논문 2018-13-37

속도 명령 기반 PID 제어기를 이용한 멀티로터 무인항공기의 표적 자동 추종 시스템 구현

(Implementation of Automatic Target Tracking System for Multirotor UAVs Using Velocity Command Based PID controller)

정 현 도, 고 선 재, 최 병 조*
(Hyeon-Do Jeong, Seon-Jae Ko, Byoung-Jo Choi)

Abstract : This paper presents an automatic target tracking flight system using a PID controller based on velocity command of a multirotor UAV. The automatic flight system includes marker based onboard target detection and an automatic velocity command generation replacing manual controller. A quad-rotor UAV is equipped with a camera and an image processing computer to detect the marker in real time and to estimate the relative distance from the target. The marker tracking system consists of PID controller and generates velocity command based on the relative distance. The generated velocity command is used as the input of the UAV's original flight controller. The operation of the proposed system was verified through actual flight tests using a marker on top of a moving vehicle and tracks it to successfully demonstrate its capability using a quad-rotor UAV.

Keywords : Automatic flight, Target tracking, UAVs, PID controller

Ⅰ. 서 론

무인항공기 (Unmanned Aerial Vehicle)는 초기 군사 목적에서 감시 및 정찰 등으로 사용되어 왔으나, 최근에는 활용 분야에 따라 센서, 광학장비 등 다양한 장비를 장착하여 농업, 배송, 교통 감시, 밀입국 감시, 기상 관측과 같은 다양한 분야에서 민수용도로 활용되고 있다 [1]. 무인항공기는 크게 고정익 항공기와 회전익 항공기로 분류 할 수 있으며 고정익 항공기의 경우, 비행체에 날개가 고정되어 있는 형태를 이루며 고속 이동 시 날개의 압력차로 발생하는 공기의 양력을 통해 비행하여 에너지 효율이 높으나 이착륙을 위해 활주로가 필요하다 [2]. 반대로 회전익 항공기의 경우, 회전 날개에서 발생한 양력으로 비행하여 상대적으로 에너지 효율이 낮지만 수직이착륙 (Vertical Take-Off and Landing)과 특정 위치에서 정지비행 (Hovering)이 가능하다 [1-3].

멀티로터 (Multirotor)는 여러 개의 로터로 이루어진 회전익 항공기로서 다른 회전익 항공기와 비교하여 구조적으로 간단하고 안정적인 자세 제어가 가능하여 많은 주목을 받고 있으며 최근 멀티로터를 활용한 다양한 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 멀티로터는 다양한 임무수행을 위한 자동 추종 시스템에 슬라이딩 모드 (Sliding Mode) [4], 백스텝핑 (Backstepping) [5] 등의 비선형 제어 기법을 적용한 연구가 진행되었다. 그러나 이러한 비선형 제어 기법은 모델의 정확성에 따라 제어 성능이 결정된다 [6]. 비선형 제어 기법을 적용하는 경우 고정 목표지점 기반 자율 비행이 아닌 움직이는 대상을 추적하는 표적 추종 및 비행에서 이동물체에 대한 정확한 모델링이 쉽지 않으며 추적 대상을 변경하고자 하는 경우 다시 모델링을 해야 하는 불편함이 있다. PID 제어기는 동역학적 모델의 계수가 불

*Corresponding Author (bjc97r@inu.ac.kr)
Received: Aug. 16 2018, Revised: Sep. 4 2018, Accepted: Sep. 8 2018.
H.D. Jeong, S.J. Ko, B.J. Choi: Incheon National University
※ 이 논문은 2018년도 정부 (과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단-현장맞춤형 이공계 인재양성 지원사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 201702300002).

ⓒ IEMEK J. Embed. Sys. Appl. 2018 Dec. 13(6) 321-328
ISSN : 1975-5066
http://dx.doi.org/10.14372/IEMEK.2018.13.6.321

확실한 경우, 일정 수준의 제어를 위하여 사용되고 있다 [7].

