

긴급 상황에 대비한 무인 쿼드로터의 안전 착륙 제어

백승준¹, 박종호², 류지형³, 임신택⁴, 정길도^{4,5*}

¹국방과학연구소, ²서남대학교 전기전자공학과, ³한국전자통신연구원 호남권연구센터, ⁴전북대학교 전자공학부,
⁵전북대학교 전자정보신기술연구소

Safe landing control of unmanned Quad-rotor Emergency Procedures

Seung-Jun Baek¹, Jong-Ho Park², Ji-Hyoung Ryu³, Shin-Teak Lim⁴
and Kil-To Chong^{4,5*}

¹Agency for Defense Development

²Department of Electrical & Electronic Engineering, Seonam University

³ETRI Local Industry Tech. Development Section Honam Research Center

⁴Department of Electronic Engineering, Chonbuk National University

⁵Advanced Electronics and Information Research Center, Chonbuk National University

요약 미래 유통 혁신 및 도심에서의 긴급 차량 운행에 도움을 주고자 차량 이동 정보 등이 포함된 실시간 교통 상황 정보 및 긴급 정보 제공 등을 위하여 무인 쿼드로터의 사용하고자 할 경우 무인 쿼드로터의 사용 안전성을 충분히 고려해야 한다. 따라서 본 연구에서는 4개의 모터를 가지고 있고 시스템적으로 구조적 균형이 잘 잡혀있는 무인 쿼드로터 시스템의 안전성 증대를 위하여 도심에서의 안전 착륙 제어에 대한 연구를 무인 쿼드로터 시스템의 비선형 특성을 고려한 운동학 및 동역학적 모델 기반 및 외란이나 시스템 비선형성에 강인한 Fuzzy 제어를 통하여 진행하고자 하며, 이를 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 분석 하였다.

Abstract If you want to use the unmanned quad rotor for emergency information provision and information about the traffic situation of real-time and moving information is included in the car to help in emergency vehicle operation of the city and in the distribution future innovation the need to consider to have enough safety of the use of silent quad rotor. Therefore, in this study, the unmanned quad rotor system research of safe landing control from the center for the improvement of safety of unmanned quad rotor system you have a motor of four, has taken a good structural balance system based on the dynamic model and motion considering the nonlinear characteristics, and attempts to proceed via non-linearity and system disturbances, tough Fuzzy controller, and analyzed through a computer simulation result.

Key Words : Fuzzy Control, Safe Landing, Unmanned Quad-rotor

1. 서론

무인 쿼드로터는 현재 연구되고 있는 무인비행체 중에서도 4개의 모터를 가지고 있어 조정이 원활하고 시스

템 구조적으로 균형이 잘 잡혀있어 학계와 산업계에서 활발한 연구가 진행되고 있다. 특히 재난관리 그리고 영상 촬영, 도로 교통 정보 제공, 무인 유통 등과 같은 민간 분야에서 원격 제어 모드 등을 활용한 무인 비행 로봇이

본 논문은 2013년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행한 연구임(No. 2013-60-8127), (No.2013-009458)

*Corresponding Author : Kil-To Chong(Chonbuk Univ.)

Tel: +82-63-270-2478 email: kitchong@jbnu.ac.kr

Received December 2, 2013

Revised (1st February 12, 2014, 2nd March 25, 2014)

Accepted April 10, 2014

실제 활용되고 있으나, 궁극적으로는 무인 비행 로봇의 위치 정보와 자세 정보 그리고 장착된 센서 정보 등을 융합하여 무인 자율 비행을 최종 목표로 하고 있지만 현실적으로 시스템의 안전한 작업 제어 성능 개선 등이 먼저 실현되어야 한다[1-4].

따라서, 본 연구에서는 도로 교통 분야에서 차량 이동 정보 등이 포함된 실시간 교통 상황 정보 및 긴급 정보 활용을 위한 무인 쿼드로터의 도심에서의 안전 착륙 제어에 대한 연구를 수행하였다.

무인 쿼드로터를 운행함에 있어서 매우 큰 장점은 시스템 구동 모터 중 하나에 문제가 생겼을 경우 혹은 연료 부족 및 원격 제어 불능 상황이 발생하였을 경우 여타의 무인 비행체 보다 제어가 수월하다는 것이다. 그러나 도심에서 무인 쿼드로터 시스템이 원하지 않는 곳에 착륙을 해야 한다면 무인 쿼드로터는 도심 환경에 맞는 착륙 제어 모드 동작을 수행하여야 한다. 왜냐하면 도심이라는 환경은 건물 혹은 전선 그리고 각종 환경 감시 시스템 및 버스 등 높은 이동 시스템 등이 존재하기에 기존의 단순한 착륙 제어 시나리오를 활용할 수 없기에 새로운 안전 착륙 제어 시나리오를 구성하여야 하며 이를 반영한 무인 쿼드로터 제어 알고리즘을 설계하여야 한다.

