

퍼지 알고리즘을 이용한 비전 센서의 목표물 추적 제어

이 홍 희* , 한 진 영*

* , * : 울산대학교 제어계측 공학과

Target Tracking Control of vision sensor using Fuzzy Algorithm

Hong-Hee Lee* , Jin-Young Han*

* , * : Dept. of Control & Instrumentation, Univ. of ULSAN

Abstract

In this paper, a new fuzzy control algorithm for the target tracking system is proposed, and its characteristics are analyzed and compared with those of the traditional PID controller. Fuzzy rules are generated experimentally using Mamdani's minimum operation and the center of area method. The experimental results prove that the proposed fuzzy algorithm is excellent in our tracking system and its performance is superior to that of the PID controller.

1. 서론

객체를 추적하는 시스템에서 물체의 검출은 대단히 중요한 요소이다. 물체 검출 방법은 크게 두 가지로 나눌 수 있는데 그 중 하나는 비전센서를 사용하여 영상 정보를 이용하는 방법과 초음파 센서나 레이저 센서 등과 같은 거리센서를 사용하여 물체를 탐색하는 방법이 있다. 초음파 센서나 레이저 센서는 단순한 모양의 물체를 인식할 때 효과적인 센서로 개발 장치가 간단하고 정보 처리 시간이 단축되는 장점이 있다. 또한 비전 센서를 이용할 경우에는 물체가 카메라의 시야 내에 놓여져 있어야 하고 물체의 이동이 너무 빠를 때 영상이 흐려지는 등의 단점이 있으나 주위 환경과 물체의 모양을 증시할 경우 초음파 센서나 레이저 센서에 비해 보다 효과적이다.

비전 센서를 이용한 목표물 추적 제어 방법으로는 고정 계수 필터(fixed-coefficient filter) 방법으로 널리 알려진 α - β 추적, 칼만 필터(Kalman filter) 등 목표물의 이동을 예측(Prediction) 처리하는 방법들이 있다.[2],[3] 최근에 와서는 마이크로 프로세서 기술과 제어 기술의 발달에 힘입어 퍼지 알고리즘, 신경 회로망등을 이용한 추적 제어 기법에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.[3],[4] 퍼지 또는 신경 회로망 제어 알고리즘은 시스템 정수를 잘 모르거나 비선형인 경우 시스템의 정적 혹은 동적 특성을 표현하기에 적합한 이론이다.[5] 본 논문에서는 새로운 퍼지 제어 알고리즘을 사용해 보다 특성이 좋은 추적 제어 시스템의 구현을 시도했다. 또한 본 논문에서 제안한 퍼지

제어 알고리즘의 우수성을 보여 주기 위해 기존의 PID 제어기를 사용한 추적 제어 시스템과 그 성능을 비교해 보았다.

2. 목표물 추적기의 제어 원리

그림 1은 목표물 추적 시스템의 전체 제어 루프를 나타낸 것이다. 목표물의 영상이 CCD(Charge Coupled Device) 카메라에 잡히게 되면 영상 처리기를 통해 목표물의 특징을 추출하고, 이로부터 이진 중심 추적 알고리즘[1]을 통해 목표물의 위치를 검출하여 서보 제어기로 전송한다. 서보 제어기에서는 전송된 목표물의 위치와 위치 센서(Potentiometer)를 통해 입력된 카메라의 기본 좌표와의 오차를 계산하고 퍼지 알고리즘을 이용해 이 오차를 최소화 시킬 수 있도록 전동기를 구동시킨다.

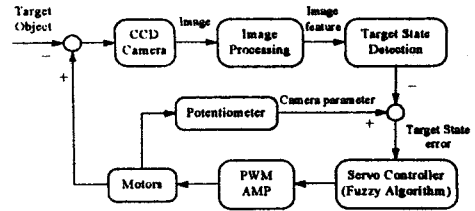


그림 1 목표물 추적 시스템의 제어 루프

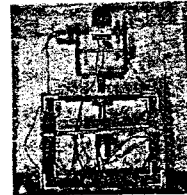


그림 2 목표물 추적기

3. 영상 처리 원리

영상 처리 원리를 그림 3에 나타내었다.

