技術論文

DOI:10.5139/JKSAS.2010.38.5.490

자동 비행 소형 무인 회전익항공기의 영상정보를 이용한 지상 이동물체 추적 연구

강태화*, 백광열*, 목성훈*, 이원석*, 이동진*, 임승환*, 방효충**

Tracking of ground objects using image information for autonomous rotary unmanned aerial vehicles

Taehwa Kang*, Kwangyul Baek*, Sunghoon Mok*, Wonsuk Lee*, Dongjin Lee*,
Seunghan Lim* and Hyochoong Bang**

ABSTRACT

This paper presents an autonomous target tracking approach and technique for transmitting ground control station image periodically for an unmanned aerial vehicle using onboard gimbaled(pan-tilt) camera system. The miniature rotary UAV which was used in this study has a small, high-performance camera, improved target acquisition technique, and autonomous target tracking algorithm. Also in order to stabilize real-time image sequences, image stabilization algorithm was adopted. Finally the target tracking performance was verified through a real flight test.

초 록

본 논문에서는 소형 무인항공기에 영상 획득용 카메라를 장착하여 지상의 이동물체를 자동으로 추적하고 지상으로 영상정보를 지속적으로 전송하는 기술 및 관련 이론에 대한 연구를 다루고 있다. 본 연구에 사용된 회전익 무인항공기에는 소형·고성능의 영상획득 장치와 지상표적에 대한 식별·지향·자동추적 알고리즘이 탑재되었고 더욱 안정된 영상추적을 위해 영상 안정화 기법을 추가적으로 적용하였다. 최종적으로 모든 연구내용에 대해 비행시험을 수행하여 그 성능을 검증하였다.

Key Words : Miniature rotary UAV(소형 회전익 무인항공기), Gimbaled camera system(감발카메라 시스템), Histogram back-projection(히스토그램 역투영), CAMShift, Target pointing(표적지향), Image stabilization(영상 안정화)

1. 서 론

본 논문은 영상기반의 무인항공기를 이용하여 지상의 정지 및 이동물체를 자동으로 추적하고 그 영상정보를 지상으로 연속적으로 전송·처리하는

기술 및 관련 이론에 대한 연구를 다루고 있다.

영상기반의 지상물체 추적과 관련하여 기존에는 다양한 형태의 무인항공기를 이용한 연구가 다수 진행되어왔고 이 중 대부분이 간단한 기체설계와 안정된 비행이 가능한 고정익 무인항공기를 이용한 연구였다[1][2]. 회전익 무인항공기의 경우 고정익 무인항공기에 비해 복잡한 환경에서의 다양한 기동 및 추적이 더욱 용이하지만 복잡한 기체설계와 자체진동 등의 제한사항으로 인해 초소형 쿼드로 터기를 사용한 연구[3]나 정지 혹은 저속의 특정

† 2009년 11월 10일 접수 ~ 2010년 3월 31일 심사완료

* 정회원, KAIST 항공우주공학과 대학원

** 정회원, KAIST 항공우주공학과

교신저자, E-mail : hcbang@ascl.kaist.ac.kr

대전광역시 유성구 구성동 373-1

형태의 물체를 추적하는 연구[4] 등과 같은 제한된 연구가 일부 진행되어 왔다.

본 연구에서는 복잡한 지상 환경 및 추적물체의 다양한 움직임을 고려하여 무인항공기 플랫폼으로 소형 회전익 항공기를 채택하였고 위의 제한사항을 극복하기 위해 진동 및 충격흡수를 위한 댐퍼장치를 사용하였고 무인항공기의 보강설계를 수행하였다. 또한 안정된 물체 추적을 위해 컬러(Color)기반 추적 알고리즘과 김발카메라를 이용한 실시간 표적 지향 알고리즘을 사용하였다. 컬러기반 추적 알고리즘의 경우 기존 연구에서는 색상정보만을 이용한 알고리즘 특성상 지상 및 근거리 상황에서 주로 적용되어 왔다[5][6]. 만약 높은 고도에서 비행하는 무인항공기에 위의 알고리즘을 그대로 적용할 경우 기체의 자체진동 및 기상변화 등에 의해 표적 식별 성능이 크게 저하될 수 있다. 이를 해결하기 위해 본 연구에서는 위의 알고리즘에 가중치 부여·잡음 제거·영상 안정화 기법을 적용하였다.

본 논문은 크게 무인항공기 및 영상시스템 소개, 실시간 영상처리 및 추적, 비행시험의 내용으로 구성되어 있다. 실시간 영상처리 부분에서는 영상 획득·지향·추적·안정화 기법에 대한 이론요약 및 실험결과를 제시하였고, 이에 대한 세부적인 내용 및 추가적인 영상자료는 참고자료[7][8]에 상세히 기술되어 있다.