본 논문에서는 쿼드로터 무인기에 영상처리 컴퓨터 (Image processing computer)를 탑재하고 카메라를 통한 표적 인식 및 상대거리를 추정하며 상대거리를 PID 제어기에 입력으로 이용하여 속도 명령을 생성하는 자동 추종 시스템을 제안한다. 논문의 구성은 2장에서 쿼드로터 무인항공기에 대한 동역학 및 구성을 소개하고 3장에서 자동 추종을 위한 표적의 인식과 표적 추종을 위한 속도 명령 기반 PID제어기를 제시하며 4장에서 실제 시스템을 구현한 비행실험 결과를 보이고 5장에서 결론을 맺는다.

Ⅱ. 쿼드로터 무인항공기 동역학 및 구성

1. 쿼드로터 무인항공기 동역학 모델링

쿼드로터의 좌표 시스템은 그림 1과 같이 기체 고정 좌표계는 (x, y, z), ϕ는 롤 각도, θ는 피치 각도, ψ 요 각도로 정의된다.

쿼드로터의 질량은 항상 일정하고 기체의 형상을 대칭형으로 가정하면 쿼드로터의 수학적 모델은 뉴턴-오일러 운동법칙을 통해 식 (1)과 같이 표현된다 [8].

$$\begin{cases} \ddot{x} = \frac{1}{m}(\cos\phi\cos\psi\sin\theta + \sin\phi\sin\psi)U_1 \\ \ddot{y} = \frac{1}{m}(\cos\phi\cos\psi\sin\theta + \sin\phi\sin\psi)U_1 \\ \ddot{z} = \frac{1}{m}(\cos\phi\cos\theta)U_1 - g \\ \ddot{\phi} = \frac{1}{I_x}(lU_2 + \ddot{\theta}\ddot{\psi}(I_y - I_z)) \\ \ddot{\theta} = \frac{1}{I_y}(lU_3 + \ddot{\theta}\ddot{\psi}(I_z - I_x)) \\ \ddot{\psi} = \frac{1}{I_z}(U_4 + \ddot{\phi}\ddot{\theta}(I_x - I_y)) \end{cases} \quad (1)$$

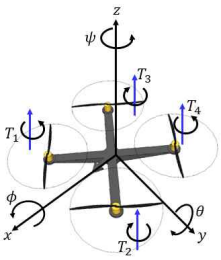

그림 1. 쿼드로터 좌표 시스템
Fig. 1 Coordinate system for quadrotor

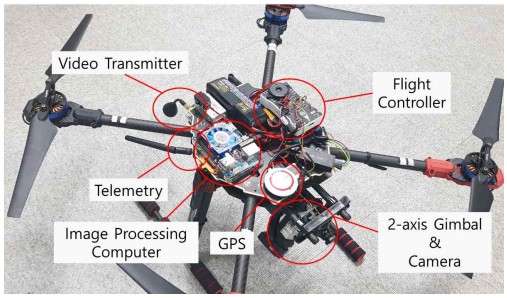

그림 2. 쿼드로터 무인항공기의 구성
Fig. 2 Configuration of our quadrotor UAV

여기서 m은 쿼드로터의 질량이며, g는 중력 가속도, l은 쿼드로터의 중심과 각 로터간의 거리, I_x, I_y, I_z는 각각 x축, y축, z축에 대한 관성 모멘트를 나타낸다. 또한 U_1은 쿼드로터의 전체 추력의 합, U_2, U_3, U_4는 각각 롤 모멘트, 피치 모멘트, 요 모멘트를 의미하며 식 (2)와 같이 표현된다.

$$\begin{cases} U_1 = b(w_1^2 + w_2^2 + w_3^2 + w_4^2) = \sum_{i=1}^{4} T_i \\ U_2 = \frac{bl}{\sqrt{2}}(-w_1^2 + w_2^2 - w_3^2 + w_4^2) \\ U_3 = \frac{bl}{\sqrt{2}}(-w_1^2 - w_2^2 + w_3^2 + w_4^2) \\ U_4 = d(-w_1^2 + w_2^2 + w_3^2 - w_4^2) \end{cases} \quad (2)$$

여기서 $w_1 \sim w_4$는 각 모터의 회전속도, b와 d는 각각 쿼드로터의 추력 계수와 항력 계수이며 T_i는 i번째 로터의 추력을 의미한다.