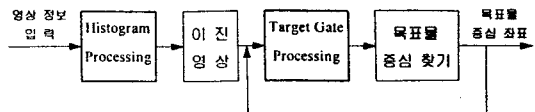


그림 3 영상 처리의 흐름도

카메라를 통해 입력되는 화상 정보는 히스토그램(Histogram) 처리를 통해 이진 영상으로 변환되고 이 이진 영상과 사전에 알고 있는 목표물의 정보를 비교하여 목표물의 특징을 추출해 낸다. 화면 전체를 영상 처리할 경우 실시간(Real-Time) 처리가 어렵기 때문에 목표물의 크기를 감안하여 Target Gate를 잡아준다. 이 Target Gate 내의 이진 영상을 이진 중심 추적(Binary Centroid Track) 알고리즘에 작용하여 목표물의 중심 위치를 구해낸다. 여기서 구해진 중심 좌표가 전단의 Target Gate의 위치 좌표와 더해져 영상상의 목표물 위치 좌표로 변환된다. 다음 싸이클에서는 목표물의 현재 좌표와 이전의 좌표만을 사용해 Target Gate를 잡고 목표물 중심 좌표를 찾는다. 그러나 목표물의 이동이 영상 처리 시간 보다 빠를 경우 Target Gate를 벗어날 수 있는데 이럴 경우에는 다시 히스토그램 처리부로 되돌아가 목표물의 Target Gate를 잡아준다.

변환된 이진 영상은 '1'(목표물값)과 '0'(배경값)으로 구분되는데 Target Gate \$R_x\$ 안의 목표물 중심 좌표 \$(\hat{i}_x, \hat{i}_y)\$는 식 (1), 식 (2)로 표현된다.

$$\hat{i}_x = \frac{SUM_x}{Num_x}, \quad \hat{i}_y = \frac{SUM_y}{Num_y} \quad (1)$$

$$SUM_x = \sum_{(i,j) \in R_x} x_i I(i,j), \quad SUM_y = \sum_{(i,j) \in R_x} y_j I(i,j) \quad (2)$$

단,

$$I(i,j) = \begin{cases} 1 & \text{목표물값} \\ 0 & \text{배경값} \end{cases}$$

$$Num_x = \sum_{(i,j) \in R_x} I(i,j) = \text{목표물을 나타내는 픽셀의 갯수}$$

$$R_x = \text{목표물 추적 영역}$$

4. 목표물 추적을 위한 퍼지 알고리즘

본 연구에서 사용된 퍼지 변수는 목표물의 \$x, y\$ 축 위치오차 \$E_x, E_y\$ 와 1 샘플링 기간 동안의 \$E_x, E_y\$ 의 변화분 \$\Delta E_x, \Delta E_y\$ 그리고 출력 조작량 \$U_x, U_y\$ 의 변화분 \$\Delta U_x, \Delta U_y\$ 가 있다. 여기서 변화분은

$$\Delta E = E_n - E_{n-1}, \quad \Delta U = U_n - U_{n-1} \quad (3)$$

$$\text{단, } E = \begin{bmatrix} E_x \\ E_y \end{bmatrix}, \quad U = \begin{bmatrix} U_x \\ U_y \end{bmatrix}$$

로 정의된다. 식 (3)은 속도형으로 제어 규칙이 작어도 되는 잇점이 있어서 많이 사용된다.[3] 또한 퍼지 제어기의 입력력 관계는 식 (4)와 같다.

$$E, \Delta E \rightarrow \Delta U \quad (4)$$

각 퍼지 변수들이 연속된 값을 갖도록 언어 집합을 사용하여 표 1과 같은 언어 변수로 표현하였다.

퍼지 변수의 언어 집합		
·양의 큰값	(LP)	: Large Positive
·양의 작은값	(SP)	: Small Positive
·영	(ZE)	: Zero
·음의 작은값	(SN)	: Small Negative
·음의 큰값	(LN)	: Large Negative

표 1 퍼지 변수의 언어 집합 정의

퍼지 집합의 소속 함수를 그림 4와 같이 3가지 형태의 구분 선형 함수로 결정하였고, 어느 한 입력 \$x\$에 대한 3가지 퍼지 집합 A, B, C의 소속값 \$\mu_A(x), \mu_B(x), \mu_C(x)\$은 식 (5)와 같이 표현된다.

