

실형적 지식에 기초한 퍼지제어기 설계

배현*, 김성신, 김해균
부산대학교 전기공학과

Design of Fuzzy Controller Based on Empirical Knowledge

Hyeon Bae*, SungShin Kim, Hae-Gyun Kim
Dept. of Electrical Engineering, Pusan National Univ.

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, fuzzy controller is implemented to acquire operator's knowledge. 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. Ball position is measured by a vision camera. 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 is designed based on the input-output data and experimental knowledge obtained by trials.

때 내부 면과의 충돌이 생기고 여기서 와류가 발생하게 된다. 그리고 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 영향들을 분석하기 어렵고 수치로 변하는 현상들에 의해 플랜트의 모델링이 쉽지 않다. 따라서 입·출력 값으로 퍼지제어기를 구성하여 시스템을 제어하고자 하는 것이 본 실험의 목적이다.

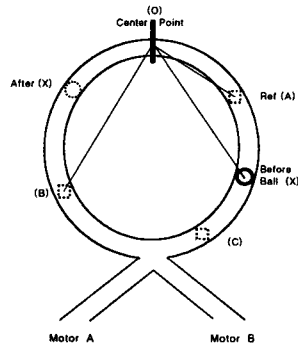


그림 1. 실험 시스템.

그림 2는 시스템을 구성하는 제어부·구동부 그리고 공의 위치를 알기 위한 센서 역할을 하는 카메라를 포함한 구동 흐름도이다.

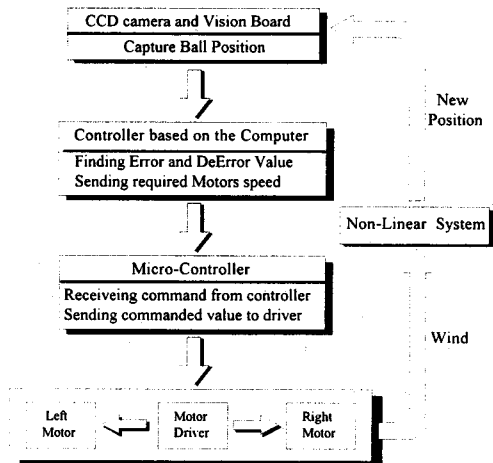


그림 2. 시스템 흐름도.

1. 서론

지난 수십년동안 퍼지 제어기는 기존에 사용하던 제어 방법을 사용하기 어려운 실제 현장에서 많이 적용되기 위해 연구되어 왔다 [1],[2]. 기존에 사용하던 제어 방법들은 수학적인 모델링을 필요하고 복잡하거나 불확실성이 있는 모델은 다루기가 힘들다. 반면 퍼지논리는 인간의 추론 능력을 시스템 추론에 적용시킬 수 있는 방법을 제공한다. 따라서 정확한 양자화 없이 제어 규칙을 만들 수 있다 [8],[9]. 퍼지 논리의 또 다른 장점으로 사람의 언어적 표현을 제어 규칙에 직접 적용시킬 수 있다는 것이다. 본 실험에서 사용된 시스템의 특성상 실험적 지식에 기반한 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.

2. 본론

2.1 시스템의 개요와 구성

그림 1에서 보는 것처럼 비선형성과 불확실성을 가진 시스템에서 2개의 DC 송풍기를 이용하여 공을 원하는 위치로 보내려고 하는 것이 실험의 목적이다. 앞에서도 언급하였듯이 시스템의 비선형성과 불확실성에 의해 기존에 사용하던 PID제어기나 그 외의 선형적인 제어방법으로는 제어하기 어렵다. 본 실험에서 사용된 DC 모터로부터 나오는 바람이 시스템 내부의 길을 따라 지나갈

2.2 카메라를 이용한 공의 위치 인식

CCD 카메라를 통해 실시간으로 시스템의 영상이 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 [4]. 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 [10]. 식에서 화상 B는 $m \times n$ 의 크기이다. 적용 결과는 그림 3에서 볼 수 있다.

