

유전 알고리즘과 퍼지제어기를 이용한 크레인제어기의 설계

조성배*, 박경훈, 이양우
 동의대학교 전기공학과

Design of Crane Controller using GA & Fuzzy Control

Sung-Bae Cho*, Kyung-Hun Park, Yang-Woo Lee
 Department of Electrical Engineering, Dong-Eui University

Abstract - The goal of crane control system is transporting heavy objects to a target position as fast as possible without rope oscillation. This paper presents a GA-based fuzzy logic controller for crane system. GA is going to decide membership functions, instead of an expert. In this paper, The centers and widths of the membership function of the fuzzy sets defined over the input space, the orders and parameters of subsystems in the consequence parts are adjusted by a genetic algorithm. The effectiveness of the proposed method is verified by simulation.

1. 서 론

크레인 시스템은 중량물의 운반에 있어 이미 광범위하게 사용되어 지고 있는 기구임에도 불구하고 운반물의 위치제어 및 운반 작업시 발생하는 흔들림 현상은 아직도 문제시 되고있다. 현재도 이 시스템은 운전자의 경험과 숙련도에 의존되고 있는 실정으로 이의 자동화를 위한 많은 연구가 계속 되어지고 있다.[1]

기준 모델 적응제어 (Model Reference Adaptive Control :MRAC), 자기 조정제어(Self-tuning Control :STC), 자동조정 (Auto-tuning) [2][3]등 다양한 방법들이 제시되었지만 일반적으로 강한 비선형성과 다양한 동작조건을 가지는 크레인 시스템의 효율적인 제어방식으로서 만족할 만한 성과를 거두기 어렵다. 이러한 제어기법들은 정확한 수학적 모델링과 시스템의 결정적 성질에 의존하고 있어, 규정된 제어환경에서는 성공적으로 동작하지만, 주위환경에 따른 파라미터의 변화 또는 외란에 대한 적응성이나, 시스템의 비선형성에 대한 복잡한 제어 이론이 부가되어 적용한계에 문제점이 있어 왔다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 인간의 사고능력과 적응능력을 갖는 지능형 퍼지제어 기법이 도입되었다. 퍼지제어 기법은 인간의 애매한 사고에 기초하여 제어 알고리즘을 구성함으로써 공정제어 및 비선형 제어에 대하여 기존의 제어 시스템보다 탁월한 성능이 입증되었다.[4]

퍼지제어기는 비선형 시스템 제어에 있어서 수학적 모델링을 요구하지 않으며 전문가의 지식으로 적절한 멤버쉽함수가 설정되면 만족할 만한 능력을 발휘하는 제어를 설계 할 수 있는 설계상의 장점을 지니고 있다. 그러나 추론규칙과 멤버쉽 함수를 결정하는 작업이 체계적이지 못하며, 많은 시행착오를 거쳐야 하는 단점을 가지고 있다.

따라서 본 논문에서는 입력력 멤버쉽 함수의 결정에 있어 수치최적화에 뛰어난 성능을 발휘하는 유전자 알고리즘을 적용하여 오프라인으로 자동 동조하는 최적화 방법을 제안하였고, 시뮬레이션을 통해 제어성능을 입증하고자 하였다.

2. 크레인 시스템 모델링

그림 2.1과 같이 트롤리에 운반물체가 매달려 있는 천장 크레인의 구조를 이용하여 수학적 모델을 구하였다.

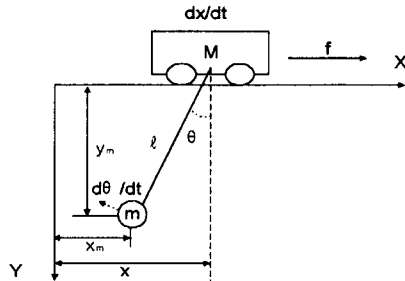


그림 2.1 크레인 시스템 모델
 Fig. 2.1 Crane system model

여기서 트롤리의 수평방향을 x, 수직방향을 y, 트롤리에 작용하는 힘을 f, 진자의 흔들림 각도를 θ, 트롤리의 질량을 M, 진자의 질량을 m으로 나타내었다.