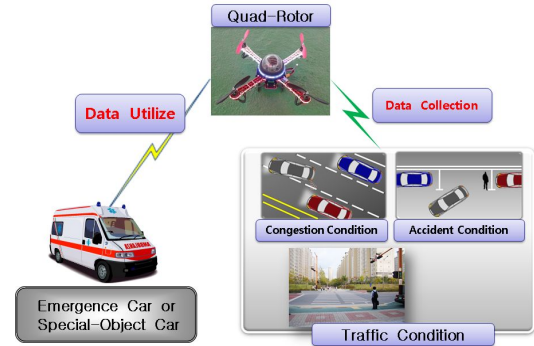
기존에 무인 쿼드로터시스템 제어에 활용되고 있는 알고리즘은 간편한 제어 구조와 실 구현의 용이성이 좋은 PID제어 방법이 널리 사용되어지고 있다[5-7]. 그러나 PID의 제어로 제어를 수행하게 되는 경우 쿼드로터의 다중입력에 대한 다중출력 시스템(MIMO)에 대한 비선형적인 동작특성이 고려되지 못하며, 극심한 외란에 대한 비효율적인 제어동작과 급격한 제어응답으로 인한 기체 안정성의 문제 등을 불러일으킬 수 있다.

그러므로 본 연구는 쿼드로터의 비선형 특성 및 모델 불확실성 그리고 외란에 민감한 쿼드로터 특성과 더불어 실제 시스템에 쉽게 적용, 구현가능한지도 고려할 필요성이 생겼기에 무인 쿼드로터의 운동학 및 동역학 모델링[8-10]을 바탕으로 지능 제어 기법[11,12] 등을 활용하고자 하며 그 중에서 본 논문에서는 Fuzzy 제어 알고리즘을 쿼드로터 비행 로봇 제어기로 제안하고자 한다.

2. 본론

2.1 쿼드로터 안전 착륙을 위한 동작 모드 분석

도심에서 Fig. 1과 같이 긴급 차량 운행 혹은 장, 단거리 무인 유통 등과 같은 특별한 목적을 구현하기 위해서 앞선 도로의 교통 정보를 실시간으로 제공받을 수 있다면 목적에 맞는 이동 경로 선정 및 교통 정보 활용 등을 위하여 무인 쿼드로터를 활용할 수 있을 것이다.



[Fig. 1] Quad rotor utilization measures for providing traffic information center

그런데 이런 무인 쿼드로터를 실제 도로 교통 분야에서 활용하기 위해서 무인 쿼드로터 안정성 강화가 더욱 절실히 필요하다. 만약 무인 쿼드로터가 운행 중 로터 불량 및 연료 부족 등의 긴급 상황이 발생할 경우 잘못 하면 보행자나 혹은 다른 차량 혹은 주변 건물에 충돌할 경우 더 큰 문제가 발생할 수 있기에 무인 쿼드로터의 안전 착륙 제어 시스템의 강화가 필요하다.

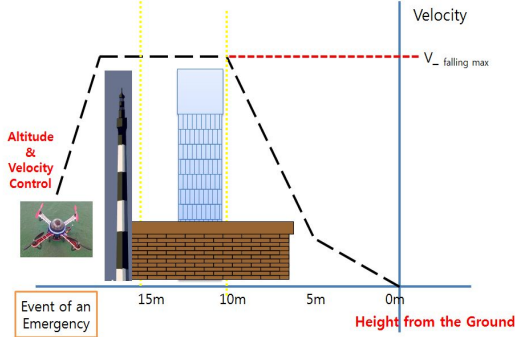
2.1.1 도심에서의 쿼드로터 안전 착륙 시나리오

도심에서 쿼드로터 운영에 있어서 긴급한 상황이 발생할 경우 쿼드로터는 제어 시스템 근처 혹은 지상으로의 안전 착륙을 도모해야 한다. 이때 기본적으로 쿼드로터는 지난 이동 경로 정보 및 주변 환경 정보를 활용한다. 더불어 무인 쿼드로터의 속도와 고도를 제어 기준으로 삼고 다음과 같은 동작 시나리오를 바탕으로 쿼드로터의 긴급 안전 착륙 제어를 수행하게 된다.

① 먼저, 일반 도심의 경우 도로상에 존재하는 것들을 정리해보면 가로등, 신호등, 전신주 그리고 안내판, 가로수 등을 고려할 수 있으며, 이는 쿼드로터 운행에서는 장애물이며, 이는 대략 10m ~ 15m 사이의 대형 고정 장애물과 5m ~ 10m 사이의 일반 고정 장애물 그리고 5m 이하의 장애물은 동적 장애물 등으로 간략하게 구분할 수

있다.

