

자기 조정 퍼지 로직 제이기 설계에 관한 연구

허 권^o 이상혁
아주대학교 제어계측공학과

A study on design of Self-Organizing Fuzzy Logic Controller

Kwan Hur^o Sang-hyuk Lee
Dept. of Control & Instrumentation Eng., Ajou Univ.

Abstract

This paper presents a design technique of SOFLC(Self-Organizing Fuzzy Logic Controller). It is composed of three parts: FLC(Fuzzy Logic Controller) part, RPO (Repeat Parameter Organizing) part, and RTPO (Real Time Parameter Organizing) part. The FLC part is controlled by initial parameters (a₁, a₂, a₃, b₁, b₂, b₃), the RPO part improves parameters by evaluating the performance of control responses controlled by FLC, and the RTPO organizes the parameters for real time in order to have the same value of the control response(y_k) and the target response(y_k^{*}).

1. 서 론

SOFLC는 동특성이 변화하는 환경에서 또는 system의 실행성, 비선형성에 관계없이 전문가의 지식 및 경험에 기초한 If-then 형식의 언어적 제어 규칙을 형성하고, 전진부 및 후진부 parameter를 반복 조정후 실시간 조정하여 원하는 응답 특성을 얻을 수 있다. 본 연구에서는 제어 응답 결과를 평가하여 조정하는 학습 규칙으로 자기 조정 기능을 부가한 FLC의 구성에 관해 서술하고, 제어기의 simulation 결과를 통해 양호한 응답 특성이 얻어짐을 보이고 그 유용성을 검토한다.

2. 제어기의 구성

2-1. FLC 부분

FLC의 언어적 제어 규칙은 아래와 같이 6개의 규칙으로 한다.

- R1: If e_k is P₁ then Δu_k is P₁₁
- R2: If e_k is N₁ then Δu_k is N₁₁
- R3: If Δe_k is P₂ then Δu_k is P₁₂
- R4: If Δe_k is N₂ then Δu_k is N₁₂
- R5: If Δ²e_k is P₃ then Δu_k is P₁₃
- R6: If Δ²e_k is N₃ then Δu_k is N₁₃

여기에서 e_k=r-y_k(제이편차), Δe_k=e_k-e_{k-1}(제이편차의 1계차분), Δ²e_k=Δe_k-Δe_{k-1}(제이편차의 2계차분), Δu_k는 조작량의 변화분이고, r은 단위계단입력이며, y_k는 plant의 출력이다.

또한 P는 positive를 N은 negative를 나타낸다. 이들 membership 함수는 그림 2-1과 같고, 전진부 변수는 아르탄젠트형인 식 (2.1)이며, 후진부 변수는 직선형인 식(2.2)과 같다.

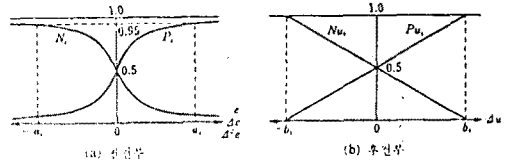


그림 2-1 membership 함수.

$$\mu_{P_i}(e_i) = \frac{1}{\pi} \tan^{-1}(d_i e_i) + 0.5 \quad \mu_{N_i}(\Delta u_i) = \frac{1}{2b_i} \Delta u_i + 0.5$$

$$\mu_{N_i}(e_i) = \frac{1}{\pi} \tan^{-1}(-d_i e_i) + 0.5 \quad \mu_{P_i}(\Delta u_i) = -\frac{1}{2b_i} \Delta u_i + 0.5$$

식(2.1) 식(2.2)

(단, e₁=e_k, e₂=Δe_k, e₃=Δ²e_k, d_i=tan(0.45π)/a_i, i=(1,2,3))

