

참고문헌

- [1] T. Hagglund and K.J. Astrom, "Automatic Tuning of PID Controllers," Instrument Society of America, 1988.
- [2] G.A. Dumont, C. Zervos and P.R. Belanger, "Automatic Tuning of Industrial PID Controllers," ACC, Vol. 1, pp.1573-1578, 1985.
- [3] E.H. Bristol, et all, "Adaptive Process Control by Pattern Recognition," Instrument and Control Systems, pp.101-105, March, 1977
- [4] K.J.Astrom and T. Hagglund, "Automatic tunnig of PID controllers based on dominant pole design," Proc. IFAC Conference on Adaptive Control of Chemical Process, pp.205-210, 1985.
- [5] K.J.Astrom and T. Hagglund, "Automatic tuning of simple regulators with specifications on phase and amplitude margins," Automatica, Vol.20, No. 5, pp.645-651, 1984.
- [6] P.Z.Wang, et all, "PID Self-tuning control using a fuzzy adaptive mechanism," Proc. IEEE Int. Conf. Fuzzy System, pp.708-713, 1993.
- [7] D.P.Kwok and P.Wang, "Fine-tuning of classical PID controllers based on genetic algorithms", IEEE Int. Workshop on ETFA, pp.37-41, 1992.