따라서 이를 기반으로 Fig. 2와 같이 단계별 기준 속도 및 고도 제어를 수행해야 한다.



[Fig. 2] Speed control of step-by-step in order to land quad rotor safety

② 긴급 상황 발생 지점이 대략적으로 선정된 대형 고정 장애물을 높이 위에 있으면 먼저 속도를 높여 쿼드로터를 대형 고정 장애물 위치까지 진입을 시키며 이후 빠른 속도 변화를 통하여 일반 고정 장애물 위치까지 쿼드로터 높이를 조절하며, 이후에는 낮은 안전 속도로 이동 장애물을 회피하면서 보다 안전 착륙 혹은 지상 최소 충돌 착륙을 유도하게 된다.

③ 긴급 상황 발생 지점이 대형 고정 장애물 위치 혹은 일반 고정 장애물 위치에 있다면 쿼드로터 속도를 높이거나 유지하여 이동 장애물 확인 높이까지 이동시킨 이후 낮은 안전 속도로 이동 장애물을 회피하면서 보다 안전하게 착륙 혹은 지상 최소 충돌 착륙을 유도하게 된다.

도심에서의 무인 쿼드로터 활용성 강화를 위하여 연구하고 있는 긴급 상황 발생 대비 안전 착륙 제어를 위해서 아래와 같은 무인 쿼드로터의 동역학 및 운동학 모델을 기반으로 한 제어 시스템 설계를 추가적으로 수행하였다.

2.2 무인 쿼드로터의 동역학 모델

2.2.1 무인 쿼드로터 좌표 변환의 정의

무인 쿼드로터 로봇을 수학적 모델링하기 위해서는 먼저, Fig. 3과 같은 무인 쿼드로터의 기본구조 설계 및 물리적 특성을 표현하기 위한 공통 좌표계 및 전체적인 프로세스를 정립할 필요가 있다. 따라서 기구학적 모델링, 에너지 소모, 토크와 센서 등에 관련된 모션 방정식과

이로부터 유도되는 동적 모델링, 로터 다이내믹 그리고 공중 다이내믹을 위한 힘과 모멘트를 분석하고 정의하게 되며, 이를 반영한 동역학 식을 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$\dot{P} = Rv, \quad \omega = C\dot{\eta} \quad (1)$$

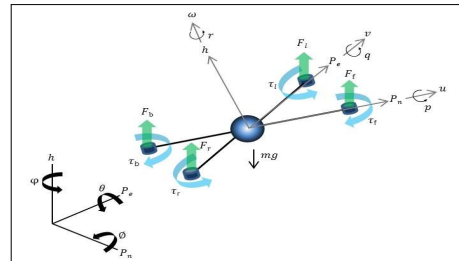
여기서 $P = [x \ y \ z]^T$ 는 로봇의 위치, $\eta = [\phi \ \theta \ \psi]^T$ 는 오일러 각, $v = [v_x, v_y, v_z]^T$ 는 선속도를 나타내며, $\omega = [\omega_x, \omega_y, \omega_z]^T$ 는 각속도로 정의된다.

그리고 쿼드로터 모델링 좌표 시스템의 경우 Fig. 3과 같이 지상의 기준점으로 부터 표현되는 관성좌표계와 쿼드로터의 기체에 고정되어져 표현하는 몸체좌표계간에는 차이가 있으며, 이를 Rotation matrix로 관계를 정의하며, 식(2)는 다음과 같다.

$$R_b^b(\phi, \theta, \psi) = R_{b_2}^b(\phi) R_{v_1}^{v_2}(\theta) R_v^{v_1}(\psi) \quad (2)$$

$$= \begin{bmatrix} c\theta c\psi & c\theta s\psi & -s\theta \\ s\phi s\theta c\psi - c\phi s\psi & s\phi s\theta s\psi + c\phi c\psi & s\phi c\theta \\ c\phi s\theta c\psi + s\phi s\psi & c\phi s\theta s\psi - s\phi c\psi & c\phi c\theta \end{bmatrix}$$

이때, $s\phi = \sin\phi, s\theta = \sin\theta$ and $s\psi = \sin\psi$ 이다.



[Fig. 3] The coordinate system of modelling of Quad-rotor.

2.2.2 무인 쿼드로터의 운동학

무인 쿼드로터는 직선운동과 회전운동을 하는 기체이며, 직선운동을 정의하기 위하여 관성좌표계에서의 위치 성분과 $[p_n, p_e, -h]^T$ 와 기체의 속도 성분 $[u, v, w]^T$ 의 관계를 구하면 아래의 식 (3)와 같다.