조정될 parameter는 a_i, b_i(i=1,2,3)인데, 전진부 변수인 a_i는 0.95의 grade를 가진 때 support의 값으로 하고, 후진부 변수인 b_i의 값은 기울기를 결정하는 값으로 하면, 이 두 값들은 Δu_k의 값에 직접적인 영향을 주기 때문에 Δu_k를 변화시키고자 할 때에는 parameter a_i, b_i를 변화시키면 된다. 추론은 가중 평균치를 이용한 간략법으로 식(2.3)으로 표현된다.

$$\Delta u_k^* = \frac{\sum_{i=1}^6 w(i) \times x(i)}{\sum_{i=1}^6 w(i)} \quad (2.3)$$

여기에서, w(i)는 e_k, Δe_k, Δ²e_k에 대한 전진부의 grade이고, x(i)는 w(i)에 대한 후진부의 support 값이다.

또한, 최종적으로 제어기의 출력은 u(k) = u(k-1) + Δu_k로 계산한다.

2-2. 반복 파라미터 조정 부분

FLC에 의해서 제이가 종료된 시점에서 overshoot, rise time, 최대진폭(am) 등을 평가하여 각각의 값들의 실제치에서 목표치를 뺀 값(즉 e_{ov}, e_{rt}, e_{am})들의 양호한 정도에 관한 membership 함수를 정의하여 그 값들 중 최소값이 중요 기준 상수 값을 만족할 때까지 parameter를 반복 조정한다. 제어 규칙은 FLC가 PID controller와 유사하다는 것을 고려하여 표 2-1 과 같이 결정한다.

신 건 부	후 건 부						
제어성능	Δa_1	Δa_2	Δa_3	Δb_1	Δb_2	Δb_3	
e_{ov}	F_{a1}	PB	NB	NB	PZ	PZ	NZ
	N_{a1}	NB	PB	PB	NZ	NZ	PZ
e_{rt}	F_{a2}	NS	PS	PS	NZ	NZ	PZ
	N_{a2}	PS	NS	NS	PZ	PZ	NZ
e_{am}	F_{a3}	PM	NM	PM	NZ	NZ	PZ
	N_{a3}	NM	PM	NM	PZ	PZ	NZ

표 2-1 반복 파라미터 조정 규칙

전진부 변수는 직선형이고, 후진부 변수는 삼각형으로 membership 함수를 구성하고, 추론 역시 식(2.3)과 같은 가중 평균치를 이용하여 파라미터의 변화분에 대하여 a_i , b_i 는 식 (2.4)와 같이 수정된다.

$$\begin{aligned} a_i^{new} &= a_i^{old} + (1-bp)\Delta a_i \\ b_i^{new} &= b_i^{old} + (1-bp)\Delta b_i \end{aligned} \quad (\text{단, } i=1,2,3) \quad (2.4)$$

여기서 bp는 식 (2.5)로 표현되며, 각각 overshoot, rise time, 최대진폭의 값들이 양호한 정도를 나타내는 membership 함수의 최소치를 선택하는 평가치이다.

$$bp = \min\{ \mu_{ov}(e_{ov}), \mu_{rt}(e_{rt}), \mu_{am}(e_{am}) \} \quad (2.5)$$

또한, 이들도 삼각형으로 membership 함수를 구성하고, bp와 종료 기준 상수(α)가 다음 식(2.6)을 만족될 때 반복 파라미터 조정이 종료되게 한다.

$$bp \geq \alpha, \quad \alpha \in [0,1] \quad (2.6)$$

2-3. 실시간 파라미터 조정 부분

실시간 파라미터 조정이란 반복 조정에 의해서 수정된 파라미터를 초기 값으로 하여 제어 응답이 관측된 시점에서 제어량(y_k)이 목표 응답(y_k^*)에 일치되도록 FLC부분의 파라미터를 실시간에 조정하는 것이다. 목표 응답에 대한 제어 응답은 4가지 표현으로 생각할 수 있고, 이 4가지 패턴에 대한 조작량의 관계를 4가지의 제어 규칙으로 아래와 같이 형성한다.

