

Fuzzy규칙을 사용한 무인헬리콥터 호버링 제어

채희성*, 전재춘*, 김봉수**, 김형석*

* 전북대학교 공과대학 전기·전자·제어공학부, ** (주)카스

A Hovering Control of an Unmanned Helicopter Using Fuzzy Rules

Chae H.S* , Chon J.C* , Kim B.S** , Kim H.S*

* School of Electrical Engineering, Chonbuk National University, ** CAS co.

Abstract - The fuzzy-based autonomous position control system for hovering of an unmanned helicopter has been developed. An unmanned helicopter is flying vehicle which can aviate freely even at narrow or hazardous space. The bottleneck of the full utilization of the unmanned helicopter is mainly on the control difficulty caused from its nonlinear and unstable characteristics. This paper presents a Fuzzy control technique to have the unmanned helicopter perform hovering. Experimental results of real unmanned helicopter control are included.

1. 서 론

헬리콥터는 고정익 비행체와는 달리 로우터의 양력을 이용하여 활주로 없이 수직이착륙, 공중정지비행, 전·후진비행이 가능하기 때문에 탐사, 구조, 화재진압, 지형도 제작, 농작업, 감시정찰, 어군 탐지, 고속도로 교통상황 감시등 다양한 분야에 이용 가능한 장비이다.^[1] 그러나 헬리콥터 구조상 제어의 비선형성이 크고 로우터의 회전 속도에 따라 각각의 파라미터가 계속 변하는 특성이 있다. 또한 바람이나 기압등 외란에 민감하고, 비행영역이 주위환경을 알 수 없는 동적인 공간에서 이루어지므로 제어가 어렵다. 기존의 고전적인 제어기들은 단일 입력력(SISO)시스템에만 적용되기 때문에 헬리콥터와 같이 다변수 시스템에 적용하기 위해서는 분해된 모델을 구해야 하며 다변수 시스템에서의 모델링 오차와 외란에 대해서는 견실성이 보장되지 않는 단점이 있다.^[2] 이러한 문제점을 극복하기 위해 MIMO 접근법으로 LQR/LTR, H[∞] 방법등이 있으나 LQR/LTR방법은 섭동을 고려할 수 없다. 또한 기존의 비선형시스템을 안정화시키기 위해 Lyapunov 안정도 이론 등을 이용하여 많은 연구가 있어 왔지만 실제 헬리콥터의 자세안정화 제어에는 한계가 있다. 따라서 본 논문에서는 헬리콥터 시스템에 알맞는 수학적 모델링이 어렵고, 비선형성이 큰 점을 고려하여 비교적 비선형성에 강하고 인간의 의사결정능력을 인위적으로 구현하는데 유용한 Fuzzy제어기법을 사용하여 실제 무인헬리콥터의 호버링(공중정지비행)을 제어하였다.

2. Fuzzy에 의한 무인 헬리콥터 제어

2.1 Fuzzy 제어기

Fuzzy제어기는 일반적으로 다음과 같은 퍼지제어 규칙으로 구성된다.

R: If X_1 is A_i and X_2 is A_j , then U is B_i

R : Fuzzy Rule
 X_1, X_2 : Controller Inputs
 A, B : Membership Function
 U : Output

Fuzzy제어기의 연산은 그림 1과 같이 퍼지화기, 제어규칙 베이스, 추론, 비퍼지화기에 의해 수행된다. 퍼지화기는 입력력변수, 언어값, 소속함수를 결정하여 설계하고 제어규칙은 i)숙련운전자의 경험적 지식과 제어 전문가의 지식을 활용하거나, ii)숙련운전자의 조작행위를 모델링하여 작성하는 방법, iii)제어대상의 퍼지모델을 기반으로 제어규칙을 작성하는 방법, 및 iv)학습에 의해 제어규칙을 작성하는 방법을 이용한다. 추론은 합성에 의한 방법, Tsukamoto 추론법, Takagi & Sugeno 추론법을 이용하여 제어대상에 맞게 사용한다. 비퍼지화기는 퍼지 출력값을 실제 제어 입력값으로 변환시키는 과정으로써 간략화된 무게중심법을 많이 사용한다.^{[3],[4]}