먼저 트롤리는 X축을 따라 수평 운동만을 한다고 가정한다. 따라서 진자의 흔들림은 트롤리의 이동방향과 수직선이 이루는 2차원 평면 안에서만 발생한다고 보고 마찰력이나 공기저항에 따른 영향은 아주 작으므로 무시할 수 있다고 보면 크레인 시스템의 수학적 모델링은 다음과 같다.

x축에 대한 트롤리의 운동방정식은

$$M \frac{d^2x}{dt^2} + m \frac{d^2x_m}{dt^2} = f \tag{1}$$

$$(M + m) \frac{d^2x}{dt^2} + ml(\sin\theta) \left(\frac{d\theta}{dt}\right)^2 - ml(\cos\theta) \frac{d^2\theta}{dt^2} = f \tag{2}$$

로 구성된다. 진자의 회전운동에 관한 식은 다음과 같다.

$$m \frac{d^2x_m}{dt^2} l \cos\theta - m \frac{d^2y_m}{dt^2} l \sin\theta = mgl \sin\theta \tag{3}$$

$$\frac{d^2x}{dt^2} \cos\theta - l \frac{d^2\theta}{dt^2} = g \sin\theta \tag{4}$$

윗 식에서 진자의 진동각과 각속도가 아주 작다고 가정하면 $\sin\theta \approx \theta$, $\cos\theta \approx 1$, $\theta(\dot{\theta})^2 \approx 0$ 으로 가정할 수 있으며 크레인 시스템을 다음 식과 같이 선형화시킬 수 있다.

$$(M + m) \ddot{x} - ml \ddot{\theta} = f \tag{5}$$

$$\ddot{x} = l \ddot{\theta} + g\theta \tag{6}$$

이 방정식을 이용하여 상태 공간으로 나타내기 위하여 아래와 같이 상태변수를 결정한다.

$$x_1 = \theta, \quad x_2 = \dot{\theta}, \quad x_3 = x, \quad x_4 = \dot{x} \quad (7)$$

이 상태 변수에 의한 상태 방정식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \\ \dot{x}_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ -(M+m)g & 0 & 0 & 0 \\ ml & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ -\frac{mg}{M} & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{Ml} \\ 0 \\ \frac{1}{M} \end{bmatrix} f \quad (8)$$

3. 제어기 설계

3.1 제어기의 구조

본 논문에서 제안한 제어기의 구성은 크레인 시스템의 목표 위치값과 각도를 현재상태와 비교, 이때의 오차를 퍼지제어의 입력으로 하고 이의 출력을 유전자 알고리즘을 통하여 평가함으로써 각각의 오차를 최소화하는 최적화된 멤버십함수를 찾아내는 방식으로 이루어져 있다. 전체시스템의 구성을 블록다이어그램으로 나타내면 그림 3.1과 같다.

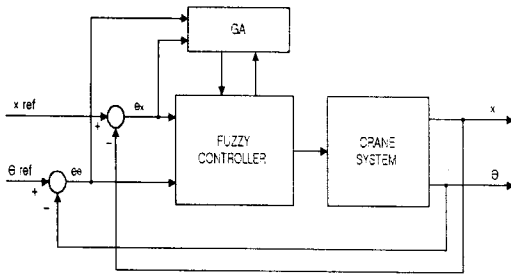


그림 3.1 GA를 이용한 퍼지 제어기 블록다이어그램
Fig. 3.1 Block diagram of fuzzy controller using GA

3.2 퍼지 제어기

퍼지추론 방법은 Max-Min 합성으로서 전건부 적합도 중 Min값을 이용해 각 규칙의 적합도를 구하고 후건부의 퍼지집합을 통해 각각 규칙에 의한 추론결과를 구한 후 Max연산을 통해 얻어진 추론결과와 무게중심값을 최종적인 플랜트의 입력으로 결정하는 Mamdani의 Min-Max-Gravity방법을 사용하였다. 본 논문에서 사용된 퍼지 제어기의 변수는 트롤리의 목표지점 도달거리 오차 e_x 와 컨테이너의 흔들림 정도 e_θ 를 입력변수로 두었고 힘 f 를 출력변수로 하였다. 출력에 따른 각각의 오차를 위치오차 멤버십함수와 각도오차 멤버십함수에 되먹임하여 퍼지규칙에 적용하였고 추론결과를 출력에 관한 멤버십함수로 상기 방법을 이용하여 출력 f 를 구하였다. 각각의 소속함수는 삼각형 함수를 사용하였으며 이들 소속함수의 꼭대기 꼭지점의 위치는 유전자 알고리즘을 통해 결정되어 진다. 표1은 본 논문에서 사용된 퍼지 규칙을 나타내고 있으며 총 49개의 규칙을 기반으로 구성하였다.