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} p_n \\ p_e \\ -h \end{bmatrix} = R_b^b \begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix} = (R_b^b)^T \begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$= \begin{bmatrix} c\theta c\psi & s\phi s\theta c\psi - c\phi s\psi & c\phi s\theta c\psi + s\phi s\psi \\ c\theta s\psi & s\phi s\theta s\psi + c\phi c\psi & c\phi s\theta s\psi - s\phi c\psi \\ -s\theta & s\phi c\theta & c\phi c\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix}$$

무인 쿼드로터의 회전운동은 기체의 각속도와 Euler 각을 미분하여 속도 성분으로 변환하여 관계를 정의하면 과정 식 (4)와 같으며, 결과는 식 (5)와 같다.

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} \dot{p} \\ \dot{q} \\ \dot{r} \end{bmatrix} &= R_{v2}^b(\phi) \begin{bmatrix} \dot{\phi} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + R_{v2}^b(\phi) R_{v1}^{v2}(\theta) \begin{bmatrix} 0 \\ \dot{\theta} \\ 0 \end{bmatrix} \\ &\quad + R_{v2}^b(\phi) R_{v1}^{v2}(\theta) R_v^{v1}(\psi) \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & -\sin\theta \\ 0 & \cos\phi & \sin\phi \cos\theta \\ 0 & -\sin\phi & \cos\phi \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\phi} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} \\ \therefore \begin{bmatrix} \dot{\phi} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 1 & \sin\phi \tan\theta & \cos\phi \tan\theta \\ 0 & \cos\phi & -\sin\phi \\ 0 & \sin\phi \sec\theta & \cos\phi \sec\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{p} \\ \dot{q} \\ \dot{r} \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} \dot{p} \\ \dot{q} \\ \dot{r} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} \frac{1}{J_x} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{J_y} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{J_z} \end{bmatrix} \left\{ \begin{bmatrix} 0 & r & -q \\ -r & 0 & p \\ q & -p & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} J_x & 0 & 0 \\ 0 & J_y & 0 \\ 0 & 0 & J_z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \tau_\phi \\ \tau_\theta \\ \tau_\psi \end{bmatrix} \right\} \quad (9) \\ &= \begin{bmatrix} \frac{J_y - J_z}{J_x} q r \\ \frac{J_z - J_x}{J_y} p r \\ \frac{J_x - J_y}{J_z} p q \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{J_x} \tau_\phi \\ \frac{1}{J_y} \tau_\theta \\ \frac{1}{J_z} \tau_\psi \end{bmatrix} \end{aligned}$$

이때, $[\dot{\phi}, \dot{\theta}, \dot{\psi}]^T$ 는 오일러 각의 미분 성분이고, $[p, q, r]^T$ 는 기체의 각속도 성분이며, 식 (5)를 무인 쿼드 로터의 운동학 모델로 정의한다.

2.2.3 무인 쿼드로터의 동역학

쿼드로터의 힘은 직선운동을 일으키는 힘 F 와 회전 운동을 일으키는 M 으로 나누어 표현하는데 본 논문에서는 각의 힘을 생성하는 관련한 힘의 요소인 M 모멘트에 관해서만 정의하겠으며, 뉴턴의 제 2법칙의 원리를 적용한 쿼드로터의 전체 토크 식은 식 (6)과 같다.

$$\frac{dh^b}{dt_i} = m \quad (6)$$

이때 h 는 Angular momentum이고, m 은 가해진 torque이다. 식 (6)을 기체좌표계에서 다시 표현하였을 때, 식 (7)과 같다.

$$\frac{dh}{dt_b} + w_{i/b} \times h = m \quad (7)$$

이때, $h^b = Jw^{b/b}$ 이며 J 는 관성모멘트 행렬이며, 쿼드 로터의 기체는 선 대칭적으로 설계되어 식 (8)로 정의 한다.

$$J = \begin{bmatrix} J_x & 0 & 0 \\ 0 & J_y & 0 \\ 0 & 0 & J_z \end{bmatrix} \quad (8)$$

주어진 관성모멘트 행렬 J 에 대한 요소들은 $J_x, J_y = \frac{2MR^2}{5} + 2lm, J_z = \frac{2MR^2}{5} + 4l^2m$ 와 같이 정리된다.

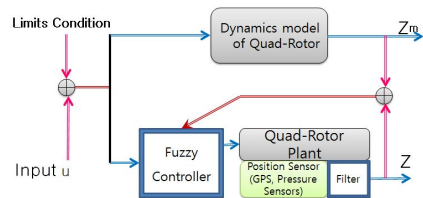
또한, 관성모멘트 행렬 식 J 에서 M 은 쿼드로터의 무게, R 은 쿼드로터의 중심의 반지름, l 은 로터와 기체의 중심사이의 거리, m 은 로터 하나에 대한 무게이다.