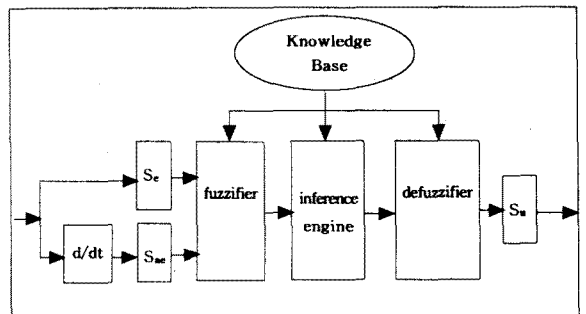


그림 1 퍼지제어기의 블럭도

2.2 무인헬리콥터 제어를 위한 Fuzzy규칙

무인헬리콥터 호버링제어를 위한 Fuzzy제어기 입력으로는 균형센서로 부터 얻은 Pitch, Roll 각도의 자세 정보를 Median Filter를 사용하여 noise를 제거한 후 Pitch, Roll각도(error)와 그 변화량(delta error)을 Fuzzy제어기 입력으로 사용하였다. 그림 2와 3은 무인 헬기를 제어하기 위한 각각의 멤버쉽 함수이다.

3. 무인 헬리콥터 제어 시스템

3.1 제어시스템 구조

제어시스템은 Fuzzy제어기를 탑재한 마이크로 프로세서(Micro 188), PWM신호를 생성을 위한 마이크로 프로세서(MCS-96), 균형센서를 이용하여 다음 그림 4와 같이 구성하였다. 주제어기(Micro 188)는 균형센서로 부터의 자세정보를 필터링한 후 Fuzzy제어시스템의 연산을 수행하고 보조제어기(MCS-96)는 무인헬리콥터 서보시스템의 구동을 위한 PWM신호를 만들어낸다. 무인헬리콥터의 자세정보를 얻기 위하여 헬기동체에 균형센서를 장착하여 무인헬리콥터의 Pitch와 Roll 각도를 얻은 후 serial통신을 이용하여 주제어기로 자세정보를 전송한다.

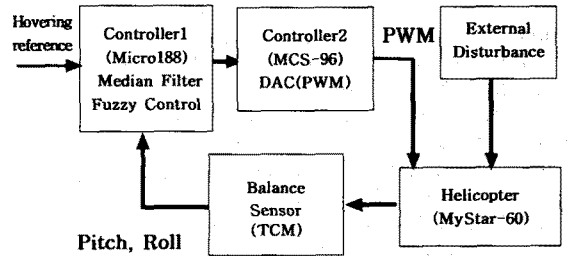


그림 4 제어기의 블럭도

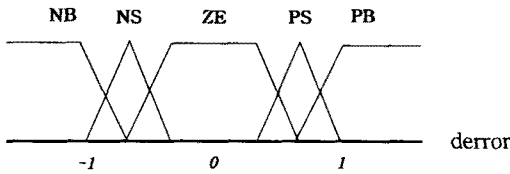
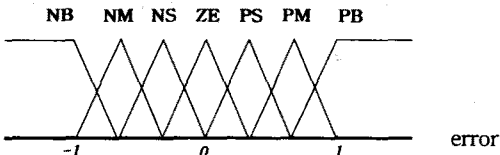


그림 2 입력 멤버십 함수

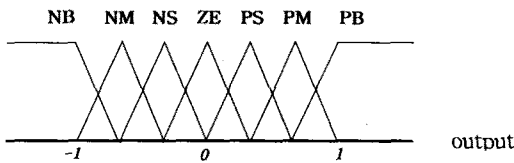


그림 3 출력 멤버십 함수

본 논문에서는 Fuzzy제어기의 설계 과정 중 가장 중요한 부분인 제어규칙을 작성하기 위하여 많은 실험과 무인헬리콥터 조종자의 경험 그리고 무인헬리콥터의 동특성 등을 고려하여 Table1과 같은 제어규칙을 작성하였다.