표 1. 제어규칙표
Table 1. Rule table for fuzzy control

$e_x \backslash e_\theta$	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NM	NM	NM	PS	PM
NM	NB	NB	NM	NS	NS	PS	PB
NS	NB	NB	NS	PS	PS	PM	PB
ZO	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
PS	NB	NS	NS	NS	PS	PM	PB
PM	NB	ZO	ZO	PS	PS	PM	PB
PB	NM	PS	PS	PM	PM	PB	PB

PB: Positive Big PM: Positive Medium PS: Positive Small ZO: Zero NS: Negative Small NM: Negative Medium NB: Negative Big

3.3 유전 알고리즘을 이용한 파라미터 추정

본 논문은 유전자 알고리즘의 코딩 방식을 실수형으로 하였다. 기존의 이진코딩(Binary Coding)방식은 해밍 절벽(Hamming Cliff)과 이에 따른 국소해로의 조기수렴 위험뿐 아니라 정밀도를 요하는 다변수 함수의 경우 해벡터의 길이가 너무 길어짐으로서 연산속도가 느려지는 단점이 있는 반면 실수형 코딩방식은 문제공간과 표현공간이 가깝고 국소조정에 유리하며 연산속도가 빠르고 문제역영과 정밀도의 확장이 용이한 장점이 있다.

임의의 두 해벡터를 다음과 같이 두었을 때,

$$s_c^i = \langle v_1, v_2, \dots, v_m \rangle \quad s_w^i = \langle w_1, w_2, \dots, w_m \rangle \quad (9)$$

유전자 알고리즘에 사용된 주요한 연산은 다음과 같다.

1. 교배 연산

교배 위치 k 가 선택되면 교배는 난수 α, β 를 발생하여

$$s_c^{i+1} = \langle v_1, \dots, \alpha \cdot v_k + \beta \cdot w_k, \dots, v_n, v_m + \beta \cdot w_m \rangle$$

$$s_w^{i+1} = \langle w_1, \dots, \alpha \cdot w_k + \beta \cdot v_k, \dots, w_n, w_m + \beta \cdot v_m \rangle \quad (10)$$

로 된다. 만약 식 (10)에서의 연산과정에서 발생한 새로운 유전자가 구속조건을 벗어나는 경우는 식 (11)과 같이 경계치 내부에 둔다.

$$\text{if } \alpha \cdot v_k + \beta \cdot w_k \leq l_k \quad \alpha \cdot v_k + \beta \cdot w_k = l_k$$

$$\text{if } \alpha \cdot v_k + \beta \cdot w_k \geq u_k \quad \alpha \cdot v_k + \beta \cdot w_k = u_k \quad (11)$$

2. 돌연변이 연산

돌연변이 연산에서는 선택된 염색체를 일정범위내의 난수 γ 를 발생시켜 돌연변이 시켰다. 한 유전자에서 k 번째 염색체가 선택되어졌다면 그 유전자는

$$s_c^i = \langle v_1, \dots, v_{k-1}, \gamma, v_{k+1}, \dots, v_m \rangle \quad (l_k \leq \gamma \leq u_k) \quad (12)$$

로 돌연변이된다.

3. 엘리트 연산

각 세대별로 가장 좋은 적합도를 가진 유전자를 다음 세대에 반영하고 이들을 비교하여 그 중 최고의 적합도를 갖는 유전자를 최종해로 선택한다.

4. 평가 함수

각 유전자의 적합도를 계산하기 위한 평가함수는 식 (13)과 같다. 거리오차와 위치오차의 합을 최소화하는 유전자가 최고의 적합도를 가지게 된다.

$$eval(v_i) = \frac{1}{100 + \sum (w_1 |e_x| + w_2 |e_\theta|)} \quad (13)$$

$w_1, w_2 =$ 각 오차의 가중치 ($w_1, w_2 > 0$)

사용되어진 각 연산들의 전체적인 흐름을 연산순서대로 간략히 나타내어 보면 그림 3.2와 같다.

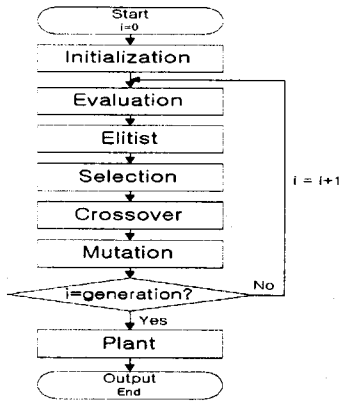


그림 3.2 퍼지제어기를 위한 유전자 알고리즘의 흐름도
Fig. 3.2 Flow-chart of GA for fuzzy controller

4. 시뮬레이션

본 논문에 사용한 크레인 시스템의 파라미터를 다음 표 2에 나타내었다. 이 파라미터를 그림 3.1과 같이 제안한 제어기에 적용하여 운반물의 위치오차, 진동오차 및 이동속도 등을 구하고 일반 퍼지 제어기와의 성능비교를 나타내었다.