쿼드로터의 회전 힘 생성을 위하여 식 (7), (8)을 다시 적용하면 식 (9)와 같고 이를 쿼드로터의 역학 모델로 정의 할 수 있다.

본 논문에서는 실제 쿼드로터 시스템으로의 적용을 위해 주어진 식 (5)와 식 (9)을 이용 무인 쿼드로터의 안정적 주행 제어기 설계를 하고자 한다.

2.3 무인 쿼드로터의 Fuzzy 제어기 설계

연구를 수행함에 있어 먼저, 쿼드로터에 장착된 각종 센서 데이터를 활용하여 쿼드로터 제어에 필요한 기본 데이터를 얻게 되며, 센서 데이터의 정확성 향상을 위하여 외란 필터링 처리 및 데이터 평균 필터 결과를 활용하였다. 더불어 본 연구에서 제안하고 있는 Fuzzy 제어 기법의 경우 실 시스템에서 외란이나 외부 환경 변화에 쉽게 대응할 수 있다는 장점도 고려되었다. 쿼드로터 전체 제어 시스템은 아래 Fig. 4와 같다.



[Fig. 4] Fuzzy control system from Quad-Rotor for advanced control

2.3.1 Fuzzy 제어기의 입출력

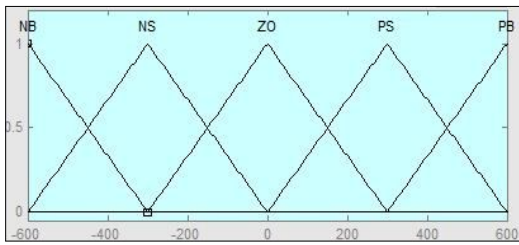
본 논문에서 제안하고 있는 Fuzzy 제어기는 고도 제어를 위하여 시나리오에 따른 시간에 따라 다른 고도의 위치 기준 입력을 주었을 때, 쿼드로터 기체의 시뮬레이션상의 실제 출력 값에 대한 입력을 정의하는데, 고도의 가속도 오차는 e_{a_z} 와 속도 오차는 e_{v_z} 를 퍼지 제어 입력

을 위해서 정의하고 관련 식은 다음과 같다.

$$e_{v_z} = v_{z_{ref}} - v_z \quad (13)$$

$$e_{a_z} = a_{z_{ref}} - a_z \quad (14)$$

여기서 $v_{z_{ref}}$ 는 쿼드로터 기체의 속도 입력이고, v_z 는 쿼드로터의 기체에서 출력으로 나온 속도이다. $a_{z_{ref}}$ 는 쿼드로터 기체의 가속도 입력이고, a_z 는 쿼드로터 기체에서 출력으로 나온 가속도 값이다. 제어 입력을 위한 범위는 외란과 변화에 따라 허용될 수 있는 범위를 설정하여 정의하였고, 제어 출력 함수의 범위는 안정적인 제어를 위한 출력을 생성하여 빠른 응답을 가질 수 있도록 설정하였으며, Fuzzy membership 함수의 모양은 외란이 포함된 값의 데이터 처리에 빠른 계산 시간을 가지기 위해 선형적 함수인 삼각함수를 사용하였으며, Fig. 5와 같다.



[Fig. 5] Output membership functions of a Fuzzy-PID controller.

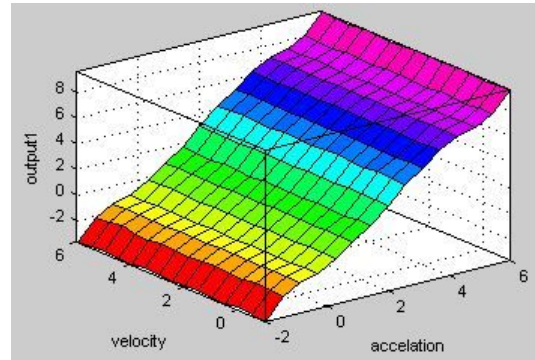
퍼지 제어 규칙의 경우 시뮬레이션과 실제 쿼드로터 동작 실험 결과 그리고 쿼드로터 원격 제어 운행 전문가의 지식을 활용하여 yaw angle의 각 속도 오차와 각 가속도 오차에 대해 복수 개의 퍼지 제어 규칙을 병렬적으로 작용시켜 활용하고 있으며 Table 1과 같이 정리하였다.