Table 1 Pitch와 Roll 각도 제어를 위한 퍼지규칙

e \ de	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NB	PB	PM	PS	PS	PS	ZE	ZE
NS	PB	PM	PS	PS	ZE	NS	NS
ZE	PM	PS	PS	ZE	NS	NS	NM
PS	PS	PS	ZE	NS	NS	NM	NB
PB	ZE	ZE	NS	NS	NS	NM	NB

ZE: Zero

NB: Negative Big

PB: Positive Big

NM: Negative Medium

PM: Positive Medium

NS: Negative Small

PS: Positive Small

무인헬리콥터 서보시스템의 제어입력을 위해서 개개의 퍼지규칙 R_i 에 의한 근사추론결과 B'_i 을 무게중심법(COG방법)으로 비퍼지화한 후,

$$u_i^* = COG(B'_i), \quad i=1,2,\dots,N,$$

전체규칙에 의한 비퍼지화된 추론결과 u^* 를 아래의 식으로 비퍼지화하여 무인헬리콥터의 제어신호로 인가하여 사용하였다.⁽⁵⁾

$$u^* = \frac{\sum u_i^* w_i}{\sum w_i}$$

4. 실험 및 검토

실험에서 사용한 무인헬리콥터는 취미용 60cc급으로 약 3Kg정도의 무게를 들어올릴 수 있는 능력을 가진 TSK사의 My Star60이다. 개발된 Fuzzy제어기의 제어효과를 보이기 위해 실제 무인헬리콥터에 대한 정지비행(Hovering)제어실험을 수행하였다. 실험은 무인헬기가 지상으로부터 이륙하여 정지 비행이 이뤄질 때까지의 균형상태 관찰을 통한 제어성능의 평가이다. 이를 위해서 무인헬기의 동체에 장착된 균형센서를 이용하여 Pitch와 Roll 각도를 측정하였다.

그림 5는 조종자가 헬리콥터의 Elevation Key를 이용하여 이륙시키는 동안의 Pitch와 Roll 각도에 대한 균형센서의 출력을 나타낸다. 그림 5에서 각도의 변화가 심한 이유는 헬기엔진에 의한 떨림으로 균형센서에 노이즈가 발생했기 때문이다. 헬리콥터의 제어는 Median필터링한 그림 6의 각도를 이용하여 수행하였다. 그림 6에서 초기의 각도변화는 이륙을 위한 헬기의 동체에 요동 때문이며, 약 6.5초 이후의 Pitch와 Roll 각의 안정은 무인헬리콥터가 공중 정지비행 상태에 이르렀음을 의미한다.

또 다른 실험은 무인헬리콥터가 정지비행 중 그림 7과 같은 외란이 가해졌을 때의 제어성능 실험이다. 그림 8은 외란 인가시(↑표시)의 무인헬리콥터의 자세변화인데 외란이 사라진 후 신속하게 균형을 유지해 가고 있음을 보여준다. 반면 무인헬리콥터에 제어기를 장치하지 않은 상태에서 비행실험을 했을 경우는 그림 9와 같이 Pitch나 Roll 각이 한쪽방향으로 계속적으로 기울어져 이륙이 불가능하였다.

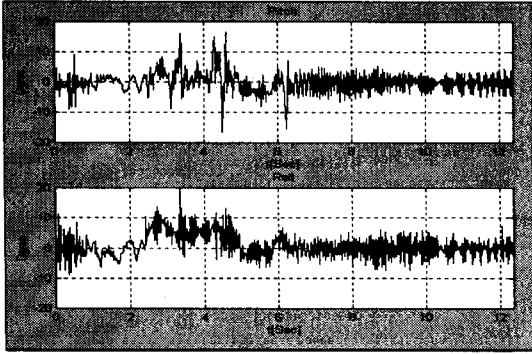


그림 5 헬기 이륙시의 무인헬기 Pitch 및 Roll 각도 변화(필터링전)