2. 쿼드로터 무인항공기 구성

본 논문에서 설계하고 구현한 쿼드로터 무인항공기는 그림 2와 같이 비행 제어기 (Flight Controller; FC)와 함께 영상처리 컴퓨터를 기체에 장착하여 영상처리를 통한 표적의 인식 및 독립적 자동 추종이 가능하도록 하였다.

쿼드로터에 탑재 된 비행 컨트롤러는 여러 멀티로터 무인항공기 연구에 사용되어 안정적인 자세 제어성능을 갖춘 것으로 잘 알려진 Pixhawk 하드웨어에 ArduPilot [9] 오픈소스 비행제어기를 부분적으로 수정하였으며 안정적인 자세제어를 위해 반복실험을 통하여 PID 제어기로 구성된 자세제어기 계수를 결정하였다.

쿼드로터의 사양은 표 1과 같으며 쿼드로터는 650급 프레임, 6.4kg의 추력, 자세제어 및 비행을

표 1. 쿼드로터 UAV의 사양
Table 1. Specification of our quadrotor UAV

Dimensions	W: 650, L: 650, H: 300 [mm]
Weight	2,800 [g]
Power plant	Tarot 4006 620KV, 40A ESC, APC 15x5.2 propeller (static thrust: 6.4[kg])
Flight Control System	Pixhawk / Ardupilot STM32F427 Cortex-M4, 168MHz/256KB RAM/2MB Flash, MPU-6000 6-axis IMU (accelerometer, gyroscope), NEO-M8N GPS (with Compass)
Vision System	ODROID-XU4 (Cortex-A15 2GHz and Cortex-A7 Octa core CPUs, 2GB LPDDR3 RAM), NTSC CCD Camera, Tarot 2-axis Gimbal
Wireless Devices	Video transmitter (5.8GHz), Radio Telemetry (433MHz)

위한 비행제어 시스템과 영상처리보드 및 카메라를 포함한 영상시스템을 탑재하였고, 무선송신장비로는 쿼드로터 무인기의 동작 감시를 목적으로 원활한 실험을 위해 지상관제시스템을 통한 카메라 영상과 쿼드로터의 고도, 속도 등의 정보를 확인하기 위해 라디오 텔레메트리를 장착하였다. 그림 3은 본 실험을 위해 쿼드로터 시스템의 블록다이어그램을 나타낸 것이다.

Ⅲ. 표적 추종 시스템

본 논문에서 제안하는 표적 추종 시스템은 쿼드로터 무인기에 장착된 카메라 영상 기반 마커인식 시스템과 지상 이동 표적과 쿼드로터 무인기의 상대위치를 이용한 속도 명령 제어 시스템으로 구성된다.

표적 추종 시스템은 그림 4와 같이 나타낼 수 있다. 제안하는 시스템을 통해 속도 명령이 발생하면 기존의 자세제어기에 입력이 되어 최종적으로 각 로터를 회전시킨다.

1. 마커인식 시스템

아르코 (Aruco) 마커 [10]는 일정한 포맷으로 만들어진 기준 마커 (Fiducial marker)의 일종으로 $N \times N$ 크기의 2차원 비트 패턴과 검정색 테두리로

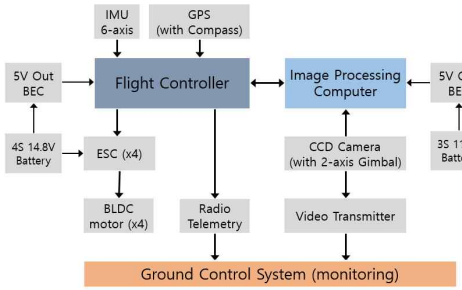

그림 3. 쿼드로터 무인항공기의 블록 다이어그램
Fig. 3 Block diagram of our quadrotor UAV

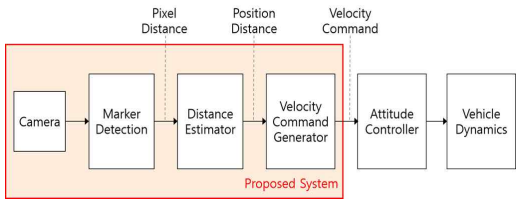

그림 4. 속도 명령 제어시스템의 블록 다이어그램
Fig. 4 Block diagram of the velocity command control system

