지식의 습득과 구성에 의한 퍼지 제어기의 설계

Design of Fuzzy Controller based on Knowledge acquisition and implementation

°배 현*, 김 성신**, 정 재모*

* 부산대학교 전자전기통신공학부(Tel: 051-510-2367; E-mail: baehyeon@pusan.ac.kr)

** 부산대학교 전자전기통신공학부(Tel: 051-510-2374; E-mail: sskim007@pusan.ac.kr)

Abstract : Fuzzy control has been researched for application of industrial processes which have no accurate mathematical model and could not controlled by conventional methods because of a lack of quantitative input-output data. Intelligent control approach based on fuzzy logic could directly reflex human thinking and natural language to controller comparing with conventional methods. In this paper, the tested system is constructed for sending a ball to the goal position using wind from two DC motors in the path. This system contains non-linearity and uncertainty because of the characteristic of aerodynamics inside the path. The system used in this experiment could be hardly modeled by mathematic methods and could not be easily controlled by linear control manners. The controller, in this paper could control the system containing non-linearity and uncertainty because it is designed based on the input-output data and experimental knowledge obtained by trials.

Ⅰ. 서론

지난 수 십년 동안 퍼지 제어기는 기존에 사용하던 제어방법을 사용하기 어려운 실제 현장에서 많이 적용되기 위해 연구되어 왔다[1]. 기존에 사용하던 제어방법들은 수학적인 모델을 필요로 하고 복잡하거나 불확실성이 있는 모델은 다루기가 힘들다. 반면 퍼지 논리는 인간의 추론 능력을 시스템 추론에 적용시킬 수 있는 방법을 제공한다. 따라서 정확한 양자화 없이 제어 규칙을 만들 수 있다. 퍼지 논리의 또 다른 장점으로는 사람의 언어적 표현을 제어 규칙에 직접 적용시킬 수 있다는 것이다[5]. 본 실험에서 사용된 시스템의 특성상 실험적 지식에 기초한 제어기의 구성이 필요하였다. 기존에 사용하던 퍼지 제어에서는 여러 가지의 추론방법에 의해서 추론이 이루어지고 비퍼지화를 통해 실제 출력을 얻을 수 있다. 본 실험에서는 min 연산자와 퍼지 singleton을 사용하여 추론하고 출력을 산출하였다.

Ⅱ. 본론

1 실험 시스템

그림 1에서 보는 것처럼 비선형성과 불확실성을 가진 시스템에서 2개의 DC 송풍기를 이용하여 공을 원하는 위치로 보내려고 하는 것이 실험의 목적이다. 시스템의 비선형성과 불확실성 때문에 기존에 사용하던 PID제어기나 그 외의 선형적인 제어방법으로는 제어하기 어렵다. 본 실험에서 DC 모터로부터 나오는 바람이 시스템 내

부의 길을 따라 지나갈 때 내부 면과의 충돌이 생기고 여기서 와류가 발생하게된다. 이 와류는 바람의 세기를 변화시키며 이런 영향으로 힘이 구간에 따라 다르게 된다. 즉, 순간 순간의 상황에 따라 공이 받는 힘이 변하는 비선형 요소가 존재하게 된다. 그리고 바람에 의한 영향 등을 분석하기 어렵고 수시로 변하는 현상들 에 의해 플랜트의 모델링이 쉽지 않다. 따라서 입·출력 값으로 퍼지 제어기를 구성하여 시스템을 제어하고자 하는 것이 본 실험의 목적이다.

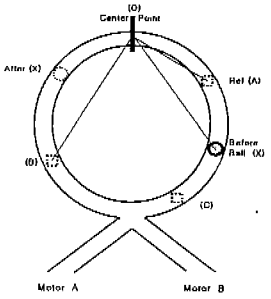


그림 1. 실험 시스템.