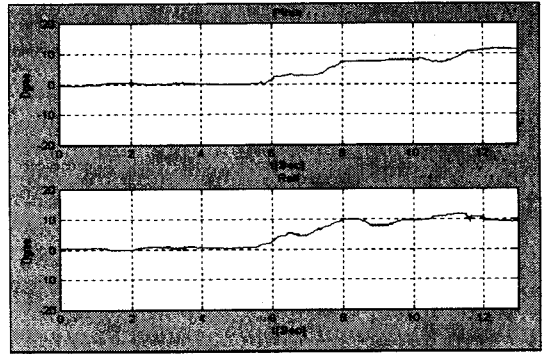


그림 9 제어기를 사용하지 않고 이륙시의 무인헬기 자세변화

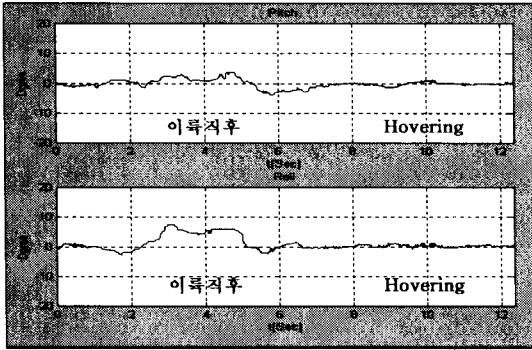


그림 6 헬기 이륙시의 무인헬기 Pitch 및 Roll 각도 변화(Median 필터링 후)

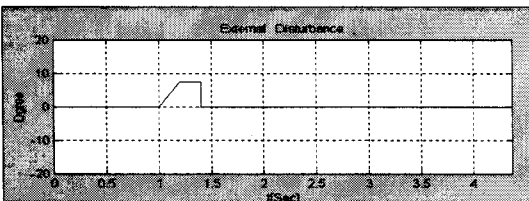


그림 7 호버링상태에서 무인헬기에 가해지는 외란

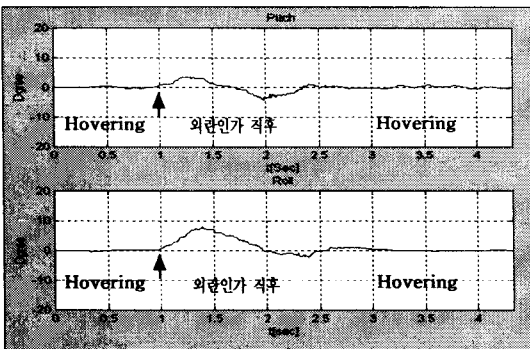


그림 8 호버링상태에서 외란발생시 무인헬기 자세변화

5. 결 론

무인헬리콥터의 호버링제어를 목표로 Fuzzy제어기를 개발하였다. 무인헬리콥터의 호버링(공중정지비행)제어 기술은 모든 비행자세의 기본이 되는 중요한 기술이다. 무인헬리콥터는 제어특성이 매우 비선형이기 때문에 비선형 제어 특성에 강한 Fuzzy제어기를 헬기 자세 제어에 이용하였다. 이를 위해서 많은 실험과 무인 헬기조종자의 경험을 통하여 Fuzzy규칙을 완성하였으며 이를 바탕으로 안정적인 호버링이 가능한 Fuzzy제어기를 개발하였다. 개발한 Fuzzy제어기를 실제 무인헬리콥터에 장착하여 수행한 실험에서 만족할 만한 제어 성능을 나타냈다.

(참 고 문 헌)

- [1] 김봉수, "무인 헬리콥터 공중 정지비행 제어시스템 개발에 관한 연구", 전북대학교 석사학위논문, 1998
- [2] 이승국, 이명의, 권오규, "건설한 다변수 제어에 의한 모형 헬리콥터의 자세제어기 설계 및 실현", 제어·자동화·시스템 공학 논문지, 제4권, 제1호, 1998
- [3] T.Takagi, M.+Sugeno, "Fuzzy Identification of System and Its Applications to Modeling and Control", IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics, vol. NO-1, 1989
- [4] M.Sugeno, H.A.Winson, I.Hirano, "Intelligent Control of an Unmanned Helicopter Based on Fuzzy Logic", the American Helicopter Society 51st Annual Forum, Fort Worth, 1995
- [5] S.Chiu, S.Chand, D.Moore, A.Chaudhary, "Fuzzy Logic for Control of Roll and Moment for a Flexible Wing Aircraft", IEEE Trans. on International Symposium on Intelligent Control, 1991