이루어져 있으며 크기에 따라 여러 가지 모양의 패턴이 존재한다. 아르코 마커는 인식 속도와 정확성이 높으며 마커의 실제 크기와 인식된 패턴을 분석하여 마커와 카메라간의 상대거리 및 각도계산에 관한 연구가 선행되었다 [10, 11]. 본 논문에서는 6×6크기의 아르코 마커 중 임의로 패턴을 선택하여 표적 추종 시스템의 표적으로 선택하였다.

그림 5는 실험에 사용된 아르코 마커 패턴 이미지로 왼쪽은 테두리를 포함한 아르코 마커 전체모습, 오른쪽은 패턴영역을 빨간색 격자로 표시하여 나타낸 모습이다. 본 논문에서는 아르코 마커의 인식과 거리추정을 위해 OpenCV라이브러리의 Aruco Module을 사용하였다 [12].

그림 6과 같이 실험에 사용된 마커는 검은색 테두리를 포함한 아르코마커의 너비를 $1000mm$ 크기로 제작하였고 카메라와 마커의 거리를 $3500mm$ 으로 실험환경을 구성 하였을 때 카메라와 마커 사이의 거리를 추정한 결과 $3487mm$의 추정 값을 확인하였다.

2. 속도 명령 기반 표적 추종 시스템

본 논문에서 제안하는 속도 명령 기반 표적 추종 시스템은 표적 추종을 위해 쿼드로터 무인기와 표적의 상대거리를 추정하여 속도 명령 값을 발생

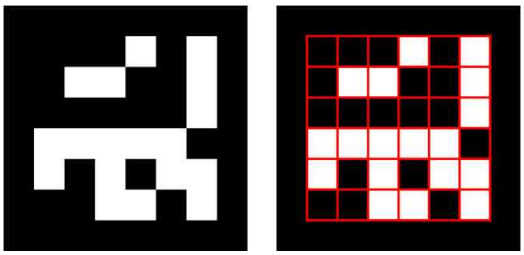

그림 5. 실험에 사용된 6×6 아르코 마커 패턴
Fig. 5 Employed pattern of 6×6 Aruco marker

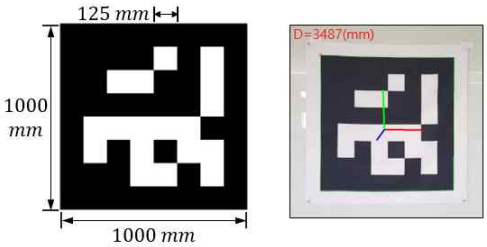

그림 6. 사용된 마커 사양 및 거리추정 실험 결과
Fig. 6 Specification of the employed Aruco marker and a distance estimation result

시킨다. 속도 명령 값은 비행 컨트롤러의 자세제어기로 입력되고 자세제어기는 각 로터의 목표 회전 속도를 PWM신호로 변환하여 전자변속기(Electronic Speed Controller; ESC)를 거쳐 최종적으로 로터의 회전을 발생시킨다. 이러한 구조는 본 연구에서와 같이 성능이 검증된 기존의 자세제어기와 독립적으로 동작하기 때문에 바람과 같은 주위 환경요소들에 의한 외란이 있는 환경에서도 자세제어기의 성능을 감소시키지 않고 안정적인 비행이 가능하다.

3. PID 제어기

표적 추종을 위한 목표물은 비선형적으로 이동하지만 표적에 따라 움직이는 특성이 다르기 때문에 비선형제어기를 사용하기 위한 모델링이 쉽지 않다. 따라서 본 논문에서 제안하는 속도 명령 제어 시스템은 상대거리를 이용하여 속도 명령을 발생시키기 위해 PID제어기를 사용한다. 쿼드로터 무인기 좌표계를 기준으로 $North$, $East$방향 상대거리를 PID제어기의 입력으로 사용한다.