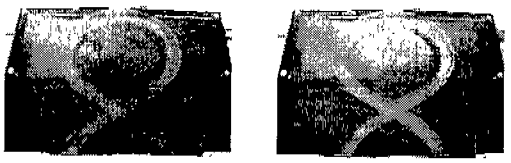
2 비전 시스템

CCD 카메라를 통해 실시간으로 시스템의 영상이 주 제어기가 있는 컴퓨터로 전송된다. 전송된 영상 정보를 통해 공의 위치를 파악하게 된다. 본 실험에서 사용된 시스템의 바탕 색깔·내부 길의 색깔 그리고 공의 색깔이 확연히 다르다. 바탕은 검은 색이고 길은 녹색이며 공은 노란색이다. 검은 색과 녹색은 노란색의 공에 비해 R(Red)· G(Green)·B(Blue)로 구성되는 화상의 기본 색깔에서 R성분이 상대적으로 적다. 따라서 색깔의 특징을 이용하여 공의 위치를 파악하는 알고리즘을 구성하였다. 움직이는 물체인 공의 색깔을 찾기 위해 두 화상에 있어서 화소간의 차이값(difference coding)을 구하였다[6]. 이 방법의 장점은 색깔만으로 찾는 방법에 비해 빛이나 다른 주위의 유사한 색깔에 대한 영향을 줄일 수 있다는 것이다.

두 화상에서 원하는 물체의 화상 값이 화소들의 차이값으로 저장되면 이 값을 이용하여 공의 중심점을 구한다. 공의 중심점은 면적 중심법을 이용하였다. 주어진 화상에서 문턱값을 주어 문턱값 이상일 경우 1의 값을 부여하고 그렇지 않은 경우 0값을 부여하여 2진 화상처럼 구성하였다. 그런 다음 2진 화상에서 중심값을 구하는 식을 이용하여 공의 중심점을 구하였다. 영역의 크기 A와 중심점 $\bar{x}, \bar{y}$는 아래의 식에 의해서 구해진다[6]. 식에서 화상 B는 $m \times n$의 크기이다. 적용 결과는 그림 2에서 볼 수 있다.

$$A = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} B[i,j] \tag{1}$$

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} jB[i,j]}{A}, \quad \bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} iB[i,j]}{A} \tag{2}$$



(a) 초기 화상 (b) 새로운 화상

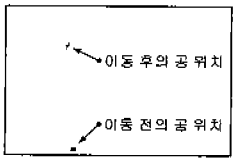


그림 2. 화상처리를 이용한 공의 위치 인식

3 퍼지 제어기

3.1 목표 위치에 대한 오차값의 결정

퍼지 규칙을 사용하기 위해 목표점에 대한 공의 오차 값의 기준을 만들 필요가 있다. 본 실험에서는 오차 값과 오차 값의 변화율을 입력으로 하여 퍼지 규칙을 구성하였고 출력 측 소속함수는 모터에 인가되는 전압의 세기를 기준으로 구성하였다.

표 1. 경우에 따른 오차값 계산

경우	오차 식	적용 예
A	$e(A) = \overline{XO} - \overline{AO}$	공과 원하는 위치가 같은 방향에 있을 경우
B	$e(B) = \overline{XO} - (-\overline{BO})$	공과 원하는 위치가 반대방향에 존재하므로 오차가 큰 경우
C	$e(C) = \overline{XO} - \overline{CO}$	공이 원하는 위치보다 위에 있는 경우

시스템의 특성상 오차 값의 방향성이 필요하여 기준점과의 거리를 계산하여 방향에 따라 부호를 +또는 -로 주어 반대방향의 목표점에 대하여 오차가 크게 만들었다. 오차 값은 그림 1의 시스템

구성도를 이용하여 표 1과 같이 나타내었다.

3.2 퍼지 소속함수와 규칙

퍼지 추론과정에서 입력을 담당하는 전건부는 오차와 오차의 변화율에 대한 가우시안 함수로 소속함수를 구성하였다. 출력은 퍼지 싱글톤(singleton)을 사용하였다. 표 2와 같이 실험을 통해 얻어진 지식을 기반으로 양쪽 모터의 동작을 결정하고 이것을 바탕으로 퍼지 규칙을 만든다[2]. 이것을 표로 나타낸 것이 표 3과 같다.