$$\mu_A(x) = \frac{(|x-a_1|-|x-a_2|)}{2(a_2-a_1)} + \frac{(|x-a_1|-|x-a_1|)}{2(a_2-a_1)}$$

$$\mu_B(x) = 0.5 + \frac{(|x-b_1|-|x-b_2|)}{2(b_1-b_2)}$$

$$\mu_C(x) = 0.5 + \frac{(|x-c_1|-|x-c_2|)}{2(c_2-c_1)} \quad (5)$$

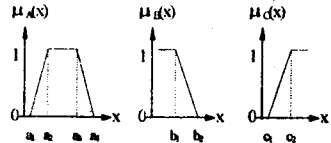


그림 4 퍼지 집합 함수

이러한 퍼지 집합 함수를 바탕으로 퍼지 변수 \$E, \Delta E, \Delta U\$에 대한 소속 함수의 영역을 그림 5에 나타내었다.

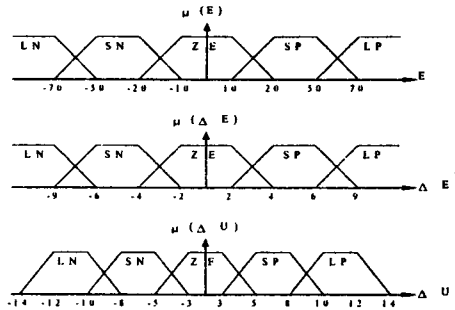


그림 5 소속 함수 영역 분할

퍼지 제어 규칙은 \$x, y\$ 축으로 각각 5개(LN, SN, ZE, SP, LP)씩 한 변수에 대해 25가지의 규칙이 만들어진다. 그러나 현실적으로 있을 수 없는 경우나 있어도 본 시스템의 동작에 영향을 미치지 않는 제어 규칙은 실험을 통해 삭제하였다. 이렇게 만든 15개의 제어 규칙을 표 2에 나타내었다.

\$\Delta E\$	E	LN	SN	ZE	SP	LP
LN		LN		LN		
SN			ZE	SN	SN	
ZE		LN	SN	ZE	SP	LP
SP			SP	ZE	ZE	
LP				SN		LP

표 2 퍼지 제어 규칙

추론법은 Mamdani가 제안한 최소(minimum) 연산과 퍼지 합성 법칙을 이용하였고, 비 퍼지화 방법으로는 무게 중심법(Center of area method)을 이용했다.

$$R_1: \text{If } E \text{ is } e_1 \text{ and } \Delta E \text{ is } \Delta e_1, \text{ then } \Delta U \text{ is } \Delta u_1$$

$$\text{or } R_2: \text{If } E \text{ is } e_1, \text{ and } \Delta E \text{ is } \Delta e_2, \text{ then } \Delta U \text{ is } \Delta u_2$$

\$\vdots\$

\$\vdots\$

$$\text{or } R_n: \text{If } E \text{ is } e_n \text{ and } \Delta E \text{ is } \Delta e_n, \text{ then } \Delta U \text{ is } \Delta u_n$$

위와 같은 \$n\$개의 퍼지 제어 규칙이 있을 경우 퍼지 관계 \$R_1\$

의 소속값 $\mu(R_i)$ 는

$$\mu(R_i) = \mu(e_i) \wedge \mu(\Delta e_i) = \min(\mu(e_i), \mu(\Delta e_i)) \quad (6)$$

로 계산되고, 퍼지 합성 법칙과 무게 중심법을 이용한 비퍼지화 결과는 식 (7)과 같이 표현된다.

$$\Delta U^0 = \frac{\sum_{i=1}^n \mu(R_i) \times \Delta u_i(R_i)}{\sum_{i=1}^n \mu(R_i)} \quad (7)$$

ΔU^0 : 제어 입력이 되는 비퍼지화값

5. 목표물 추적 시스템 구성

본 시스템을 구동하기 위한 제어기는 그림 6과 같이 목표물의 상태를 추적하기 위한 주 제어기(486/50 Mhz IBM-PC)와 전동기를 제어하기 위한 서보 제어기(80c196kc:Single chip processor)로 구성되고, 이들은 직렬 통신 방식으로 정보를 교환한다. 그림 7과 8에 주 제어기와 서보 제어기의 구성 요소간의 인터페이스를 나타내었다.