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

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

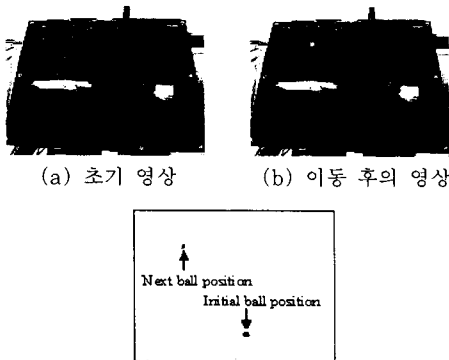


그림 3. 화상처리를 통한 공의 위치 인식.

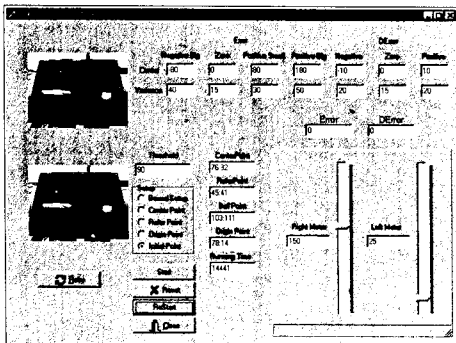


그림 4. 시스템 구동을 위한 제어 창.

2.3 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 구성하고 출력측 소속함수는 모터에 인가되는 전압의 세기를 기준으로 구성하였다. 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.

표 1 경우에 따른 오차값 계산

Case	오차 식	적용 예
Case A	$e(A) = \overline{XO} - \overline{AO}$	공과 원하는 위치가 같은 방향에 있을 경우
Case B	$e(B) = \overline{XO} - (-\overline{BO})$	공과 원하는 위치가 반대방향에 존재하므로 오차가 큰 경우
Case C	$e(C) = \overline{XO} - \overline{CO}$	공이 원하는 위치보다 위에 있는 경우
중심점을 넘는 경우	$e(B) = \overline{XO} - \overline{BO}$	중심점을 넘어서 B의 위치에 올 경우 오차는 음의 부호로 바뀌게됨

2.4 퍼지 소속함수와 규칙

퍼지 추론과정에서 입력을 담당하는 전건부는 오차와 오차의 변화율에 대한 소속함수로 구성하였다. 시스템의 위치에 따른 속도값의 차이가 비대칭이므로 소속함수의 구성도 비대칭적이다. 그리고 소속함수는 그림 5에서 보는 것과 같이 퍼지 입력으로 사용되는 오차값과 오차값의 변화율에 대한 가우시안 함수로 구성되었다. 출력을 담당하는 후건부는 5개의 출력 전압 크기로 이루어진 상수값으로 구성되었다.

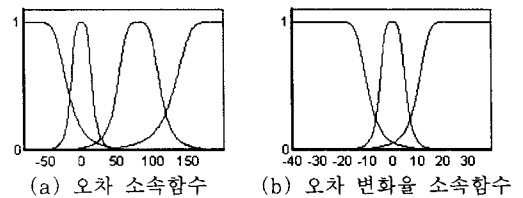


그림 5. 퍼지 입력 함수.

표 2와 같이 실험을 통해 얻어진 지식을 기반으로 양쪽 모터의 동작을 결정하고 이것을 바탕으로 퍼지 규칙을 만든다 [3]. 시스템이 대칭이므로 공이 오른쪽에 존재하는 하나의 경우만 보였다.

표 2 시스템 조건에 따른 모터동작 규칙

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

표 2의 실험적 지식에 따른 모터의 동작 방법을 이용하여 제어에 사용할 퍼지 제어 규칙을 만든다. 이것을 표로 나타낸 것이 표 3이다. 초기 조건으로 공이 왼쪽에 있을 경우를 고려하였다.

표 3 퍼지 규칙

오른쪽 모터					왼쪽 모터				
Δe	N	ZE	PS	PB	Δe	N	ZE	PS	PB
N	ZE	PS	PS	PS	N	PS	ZE	ZE	NS
ZE	NS	ZE	PS	PB	ZE	PS	ZE	NS	NB
P	NS	PS	PB	PB	P	PB	NS	NS	NB

2.5 추론과 비퍼지화

퍼지 규칙의 추론은 Zadeh에 의해 제창되었다 [5]. 퍼지 추론 방법으로 몇 가지 모델이 연구되었으며 Mamdani 퍼지 추론 방법은 언어적 제어 규칙을 추론하여 제어하기 위해 시도되었다. 연산자로 min-max등을 사용하였다 [6]. 비퍼지화 과정에서는 무게 중심법등이 사용된다. 반면 후건부가 crisp 함수나 다항식으로 표현되는 TSK(Takagi, Sugeno, Kang)모델의 경우, 비퍼지화의 방법으로 가중치 평균을 사용한다. 본 논문에서는 그림 6과 같이 TSK 모델의 특별한 경우로서 후건부를 상수로 둔 퍼지 singleton을 사용하였다 [7]. 퍼지 singleton은 연산량이 적다를 장점 때문에 실시간 적용에 알맞다.