[Table 1] Execution result of the control rules of Fuzzy controller

e_v \ e_a	NB	NS	ZO	PS	PB
NB	NS	NS	ZO	PS	PB
NS	ZO	ZO	PS	PS	ZO
ZO	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO
PS	ZO	NS	NS	ZO	ZO
PB	NB	NS	ZO	PS	PS

그리고 퍼지 추론 방법으로는 Mandani 추론 방식을

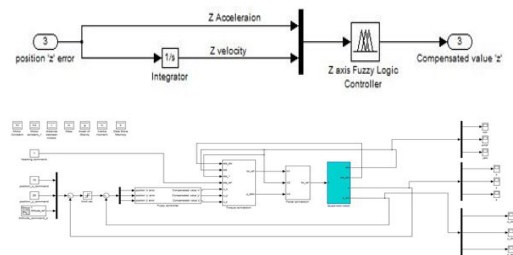
사용하고 있으며 Fig. 6으로 정리하였다. 더불어 퍼지 제어 출력은 무게 중심법을 사용하여 비퍼지화를 진행하였다.



[Fig. 6] Mesh type of the control rule

2.3.2 설계된 쿼드로터의 Fuzzy 제어기 결과

Fig. 7은 본 논문에서 제안하는 무인 쿼드로터 로봇의 Fuzzy 제어기의 최종 형태이며, 제어기는 무인 쿼드로터 로봇의 고도 위치에 대한 가속도 값과 속도 값을 피드백 받아 목표 입력에 대한 오차를 발생시켜 퍼지 제어기의 입력으로 생성되고, 이를 바탕으로, 고도 가속도와 속도 오차에 대해 보상할 수 있는 제어 규칙에 따라, 출력 값을 결정하여 쿼드로터 모델의 고도 오차에 대한 가속도 값을 재 생성하여 쿼드로터 로봇에 입력으로 보내주게 되며, 쿼드로터의 안정적인 주행을 가능하게 한다.



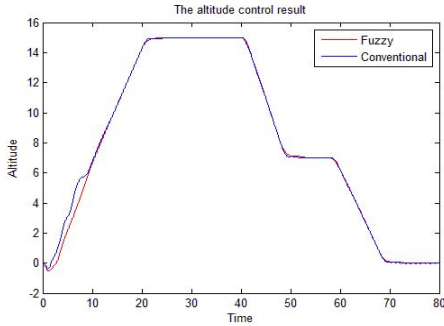
[Fig. 7] A Fuzzy controller of Quad-rotor Emergency Procedures.

2.4 컴퓨터 시뮬레이션 결과

쿼드로터 제어를 위한 본 논문에서 제안한 퍼지 제어를 기존의 선형 제어기법을 활용한 PID 제어기와 컴퓨터 시뮬레이션 결과를 비교하였다.

Fig. 8의 경우 쿼드로터가 도심에서 발생한 긴급 상황에서의 자동 착륙을 위하여 계획된 고도 제어 모드를 수

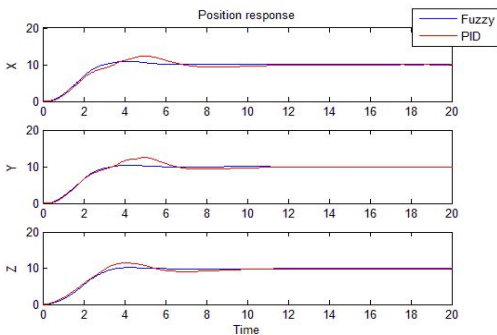
행하고 있는 결과에 대한 것으로 시뮬레이션 결과를 분석해보면 제안한 Fuzzy 제어가 좀 더 나은 결과를 보임을 알 수 있다.



[Fig. 8] Implementation results of the advanced control

Fig. 9와 Fig. 10은 도심에서 무인 쿼드로터가 운행 시 발생할 수 있는 긴급 상황에 대비한 안전 착륙 제어 동작을 수행함과 동시에 직면할 수 있는 외란에 대한 무인 쿼드로터의 강인성 확인을 위한 컴퓨터 시뮬레이션 결과로써 제안한 Fuzzy 제어기 및 PID 제어기의 수행 결과를 분석해 보면 PID 제어기와 Fuzzy 제어기 모두 기준 위치에 수렴하는 결과를 보이고 있으나 Fuzzy 제어기의 결과가 보다 나음을 알 수 있다.

Fig. 9의 경우 무인 쿼드로터가 특정한 기준 위치 X, Y와 Z로 이동하면서 갑작스러운 돌풍(step size 3, 2-3s) 등을 만나 예상치 못한 외란이 발생하는 경우를 산정한 것이다. 무인 쿼드로터의 위치 제어 응답 결과는 전체적으로 Fuzzy 제어기 우수함을 알 수 있었고 동작 결과는 오버슈트 약 25% 정도이며 짧은 Settling time도 Fuzzy 제어기의 강인한 제어 능력을 보여주고 있다.