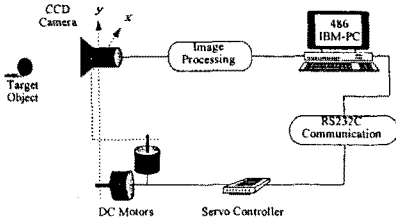


그림 6 시스템의 하드웨어 구성도

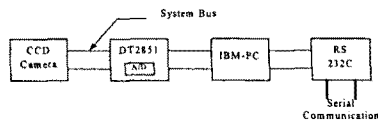


그림 7 주 제어기의 인터페이스

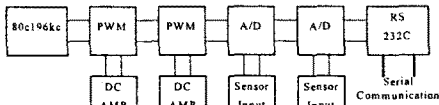


그림 8 제어 CPU 보드의 인터페이스

6. 실험 결과

본 논문에서는 영상 처리의 부담을 줄이기 위해 흰 배경에 검은색 타구공을 목표물로 하였고, 두 대의 모니터를 사용하여 한대는 카메라를 통해 입력되는 영상을 출력하고 또 한대는 실제 주 제어기에서 수행한 내용을 출력하도록 했다.

그림 9는 카메라에 목표물이 잡힌 영상을 그대로 출력한 화면이고 그림 10은 그림 9의 영상 정보를 히스토그램을 통해 이진화 시키고 이진 중심 추적 알고리즘을 이용해 목표물의 중심 위치를 계산해낸 결과를 표시 했다. 그림 11은 그림 10에

나타난 목표물의 위치를 카메라의 기준 좌표상에 표시한 것으로 그 위치는 (115, -114) 이다. 이 목표물의 위치는 밑줄의 계단 함수로 이 계단 입력(115, -114)에 대한 PID 제어기 및 퍼지 제어기의 응답 특성을 그림 12와 그림 13에 나타내었다.

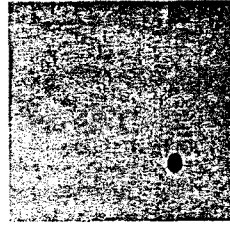


그림 9 영상 처리전

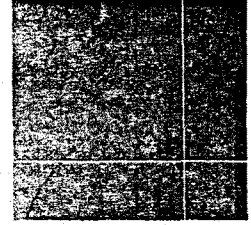


그림 10 영상 처리후

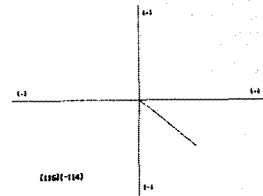
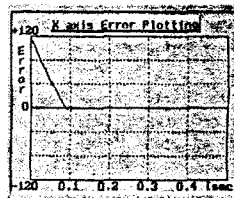
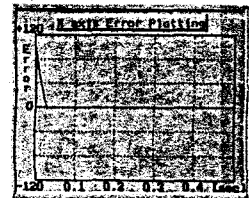


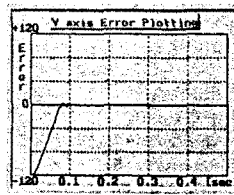
그림 11 목표물 좌표 처리



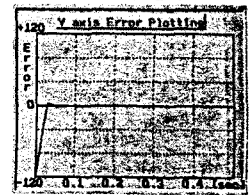
(a) x 축 오차



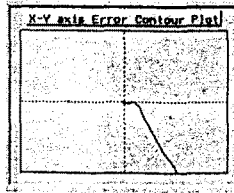
(a) x 축 오차



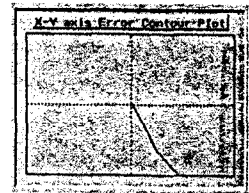
(b) y 축 오차



(b) y 축 오차



(c) x-y 축 오차 궤적



(c) x-y 축 오차 궤적

그림 12 PID 제어기에 의한 응답 특성

그림 13 퍼지 제어기에 의한 응답 특성

결과치	PID 제어기		퍼지 제어기	
	X 축	Y 축	X 축	Y 축
상승 시간	90ms	83ms	32ms	30ms
오버슈트	4 픽셀	5 픽셀	3 픽셀	7 픽셀
정상 상태 도달 시간	105ms	99ms	42ms	45ms

표 3 계단 입력에 대한 PID 제어기와 퍼지 제어기의 결과치

그림 12와 그림 13의 계단 입력에 대한 응답 특성을 구체적으로 살펴보면 표 3과 같다. 표 3에서 알 수 있는 바와 같이 퍼지 제어기가 PID 제어기에 비해 상승 시간은 2.2배 이상, 정상 상태 도달 시간은 2.7배 이상이 되어 퍼지 제어기의 동특성이 아주 우수함을 알 수 있다.