P_{North}, P_{East}는 쿼드로터 무인기와 마커 중심점 사이의 상대거리를 의미하며 PID제어기를 통한 속도 명령식 (V_{North}, V_{East})은 식 (3)과 같다 [7].

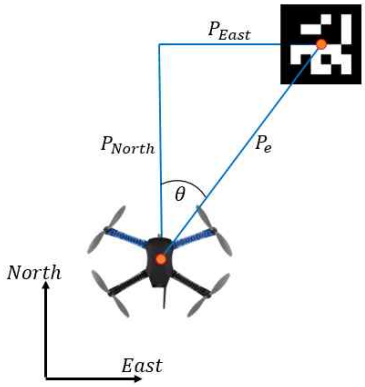

그림 7. 쿼드로터 무인기와 마커의 상대위치 상면도
Fig. 7 Top view of quadrotor UAV and marker

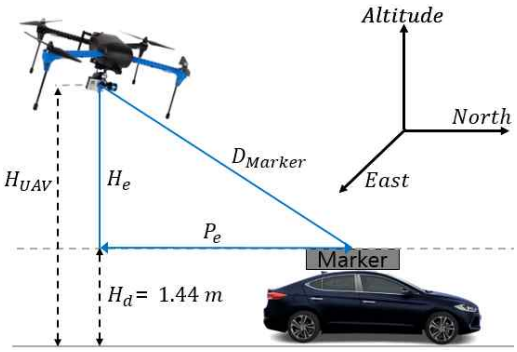

그림 8. 쿼드로터 무인기와 마커의 상대위치 측면도
Fig. 8 Side view of quadrotor UAV and marker

$$\begin{aligned} V_{North}(k) &= K_{P_{North}} P_{North}(k) \\ &\quad + K_{I_{North}} \sum^{k} P_{North}(i)\,T \\ &\quad + K_{D_{North}} \frac{P_{North}(k) - P_{North}(k-1)}{T} \\ V_{East}(k) &= K_{P_{East}} P_{East}(k) \\ &\quad + K_{I_{East}} \sum^{k} P_{East}(i)\,T \\ &\quad + K_{D_{East}} \frac{P_{East}(k) - P_{East}(k-1)}{T} \end{aligned} \tag{3}$$

반복실험을 통해 $North$방향 제어기의 최적 이득 값은 $K_{p_{North}} = 3.71$, $K_{i_{North}} = 0.13$, $K_{d_{North}} = 3.46$으로, $East$방향 최적 이득 값은 $K_{p_{East}} = 2.35$, $K_{i_{East}} = 0.09$, $K_{d_{East}} = 2.17$ 으로 설정하였다. 본 논문의 실험환경에서는 무인기의 진행방향과 마커의 진행방향이 크게 벗어나지 않기 때문에 $East$방향보다 $North$방향 제어 이득 값의 크기가 크다.