표 2. 시스템 조건에 따른 모터동작 규칙

경우	시스템 조건	모터 동작
1	공: 오른쪽 아래 목표: 왼쪽 위	모터R: 속도 빠르게 감소 모터L: 속도 빠르게 증가
2	공: 오른쪽 아래 목표: 오른쪽 위	모터R: 변화 없음 모터L: 속도 조금씩 증가
3	공: 오른쪽 위 목표: 오른쪽 아래	모터R: 속도 조금씩 증가 모터L: 속도 조금씩 감소
4	공이 기준점을 지나 왼쪽으로 간 경우	모터R: 속도 빠르게 증가 모터L: 속도 조금씩 감소

표 3. 퍼지 규칙

오른쪽 모터

$\dot{e}$ \ e	PB	PS	ZE	NS	NB
N	NS	ZE	ZE	PB	PB
ZE	NB	NS	ZE	ZE	PS
P	NB	NS	NS	PS	PS

왼쪽 모터

$\dot{e}$ \ e	PB	PS	ZE	NS	NB
N	PS	PS	PS	NS	NS
ZE	PB	PS	ZE	NB	NB
P	PB	PB	PS	NB	NB

4 최적화

4.1 하이브리드 유전자 알고리즘

유전자 알고리즘에서 검색 영역은 유전자 알고리즘의 분해능 R_i 에 의해서 이산화 된다[3]. L_i 비트로 이루어진 파라미터 x_i 에 대한 분해능은 아래의 식과 같이 표현된다.

$$R_i = \frac{UB_i - LB_i}{2^{L_i} - 1} \tag{3}$$

만약 k 비트만큼 증가시키면 분해는 R_i 는 2^k 배만큼 증가하게 된다. 또한 검색 영역은 $(2^k)^n$배씩 증가된다. 유전자 알고리즘과 Nelder-Mead의 simplex 방법을 조합하여 검색할 수 있는데 이러한 방법을 하이브리드 유전자 알고리즘이라고 한다. 하이브리드 방법을 사용함으로서 탐색의 정확성을 유지하고 수렴 속도를 향상시킴으로서 연산량에 대한 부담을 줄일 수 있다.

4.2 Simulated Annealing

Simulated annealing(SA)은 미분이 필요 없는 최적화 방법으로서 연속적인 것과 이산적인(discrete) 최적화 방법에 알맞기 때문에 최근에 있어서 많은 관심을 받고 있다. SA가 처음 제안되었을 때 큰 범위의 조합적(combinational) 최적화 문제에 있어서 거의 최적인 근을 찾는데 효과적이라고 알려졌었다[4]. SA에서 가장 중요한 부분은 온도를 높은 데서 낮은 값으로 얼마나 빨리 낮추느냐 하는 annealing schedule이다. 이것은 일반적으로 특별한 적용이라고 할 수 있으며 시행착오에 의한 다소의 경험이 필요하다.

5 실험결과 및 평가

실제 실험에서 성능 평가를 위해 기준 시간 안에 원하는 위치에 도달하는 성능 함수를 이용하여 나타내었다. 소속함수의 중심 값과 기울기만을 고려하였고 퍼지 규칙은 실험적 지식을 기반으로 구성하여 사용하였다.

5.1 하이브리드 유전자 알고리즘

GA에 의한 최적화 과정을 거친 후 simplex method에 의한 최적화 과정에서 성능이 한번 나빠지는 것을 그림 3에서 볼 수 있다. 이것은 동일한 퍼지 소속함수의 파라미터를 이용하여 시스템을 제어하더라도 실제의 실험에 있어서 성능 값의 차이를 보임을 말한다. 이것은 시스템의 특성에 대한 문제이기도 하고 바람에 의한 불확실성의 영향이라고 할 수 있다. 같은 세기의 바람에 의해서도 실제 공이 받는 힘의 세기는 달라질 수 있다고 볼 수 있다. 그리고 GA에서의 최소값은 계속적으로 보존하여 다음 세대로 넘기게 되지만 GA의 과정이 끝나고 simplex method의 최적화 과정으로 넘어가게 되면 전승된 전체 파라미터 집단 모두를 사용하여 시스템을 구동시킨 후 결과에 대한 성능 값을 평가하기 때문에 어느 정도의 값의 변화는 고려되어져야 한다. 하지만 최종적으로는 성능이 좋아지는 해로 접근함을 볼 수 있었다.