그림 14와 그림 15는 삼각형으로 움직이는 목표물의 위치와 카메라의 추적 궤적을 나타낸 그래프이며 추적 오차를 구체적으로 표시해 보면 표 4와 같다. 표 4에서 알 수 있는 바와 같이 PID 제어기의 최대 오차는 8픽셀이며 평균 오차는 4.32픽셀이다. 퍼지 제어기의 최대 오차는 7픽셀이며 평균 오차는 3.48픽셀로 검출되었다.

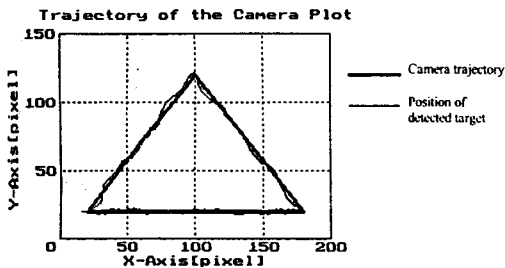


그림 14 PID 제어기를 이용한 목표물의 위치와 카메라의 궤적

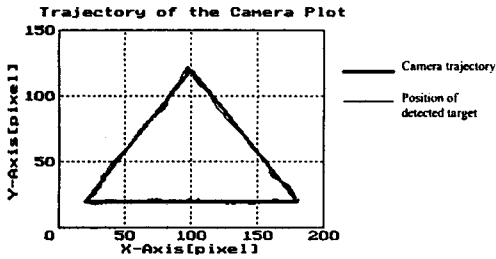


그림 15 퍼지 제어기를 이용한 목표물의 위치와 카메라의 궤적

	PID 제어기	퍼지 제어기
최대 오차	8 픽셀	7 픽셀
전체 오차	216 픽셀	192 픽셀

표 4 삼각형 입력에 대한 PID 및 퍼지 제어기의 결과치

7. 결론

본 논문에서는 퍼지 제어 알고리즘을 이용해 추적 제어 시스템을 구현해 보았다. 제안된 퍼지 알고리즘은 목표물을 잘 추적할 뿐 아니라 기존의 PID 제어기에 비해 그 동특성이 우수함을 확인했다. 또한 퍼지 알고리즘의 실제시 소속 함수의 변화는 특별히 오차를 감소시키지 못했으나 퍼지 제어 규칙의 조정은 시스템의 동특성에 커다란 영향을 미친다는 것을 실험을 통해 알 수 있었다. 그리고 본 연구에서는 프로세서의 속도 문제상 영상 처리 속도가 다소 느리지만 DSP나 트랜스퓨터 등을 사용하면 고속 영상 처리가 가능하고 본 퍼지 알고리즘을 통해 보다 우수한 추적 특성을 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

[참고문헌]

- [1] Michael C. Dudzik, "The Infrared & Electro-Optical System Handbook", Volume 4, "Electro-Optical Systems Design, Analysis, and Testing", pp247-298 (1993).
- [2] Takashi Oya, Hideki Hashimoto, Fumio Harashima, "Active Eye Sensing System - Predictive for Visual Tracking", IEEE Industrial Electronics Society, pp1718-1723 (1993)
- [3] Peter Ott, Keith C.C. Chan, Henry Leung, "A Study on Fuzzy Tracking of Maneuvering Aircraft Using Real Data", Proceedings of the World Congress on Computational Intelligence, (June, 1994)
- [4] Dale E. Schneider, Paul P. Wang, "Design of a Fuzzy Logic Controller for a Target Tracking System", IEEE/IEE Publications OnDisc, pp1131-1138(1992).
- [5] 이광형, 오길복, "FUZZY 퍼지 이론 및 응용 I:이론, II:권:응용", 홍릉과학출판사(1991).