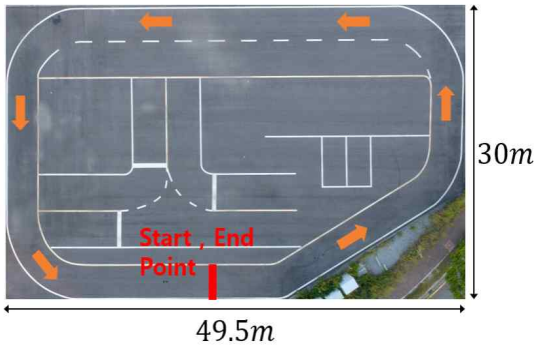

그림 9. 시험비행에 사용된 자동차 주행 트랙
Fig. 9 Vehicle track used for test flight

쿼드로터 무인기에 장착된 짐벌은 무인기의 기울어진 자세에도 불구하고 카메라의 방향이 항상 수직아래 지면 방향을 고정해주기 때문에 카메라는 지면에 대해 수직영상을 획득하게 된다. 따라서 그림 7에서의 θ는 영상처리 과정에서 영상의 중앙과 마커의 중심가로, 세로방향의 픽셀차이를 통해 계산할 수 있으며 그림 8에서와 같이 차량의 높이 H_d는 $1.44m$이고 쿼드로터의 고도 H_{UAV}는 GPS로 부터 얻을 수 있으며 D_{Marker}는 카메라와 마커의 거리추정 값을 사용한다. 따라서 쿼드로터와 표적 사이의 높이 차이 (H_e), 수평거리 (P_e), 상대위치 (P_{North}, P_{East})는 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} H_e &= H_{UAV} - 1.44\,[m] \\ P_e &= \sqrt{D_{Marker}^2 - H_e^2} \\ P_{North} &= P_e \cos(\theta) \\ P_{East} &= P_e \sin(\theta) \end{aligned} \tag{4}$$

Ⅳ. 시험비행

제안된 자동 추종 시스템을 검증하기 위해 마커를 차량위에 부착하고 실험용 트랙을 주행하였다. 쿼드로터 무인기는 지면의 차량과 동일한 지점에서 이륙하며 이후 마커가 부착된 차량에 대해 마커인식을 통한 상대거리 추정과 속도 명령 추종시스템에 의한 속도 명령 값을 통해 표적을 추종한다.

시험비행에 사용된 자동차 주행 트랙의 모습은 그림 9와 같다. 출발지점과 종료지점은 빨간색으로 표시된 Start, End Point지점으로 동일한 위치이며 차량은 주황색 화살표 방향으로 이동하며 정지비행

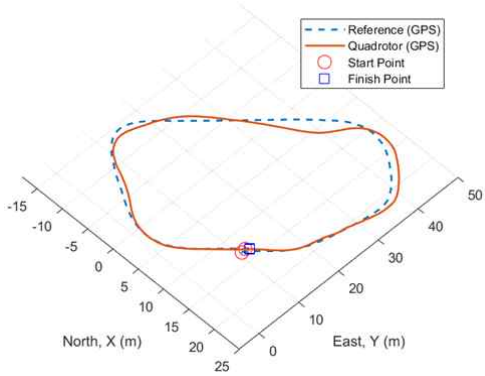

그림 10. 2차원 표적 추종 궤적
Fig. 10 Two dimensional trajectory moving marker tracking result

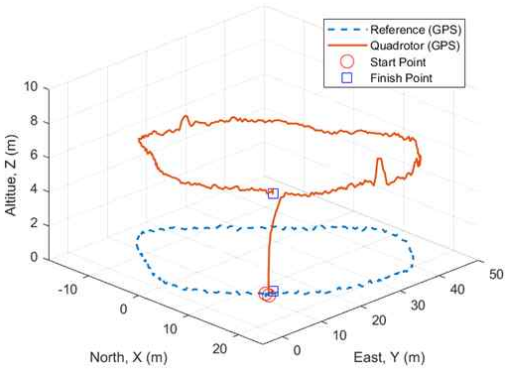

그림 11. 3차원 표적 추종 궤적
Fig. 11 Three dimensional trajectory moving marker tracking result

상태의 쿼드로터 무인기는 차량의 움직임에 따라 추종 비행한다.

그림 10은 마커를 부착한 차량과 쿼드로터 무인기의 이동 경로를 GPS 정보를 이용하여 나타내었다. 차량과 쿼드로터에는 동일한 제품의 GPS가 각각 장착되어있고 출발 위치를 동일하게 설정하였다. 때문에 두 GPS의 시작지점에 대한 상대적 오차를 보정하였다. 빨강색 원과 파란색 사각형이 나타나는 지점은 그림 9에서의 각각 Start, End Point지점이며 파란색 점선은 차량의 이동경로를 나타내고 주황색 실선은 쿼드로터의 표적 추종 궤적을 나타낸다.