- R1: If e_k^* is P & Δe_k^* is P then Δu_k is PB
- R2: If e_k^* is P & Δe_k^* is N then Δu_k is NS
- R3: If e_k^* is N & Δe_k^* is P then Δu_k is PS
- R4: If e_k^* is N & Δe_k^* is N then Δu_k is NB

여기에서 $e_k^* = y_k^* - y_k$, $\Delta e_k^* = e_k^* - e_{k-1}^*$, e_k^* 는 응답 편차, Δe_k^* 는 응답 편차의 1계차분이다. 또한 현재의 e_k , Δe_k 에 대한 제어기의 출력의 조작량은 각각 식 (2.7)에 나타난 정점 I, P, D이기 때문에 Δu_k 를 증가하고 싶을 때, 정점이 정의 영역에 있으면 a_i 를 작게, b_i 를 크게 하고, 정점이 부의 영역에 있을 때에는 a_i , b_i 양의 변화를 정의 영역에 있을 때와 반대로 하면 된다. Δu_k 를 감소하고 싶을 때, 정점이 정의 영역에 있을 때에는 a_i 를 크게, b_i 를 작게 하고 정점이 부의 영역에 있을 때에는 a_i , b_i 의 조직의 변화 분은 정의 영역과 반대로 하면 된다.

$$\begin{aligned} I\text{점} &: \frac{1}{\pi} 2b_1 \tan^{-1} \left(e_k \frac{(\tan 0.45\pi)}{a_1} \right) \\ P\text{점} &: \frac{1}{\pi} 2b_2 \tan^{-1} \left(\Delta e_k \frac{(\tan 0.45\pi)}{a_2} \right) \\ D\text{점} &: \frac{1}{\pi} 2b_3 \tan^{-1} \left(\Delta^2 e_k \frac{(\tan 0.45\pi)}{a_3} \right) \end{aligned} \quad (2.7)$$

또한, 계산을 간단히 하기 위하여 어떤 하나의 파라미터 (예를 들면 Δa_i , Δb_i)를 추론하여 그 값을 다른 파라미터에 비례 배분하는 방법으로 하고, 이때 수정 후의 파라미터는 식 (2.8)와 같다.

$$\begin{aligned} a_1^{new} &= a_1^{old} + \text{sign}(I) \cdot \lambda_1 \cdot \Delta a_1 \\ a_2^{new} &= a_2^{old} + \text{sign}(P) \cdot \lambda_2 \cdot \Delta a_1 \\ a_3^{new} &= a_3^{old} + \text{sign}(D) \cdot \lambda_3 \cdot \Delta a_1 \\ b_1^{new} &= b_1^{old} + \text{sign}(I) \cdot \lambda_4 \cdot \Delta b_1 \\ b_2^{new} &= b_2^{old} + \text{sign}(P) \cdot \lambda_5 \cdot \Delta b_1 \\ b_3^{new} &= b_3^{old} + \text{sign}(D) \cdot \lambda_6 \cdot \Delta b_1 \end{aligned} \quad (2.8)$$

여기에서 환산 계수 $\lambda_1 \sim \lambda_6$ 은 정의의 비례 상수이다. 또한, 이 값의 결정은 제어기 성능에 영향을 미치기 때문에 중요하다. 파라미터의 조정은 a_i 를 변화시켜 Δu_k 를 증가시켜도 b_i 를 움직이면 Δu_k 가 감소하는 경우가 있기 때문에 a_i 와 b_i 의 조정은 교대로 하고 제어 편차가 일정량 미만이면 파라미터는 전 값을 유지하도록 한다.