표 2. 크레인 시스템 파라미터

Table 2. Parameters of the crane system

파라미터	값
트롤리 질량	4.2[kg]
진자의 질량	5.6[kg]
로프의 길이	0.86[m]
중력 가속도	9.8[m/sec ²]

로프의 길이 l 를 일정하게 고정하고 초기 흔들림은 없다고 했을 때 유전자 알고리즘에 의하여 최적화된 멤버쉽 함수는 그림 4.1과 같다. 이때 제어기의 출력이 그림 4.2(a)처럼 나타났다.

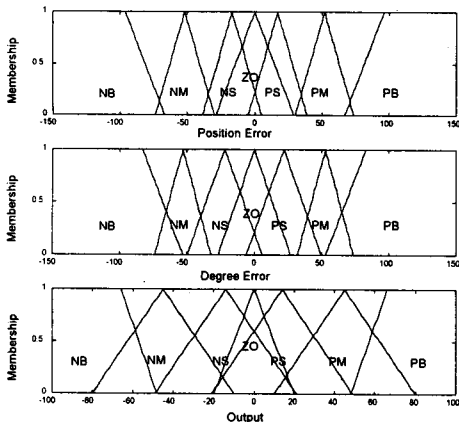
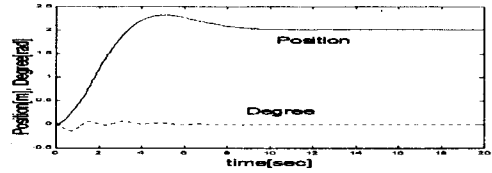
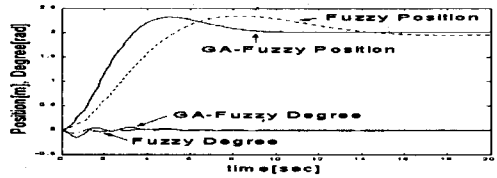


그림 4.1 GA에 의해 최적화된 퍼지멤버쉽함수
Fig. 4.1 Optimal Membership function using GA



(a)



(b)

그림 4.2 시뮬레이션 결과
Fig 4.2 Simulation result

동일한 조건에서 일반 퍼지 제어기와 GA-Fuzzy 제어기의 출력을 그림 4.2(b)에 나타내었다. 일반 퍼지 제어기와 비교하여 본 논문에서 제안한 퍼지멤버쉽함수를 GA로 최적화하였을 때의 응답이 뛰어난 것을 알 수 있다. 초기 흔들림은 일반 퍼지 제어기와 비슷하게 나타났으나 수렴속도는 현저히 개선되었다는 것을 보여주고 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 강한 비선형성과 다양한 동작환경을 가지는 크레인의 위치 및 흔들림을 제어하는 방법으로 기존 퍼지제어기에 유전자 알고리즘을 적용하여 오프라인으로 자동 동조하는 최적화 방법을 제안해 보았다. 전문가에 의한 멤버쉽함수의 결정 대신 유전알고리즘으로 소속함수를 튜닝시키고 이를 통해 얻어진 최적의 소속함수를 퍼지제어기에 적용시키는 방법으로 제어기를 구성한다. 이 방법을 크레인 시스템에 시뮬레이션을 실시한 결과 제안한 제어기가 기존의 퍼지제어기에 비해 향상된 성능을 보임을 알 수 있다.

상기 제어방법이 기존 퍼지제어기의 단점인 적절한 소속함수 결정작업의 어려움을 시행착오 없이 해결해 줄뿐만 아니라 전문가의 체계적인 지식이 없어도 효과적으로 제어할 수 있음을 확인하였다.

(참 고 문 헌)

- [1] Kimiaghalam B. Crane Control, Master Thesis, NC A&T state University, 1998.
- [2] W. Li, X. Cheng, "Computer Control of High Speed Cranes," Proceedings of the American Control Conference, pp. 2562-2566, 1993.
- [3] S. Sagara, F. Ohkawa, "Adaptive Control for Crane," 日本機械學會論文集, Vol. 56, No. 526, pp. 150-154, 1990.
- [4] S. Yasunobu, "Automatic Container Crane Operation Based on a Predictive Fuzzy Control," 計測自動制御學會論文集, Vol. 22, No. 10, pp. 60-67, 1986.
- [5] I. K. Jeong, J. J. LEE, "Adaptive Simulated annealing Genetic Algorithm for Control Applications," International Journal of Systems Science, pp. 241-253, 1996.
- [6] Mitsuo Gen and R. Cheng, Genetic Algorithms & Engineering Design, A Wiley-Interscience Publication, 1997.