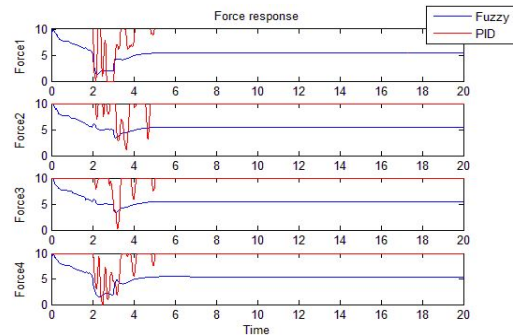


[Fig. 9] Position control response with disturbance (pulse signal (30%))

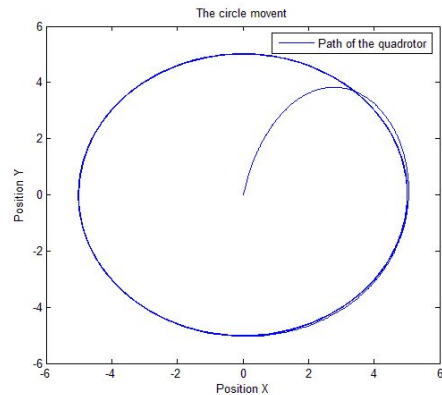
Fig.10의 경우 무인 쿼드로터가 특정한 기준 위치 X, Y와 Z로 이동하면서 외란에 영향을 받는 상황에서의 모터 힘 응답에 대한 시뮬레이션 결과이다.

기존 PID제어기의 결과를 살펴보면 무인 쿼드로터의 구동부인 모터의 최대 출력을 요구하고 있으므로, 모터가 Burst condition에서 운동하고 있다는 것을 알 수 있다. 이는 실제 무인 쿼드로터 시스템에서 PID 제어기를 활용할 경우 무인 쿼드로터의 구동부인 모터 및 무인 쿼드로터 시스템에 대한 내구성과 안정성에 심각한 문제를 초래할 수 있음을 의미한다.

그러나 본 논문에서 제안한 Fuzzy 제어기의 시뮬레이션 결과를 분석하면 적당한 크기의 모터 출력과 출력 파형의 변화가 크지 않음을 알 수 있고, 이를 실제 무인 쿼드로터 시스템에서 적용할 경우에도 좋은 결과를 얻을 수 있을 것이라 사료된다.



[Fig. 10] Force response with disturbance(pulse signal (30%))



[Fig. 11] Performance of position control

Fig. 11의 경우에는 설계된 Fuzzy 제어기가 무인 쿼드로터의 다른 기동 동작에도 잘 동작하는 지를 확인하기

위한 것으로 무인 쿼드로터의 기준 궤도에 따른 추종 제어 실험을 수행한 것으로 컴퓨터 시뮬레이션 결과 기준 궤도 추종에 좋은 결과를 얻을 수 있었다.

3. 결론

본 논문에서는 도심에서 쿼드로터 운행 중 연료 부족 혹은 로터 이상 등의 긴급 상황이 발생할 경우 무인 쿼드로터를 단순한 착륙 제어 동작으로 착륙을 유도할 수 없기에 무인 쿼드로터의 안전 착륙을 도모하고자 무인 쿼드로터의 고도 및 속도 제어에 관한 동작 시나리오를 구성하였고 이를 제어기 설계에 반영하였다. 따라서 본 연구에서는 무인 쿼드로터의 기준 입력 값인 고도의 가속도와 속도의 피드백 오차를 기준으로 안정적인 쿼드로터의 고도 출력을 위한 제어기를 설계를 하였다.

설계된 제어기는 우수한 고도 추종 제어 성능 및 기준 궤도 추정 제어 성능을 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 확인할 수 있었다.

향후 본 연구 결과를 기반으로 실제 무인 쿼드로터 시스템에 설계된 Fuzzy 제어기를 탑재하여 현장 실험을 진행하고자 한다. 또한, 바람 등 외란에 민감한 무인 쿼드로터의 정밀 제어를 위하여 기존에 장착된 GPS와 자이로 및 가속도 센서 등의 정보를 융합하여 이를 무인 쿼드로터 제어기에 실시간으로 활용하여 보다 강인한 무인 쿼드로터의 적응 Fuzzy 제어기를 설계하고자 한다.

References

[1] S. Bouabdallah and R. Siegwart, ““Backstepping and Sliding-mode Techniques Applied to an Indoor Micro Quadrotor””, Barcelona, Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 2247-2252, April 2005.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/ROBOT.2005.1570447>

[2] I-H. Choi, M-H Park, H-G Kim, “ Non-linear Adaptive Attitude Controller Design of Quadrotor UAV ”, Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, vol. 13, no. 6, pp. 2421-2427, June 2012.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2012.13.6.2421>

[3] S-K. Lee, I-H. Choi, S-C. Kim. "A review of a reliability analysis method to a quadrotor", Proceedings

of the KAIS Fall Conference, vol. 2., pp.753 - 755, May. 2012.