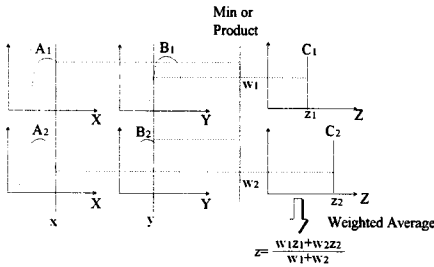


그림 6. 퍼지 추론 및 비퍼지화.

2.6 실험결과 및 평가

실제 실험에서 성능 평가를 위해 기준 시간 안에 원하는 위치에 도달하는 비율로 나타내었다. 소속함수의 중심 값과 기울기만을 고려하였고 퍼지 규칙은 실험적 지식을 기반으로 구성하여 고정시켰다. 목표 값은 우측 상단의 고정된 위치로 정하여 실험하였다. 표 4에 보인 6 가지 소속함수 쌍이 사용되었고 실험 결과에 대한 성능 평가는 표 5와 같다.

표 4 소속함수 파라메타 값

	e 소속함수				Δe 소속함수			
	중심값	중심값	중심값	중심값	중심값	중심값	중심값	
	기울기	기울기	기울기	기울기	기울기	기울기	기울기	
A	-60	0	80	180	-20	0	20	
	40	15	30	50	10	5	10	
B	-50	0	60	140	-20	0	20	
	30	15	30	50	10	5	10	
C	-40	0	60	140	-20	0	20	
	20	15	30	50	10	5	10	
D	-30	0	60	140	-20	0	20	
	30	15	30	50	10	5	10	
E	-30	0	50	120	-20	0	20	
	40	15	30	50	10	5	10	
F	-30	0	50	120	-10	0	10	
	40	15	30	50	10	5	10	

표 5 성능 평가 (기준시간 20[s])

	A	B	C	D	E	F
실험 횟수	50	50	50	50	50	50
수렴 횟수	36	34	33	26	37	40
평균 수렴 시간[s]	15.1	14.9	17.4	16.8	15.8	17.3
수렴 비율[%]	72	68	66	52	74	80

3. 결 론

실험을 통해 얻은 사람의 '지식을 기반으로 하여 모델링이 어려운 시스템에서 정해진 규칙을 통해 제어 가능하다'는 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 중심 값을 먼저 구한 상태에서 단지 기울기만을 실시간에서 가변시켜 줌으로서 시스템을 적절하게 제어할 수 있는 소속 함수를 찾고자 한다.

(참 고 문 헌)

- [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. C. Lee, "Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controller, Part II", IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, vol. 20, pp. 419-435, 1990
- [3] L. X. Wang., "A Course in Fuzzy Systems and Control", Prentice-Hall, pp 208-213, 1997
- [4] R. M. Haralick, L. G. Shapiro, "Computer and Robot Vision", Addison Wesley, pp. 60-62, 161-163, 1992
- [5] L. A. Zadeh, "Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes", IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, vol. 3, pp. 28-44, 1973
- [6] E. H. Mamdani and S. Assilian, "An Experiment in Linguistic Synthesis with a Fuzzy Logic Controller", International Journal of Man-Machine Studies, vol. 7, pp. 1-13, 1975
- [7] J. S. R. Jang, C. T. Sun and E. Mizutani, "Neuro-Fuzzy and Soft Computing", Prentice-Hall, pp. 73-85, 1997
- [8] J. L. Castro, "Fuzzy Logic Controllers are Universal Approximators", IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, vol. 25, pp. 629-635, 1995
- [9] 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
- [10] R. Jain, R. Kasturi and B. G. Schunck, "Machine Vision", McGraw-Hill, pp. 30-33, 1995