3. simulation 연구

simulation은 전달 함수가 식(3.1)에 나타난 2차 system에 적용하여 SOFLC의 유용성을 검토하였으며, simulation의 초기 값들은 아래와 같다.

$$G(s) = \frac{10}{s^2 + 3s + 2} \quad (3.1)$$

- 1) FLC 부분 : parameter $a = [1 \ 1 \ 1]$
 $b = [0.7 \ 0.7 \ 0.7]$
- 2) RPO 부분 : PB=6, PM=4, PS=2, PZ=1
NB=-6, NM=-4, NS=-2, NZ=-1
 $\alpha=0.97$
- 3) RTPO 부분 : PB=2, PS=1, NB=-2, NS=-1
 $\lambda_1=0.01, \lambda_2=0.01, \lambda_3=0.05$
 $\lambda_4=0.001, \lambda_5=0.002, \lambda_6=0.002$

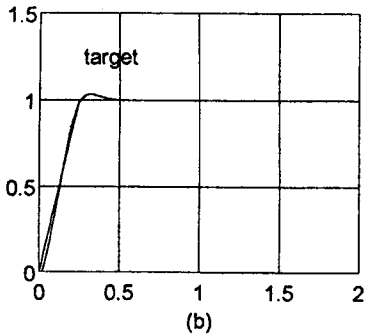
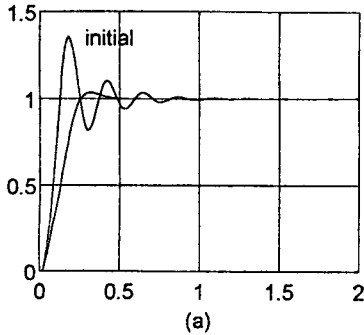
SOFLC의 각 부분에서 제어가 종료된 후에 변경된 parameter는 표 (3-1)과 같다.

	초기값	반복조정후	실시간조정후
a_1	1	1.7748	1.7742
a_2	1	0.2252	0.2253
a_3	0.1	0.0664	0.0701
b_1	0.7	0.6875	0.6875
b_2	0.7	0.6875	0.6874
b_3	0.7	0.7125	0.7124

표 3-1 parameter 변화표

simulation을 통한 응답 특성 비교는 그림 3-1과 같고, 그림 3-1의 (a)는 초기 parameter로 FLC부분에서 제어된 응답 특성과 최종적으로 parameter가 조정된 후에 응답 특성을 서로 비교한 것이다. 그림 3-1의 (b)는 식 (3.2)에 표현된 목표응답과의 특성을 서로 비교한 것이다.

$$y_k^* = 4t(u_0(t)-u_{0.25}(t))+u_{0.25}(t) \quad (3.2)$$



4. 결 론

SOFLC는 부하 변동이 큰 조건하에서는 한 쌍의 파라미터만으로는 최적량의 결과를 얻는 것이 곤란한 경우에 파라미터를 학습 규칙에 따라 재조정하는 전문가 system이라고 할 수 있다. 위의 방법으로 제어한 결과 제어기의 각 부분에 대하여 조정 후의 파라미터는 양호한 응답 특성이 얻어 지도목 수정됨을 알 수 있다. 그러나 실시간 조정 부분에서, 제어기는 환산 계수 $\lambda_1 \sim \lambda_6$ 의 선정에 따라 특성이 변화하므로 환산 계수 선정에 대한 제어 규칙을 형성하여 환산 계수를 함께 조정할 수 있는 자기 조정 퍼지 논리 제어기에 관한 연구가 필요하다.

참고문헌

- [1] T.J.Procyk, E.H.Mamdani, "A linguistic self-organizing process controller", Automatica, vol. 15, pp 15-30, 1992.
- [2] B.S.Zhang, J.M.Edmunds, "self-organizing fuzzy logic controller ", IEE Proceedings-D, vol. 139, no. 5, Sep. 1992.
- [3] 菅野道夫 原著, 朴致用, 崔恒植 譯, "퍼지 제어 시스템", 大英社, 1990, pp 76-92.
- [4] 菅野, 寺野 公編, 朴致用, 崔恒植 譯, "퍼지 시스템 응용입문", 大英社, 1990, pp 87-101.
- [5] E.H. Mamdani and S. Assilian, "A fuzzy logic controller for a dynamic plant" Int. J.Man-Machine Studies, vol. 4, pp 1-13, 1975.
- [6] L.A. Zedeh, "Fuzzy Sets, "Information and Control, vol.8, pp 338-353, 1965.