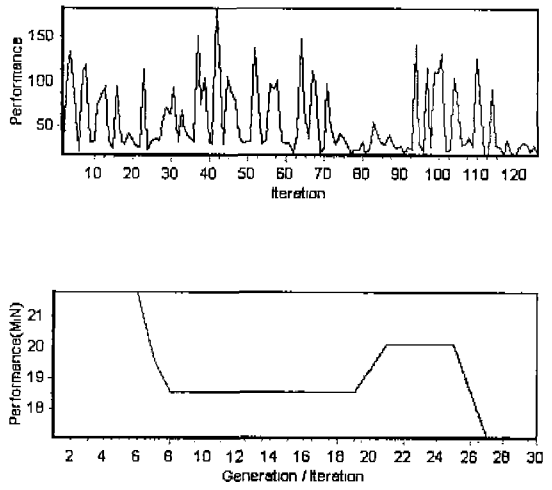


그림 3 하이브리드 방법의 성능 그래프

5.2 Simulated Annealing

그림 4의 두 그래프는 SA 최적화 방법을 이용한 시스템 제어 성능의 결과에 대한 값을 보여주고 있다. 초기에 빠르게 성능이 향상되고 횟수를 거듭하면서 보다 작은 값으로 줄여들고 있다. 실제 반복되는 횟수에 비하여 빠르게 최적의 해를 찾아가는 것을 볼 수 있다. SA를 이용한 최적화에 있어서 초기값의 선정이 중요한데 본 실험에서는 실험을 통해서 얻은 해의 범위를 이용하여 일정한 범위 안에서 검색을 하여 해를 찾고자 하였다. 초기의 전역 탐색을 위하여 온도 계수를 크게 설정하여 탐색을 하다가 점차적으로 온도 계수를 줄이면서 국부 탐색의 과정을 거쳐 최적의 해를 찾고자 하였다.

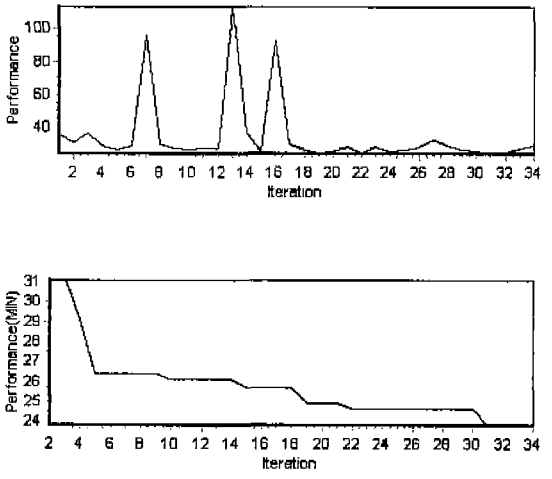


그림 4 SA를 이용한 성능 그래프

Ⅲ. 결론

실험을 통해 얻은 사람의 지식을 기반으로 하여 모델링이 어려운 시스템에서 정해진 규칙을 통해 제어 가능하다는 퍼지의 특성을 이용해 공을 원하는 위치로 가도록 제어하였다. 그러나, 향후 과제로는 시스템의 환경이 수시로 변하기 때문에 고정된 소속 함수로는 알맞은 제어가 어렵다. 따라서 중심값과 기울기를 자동적으로 가변시켜줌으로서 퍼지 규칙에 해당하는 출력 값이 바뀌고 시스템의 변화하는 상황에 대처할 수 있게 알고리즘을 만들고자 한다. 하지만 두 변수를 각각의 소속함수의 수만큼 변화시키려면 연산량이 너무 많아지므로 실험을 통한 전문 지식을 바탕으로 알맞은 범위를 먼저 구한 후 각각 소속함수에 적절한 중심값과 폭을 구하는 방법으로 최적화를 하고자 하였다.

Ⅳ. 참고 문헌

[1] C. C. Lee,"Fuzzy Logic in Control Systems:Fuzzy Logic Controller, Part I", IEEE Transaction on Systems, Man, and Cybernetics, vol. 20, pp. 404-418, 1990

[2] C. T. Chao, Y. J. Chen, and C. C. Teng, "Simplification of Fuzzy-Neural Systems Using Similarity Analysis", IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, vol. 26, pp. 344-354, 1996

[3] D. E. Glodberg "Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning", Addison-Welsey Publishing Company, INC, pp. 59-83, 1989

[4] J. S. R. Jang, C. T. Sun and E. Mizutani, "Neuro-Fuzzy and Soft Computing", Prentice-Hall, pp. 73-85, 1997

[5] L. X. Wang., "A Course in Fuzzy Systems and Control", Prentice-Hall, pp 208-213, 1997

[6] R. Jain, R, Kasturi and B, G, Schunck, "Machine Vision", McGraw-Hill, pp. 30-33, 1995