고도정보를 포함한 3차원 표적 추종결과는 그림 11에 나타내었다. 본 논문에서 쿼드로터 무인기는

그림 12. 움직이는 표적 추종 시험비행 결과
Fig. 12 Flight test result of the moving target tracking

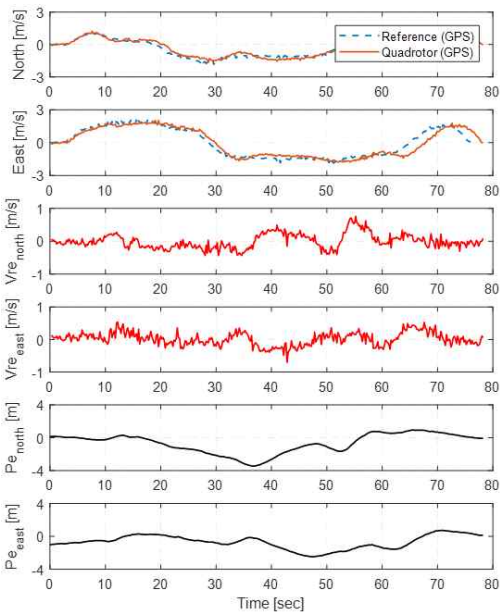

그림 13. 시간에 따른 상대위치 및 속도 정보
Fig. 13 Time histories of the relative position and velocity information

약 7.5$[m]$의 높이에서 비행하며 GPS의 오차로 인해 그래프에 잡음이 나타나지만 강건한 비행성능을 확보하여 전반적으로 표적 추적을 잘 수행하고 있음을 확인할 수 있다.

쿼드로터 무인기의 최대 표적 추종 속도를 결정하는 요인은 무인기에 장착된 카메라와 표적의 높이 차이, 표적 추종 제어기의 PID루프 주기, 무인기의 최대 비행속도이다. 본 논문에서 실험한 무인기와 표적의 높이차이 $H_e = 6.06[m]$, 카메라의 시야각 $C_{AOV} = 110[\mathrm{deg}]$, 마커의 길이 $L_{Marker} = 1[m]$이고 속도 명령 제어기는 최대 100 [Hz] 속도로 동작 가능하지만 실제 속도 명령 제어기의 동작 속도는 영상처리 컴퓨터의 마커 인식속도인 $f = 19$ [Hz]와 같다. 따라서 카메라 영상에서의 최대 마커 인식 거리 $R_{\max}$와 최대 표적 추종 속도 $V_{\max}$는 식 (5)를 통해 계산할 수 있다.

$$R_{\max} = (H_e \times \sin(\frac{C_{AOV}}{2})) - L_{Marker} \qquad (5)$$
$$V_{\max} = R_{\max} \times f$$

이렇게 구해진 $V_{\max}$는 75$[m/s]$이나, 실험에 사용된 쿼드로터의 최대 비행속도는 약 14$[m/s]$정도이므로 바람과 같은 외란요소를 제외하면 최대 표적 추종 속도는 쿼드로터의 최대 비행속도와 같다.

그림 12는 시험비행을 나타낸 것이며 쿼드로터 무인기가 움직이는 차량을 추종하고 있다. 그림 13은 표적을 부착한 차량과 쿼드로터 무인기의 시간에 따른 상대위치 및 속도 정보를 나타낸다. 표적과 쿼드로터 무인기는 약 $3m/s$의 속력으로 이동하고 있으며 빨간색 그래프로 나타난 상대속도 $V_{re_{north}}$, $V_{re_{east}}$는 대부분의 구간에서 $0.5m/s$이내의 차이를 나타내고 있다. 상대거리 $P_{e_{north}}$, $P_{e_{east}}$는 35초와 45초 전후로 나타나는 상대거리 차이는 $4m$ 정도의 오차가 있지만 전반적으로 $1m$이내의 성능을 보이고 있음을 확인할 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 멀티로터 무인항공기의 자동 추종 시스템을 위해 아르코 마커를 표적으로 선정하고 마커인식시스템 및 속도 명령 기반 표적 추종 시스템을 설계하였다. 차량위의 마커를 표적으로한 자동 추종 실험결과 구현된 쿼드로터 무인기는 GPS 오차, 외란 등의 외부 요인에도 강건한 비행성능을 보였다. 표적 추종에 사용된 PID제어기는 움직이는 표적과 같이 비선형성이 강하지만 정확한 모델링이 어려운 상황에서 일정 수준의 성능을 보여준다. 향후 고속 표적 추종이 가능한 멀티로터 무인항공기 시스템을 구현하기 위해 다양한 제어 알고리즘을 검토하고 적용할 계획이다.