[4] T.G. McGee, R. Sengupta, and K. Hedrick, ““Obstacle detection for small autonomous aircraft using sky segmentation””, Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.4679 - 4684, April 2005.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/ROBOT.2005.1570842>

[5] S. Bouabdallah, P. Murrieri and R. Siegwart, ““Design and Control of an Indoor Micro Quadrotor””, New Orleans, Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp 4393-4398, April 2004.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/ROBOT.2004.1302409>

[6] B. Erginer and E. Altuğ., ““Modeling and PD Control of a Quadrotor VTOL Vehicle””, Istanbul, Proceedings of IEEE Intelligent Vehicle Symposium, pp 894-899, June 2007.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/IVS.2007.4290230>

[7] A.Tayebi and S. McGilvary, “Attitude Stabilization of a VTOL Quadrotor Aircraft”, Proceedings of IEEE Transactions on Control Systems Technology, Vol. 14, No.3 pp 562-571, May 2006.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TCST.2006.872519>

[8] J. H. Kim, M. S. Kang, and S. D. Park, “Dynamic modeling and robust hovering control of a quadrotor VTOL aircraft,” Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean), vol. 14, no. 12, pp. 1260-1265, Dec. 2008.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5302/J.ICROS.2008.14.12.1260>

[9] S.-Y. Lee, J.-S. Wang, S.-W. Lee, and S.-J. Joo, “Modeling of the Quad-rotor dynamics and controller design, IEEK’2012, pp. 1357-1358, July 2012.

[10] R. W. Beard, “Quadrotor dynamics and control,” Brigham Young University, Oct. 2008.

[11] H-S. Cho, “A Study on the Speed Control of Induction Motor using a PID Controller and Neural Network Controller”, Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, vol. 10, no. 8, pp. 1993-1997, Aug 2009.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2009.10.8.1993>

[12] Y-S. Kim, C-G. Lee, “The Design of Auto Tuning Neuro-Fuzzy PID Controller Based Neural Network”, Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, vol. 7, no. 5, pp. 830-836, Aug 2006.

백 승 준(Seung-Jun Baek)

[준회원]



- 2012년 2월 : 전북대학교 전기·전자공학부 졸업.
- 2014년 2월 : 전북대학교 대학원 전자공학부 석사과정 졸업.
- 2014년 2월 ~ 현재 : 국방과학연구소 연구원

<관심분야>

쿼드콥터, UAV, 인공지능, 퍼지제어

임 신 택(Shin-Teak Lim)

[정회원]



- 2007년 2월 : 군산대학교 기계공학부 졸업
- 2009년 2월 : 전북대학교 대학원 전자공학부 석사과정 졸업
- 2010년 8월 : 전북대학교 대학원 전자공학부 박사과정 수료
- 2010년 8월 ~ 현재 : 전북대학교 대학원 전자공학부 박사과정 연구원

<관심분야>

센서 융합, 로봇 제어, 무인 비행체 제어 등

박 종 호(Jong-Ho Park)

[정회원]



- 1999년 2월 : 전북대학교 대학원 전기공학과 석사과정 졸업
- 2001년 8월 : 전북대학교 대학원 전자공학과 박사과정 수료
- 2009년 3월 ~ 2010년 12월 : 전북대학교 공과대학 시간강사
- 2011년 2월 ~ 현재 : 서남대학교 전기전자공학과 조교수

<관심분야>

로봇 제어, 임베디드 시스템, 비선형 제어 이론 등

정 길 도(Kil-To Chong)

[정회원]



- 1984년 6월 : Oregon State University 기계공학(공학사)
- 1986년 12월 : Georgia Institute of Technology 기계공학(공학석사)
- 1992년 5월 : Texas A&M University 기계공학(공학박사)
- 1996년 3월 ~ 현재 : 전북대학교 전자공학부 교수 및 학부장, 전북대 전자정보신기술연구소 소장

<관심분야>

Time-Delay, Robotics, 인공지능, 센서네트워크.

류 지 형(Ji-Hyoung Ryu)

[정회원]



- 2005년 2월 : 전북대학교 전자정보공학부 졸업.
- 2007년 2월 : 전북대 대학원 제어계측공학과 석사과정 졸업
- 2009년 8월 : 전북대학교 대학원 전자공학부 박사과정 수료
- 2014년 3월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 호남권연구센터 연구원

<관심분야>

영상 처리, 임베디드 시스템, 무인 쿼드콥터 제어 등