References

[1] S. Gupte, P. Mohandas, J. Conrad, “A Survey of Quadrotor Unmanned Aerial Vehicles,” in

Proceedings of IEEE Southeastcon Conference, pp. 1-6, 2012.

[2] S.J. Lee, Y.S. Choi, "Comparison of Topographic Surveying Results Using a Fixed-wing and a Popular Rotary-wing Unmanned Aerial Vehicle (Drone)," Journal of the Tunnel and Underground Space, Vol. 26, No. 1, pp. 24-31, 2016. (in Korean)

[3] H. Kim, H.S. Jeong, K.T. Chong, D.J. Lee, "Dynamic Modeling and Control Techniques for Multi-Rotor Flying Robots," Journal of Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers, Vol. 38, No. 2, pp. 137-148, 2014. (in Korean)

[4] A. Basci, K. Can, K. Orman, A. Derdiyok, "Trajectory Tracking Control of a Four Rotor Unmanned Aerial Vehicle Based on Continuous Sliding Mode Controller," Journal of the Elektronika ir Elektrotechnika, Vol. 23, No. 3, pp. 12-19, 2017.

[5] E. Frazzoli, M. Dahleh, E. Feron, "Trajectory Tracking Control Design for Autonomous Helicopters Using a Backstepping Algorithm," Proceedings of the American Control Conference, pp. 4102-4107, 2000.

[6] Y.D. Jung, S.W. Cho, H.C. Shim, "Trajectory Tracking Controller Design Using L_1 Adaptive Control for Multirotor UAVs," Journal of the Korean Society for Aeronautical and Space Sciences, Vol. 42, No. 10, pp. 842-850, 2014. (in Korean)

[7] M.J. Kim, S.B. Bae, W.K. Baek, M.G. Jo, K. N. Ha, "A Way-Point Tracking of Hovering AUV by PID control," Journal of IEMEK J. Embed. Sys. Appl., Vol. 10, No. 4, pp. 257-264, 2015. (in Korean)

[8] S. Bouabdallah, R. Siegwart, "Towards Intelligent Miniature Flyingrobots," Journal of Tractsaction in Advanced Robotics, Vol. 25, pp. 429-440, 2006.

[9] L. Feng, Q. Fangchao, "Research on the Hardware Structure Characteristics and EKF Filtering Algorithm of the Autopilot PIXHAWK," Proceedings of International Conference on Instrumentation and Measurement, Computer, Communication and Control, pp. 228-231. 2016.

[10] S. Garrido-Jurado, R. Muñoz-Salinas, F.J. Madrid-Cuevas, M.J. Marín-Jiménez, "Automatic Generation and Detection of Highly Reliable Fiducial Markers Under Occlusion," Journal of Pattern Recognition, Vol. 47, No. 6, pp. 2280-2292, 2014.

[11] A. Roberts, W.N. Browne, C. Hollitt, "Accurate Marker Based Distance Measurement With Single Camera," Proceedings of IEEE International Conference on Image and Vision Computing, pp. 1-6, 2015.

[12] Avaliable on https://docs.opencv.org/master/d9/d6a/group__aruco.html

Hyeon-Do Jeong (정 현 도)

He received B.S. degree from the department of Embedded Systems Engineering, Incheon National University, Korea, in 2017.

Email: hyeondo@inu.ac.kr

Seon-Jae Ko (고 선 재)

He received B.S. degree from the department of Embedded Systems Engineering, Incheon National University, Korea, in 2018.

Email: dlem1227@inu.ac.kr

Byoung-Jo Choi (최 병 조)

He is a professor at the department of Embedded Systems Engineering, in Incheon National University.

He received B.S, M.S. degree from the department of Electronics Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST), in 1990 and 1992. and the Ph.D. degree in Electronics and Computer Science from University of Southampton in 2002.

Email: bjc97r@inu.ac.kr