II. 자동비행 무인항공기 시스템

2.1 소형 회전익 무인항공기

본 연구에 사용된 기체는 비행제어 컴퓨터, GPS, IMU, 광학 영상시스템, 자동비행 알고리즘 등이 적용된 소형 회전익 무인항공기이다. 그리고 26cc의 가솔린 엔진을 장착하여 적재중량 성능 및 비행 안정도를 향상시켰다.

Fig. 1. 회전익 무인항공기 HIGHST RUAV-II

본 논문에서는 연구의 효율적인 수행을 위해 기존에 개발된 회전익 무인항공기의 기체성능 개선, 시스템 안정화, 그리고 영상획득 장치의 소형화를 우선적으로 구현하였다.

2.2 자동비행 시스템

자동비행시스템은 FCC(Flight Control Computer), IMU(Inertial Measurement Unit), GPS(Global Positioning System), 서보(Servo) 제어장치, 영상장치, 통신장비, 그리고 GCS(Ground-station Control System)로 구성되어 있고 Fig. 2와 같은 구조로 설계되어 있다.

Fig. 2. 자동비행시스템 구조

Fig. 3. 자동비행 명령추종(Pitch, Roll, Yaw)

Fig. 4. 지상국 시스템 통제 프로그램

FCC는 자동화 시스템의 기본이면서 본 연구팀의 자체기술이 가장 많이 집약되어 있는 핵심장치이다. 특히 각종 장치를 연결할 수 있는 다양한 디지털(Digital) 포트(Port)와 아날로그(Analog) 포트를 장착하여 시스템의 호환성을 향상시켰으며 고성능의 CPU와 모뎀의 장착, 그리고 MCI OS2라는 빠르고 정확한 실시간 OS를 적용함으로써 안정적인 실시간 자동비행이 가능하게 되었다.

Fig. 3은 실제 자동비행 결과 데이터를 보여주고 있다. 이를 통해 자동비행 시스템이 제어명령에 따라 잘 추종한다는 것을 확인할 수 있다. 기타 자동비행에 관련된 설명 및 실험데이터는 참고문헌 [9]에 상세히 제시되어 있다.

GCS는 원거리 임무를 수행하고 있는 무인항공기와 무선통신을 통해 제어 및 각종 정보를 공유하는 지상국 시스템이다. 지상국 시스템 통제 프로그램은 LABView라는 그래픽 기반 툴(Tool)을 이용하여 자체 개발하였으며 이를 통해 지상국 운영자에 의한 실시간 임무지시가 매우 용이하다. 또한 GPS 위치정보, 속도, 방향 등의 무인항공기의 상태 및 각종 정보를 한눈에 파악할 수 있기 때문에 각종 비상사태 하에서 신속하고 안전한 조치가 가능하다.

GPS 시스템은 DGPS (Differential GPS)를 채택 하였고 이로 인하여 수 cm 이내 오차만을 가진 정밀한 무인항공기의 위치정보를 획득할 수 있다.

2.3 영상시스템

영상시스템은 카메라, 영상 송·수신기, gimbal장치, 서보, 댐퍼(Damper)로 구성되어 있다.

카메라는 소니사의 광학줌 CCD 모듈인 FCB EX-980S 모델을 사용하였고, 영상 송·수신기는 밀리콤사의 제품을 사용하였다. 카메라와 결합된 gimbal장치는 좌우회전 및 상하회전의 움직임이 가능하도록 자체설계·제작 되었으며 서보제어 시스템(Servo Control System)을 통해 이를 제어한다.

Fig. 5. gimbal 카메라 시스템

이러한 gimbal장치는 무인항공기의 기수 방향에 큰 영향 없이 카메라 지향방향의 범위(시야)를 충분히 확보해주기 때문에 지속적이고 안정적인 목표물 추적을 가능하게 한다. 댐퍼는 무인항공기의 자체 진동 및 gimbal 구조로 인해 발생하는 진동을 감소시키기 위해 무인항공기와 gimbal장치 연결부분에 설치된다.

영상시스템은 무인항공기의 FCC와 연결되어 지상국 시스템과 실시간 통신을 수행하고 이를 통해 실시간 영상정보를 제공한다. 또한 운용자에 의해 입력되는 줌, 셔터스피드, 조리개 수치조절, 영상처리 등의 명령을 수행한다. 영상시스템 통제 프로그램은 신속·정확한 실시간 데이터 처리가 가능한 C언어 기반의 MFC 툴로 제작되어 있다.

III. 목표물 식별 및 추적

3.1 목표물 식별

영상 내 물체를 인식하는 기법으로 기존 표적의 정보를 활용한 영상매칭(Image-matching), 표적의 점이나 모서리 등의 특징점 추출, 컬러인식 기법 등이 있다. 본 연구에서는 주위 배경과 구분이 잘 되는 목표물이 있다는 가정 하에 높은 인식률과 안정적인 알고리즘 구조를 가진 컬러(색상)인식 기반의 표적획득 방법을 적용하였다.

목표 색상성분 분석에서는 RGB, HSV 등 여러 컬러 공간이 사용될 수 있는데 본 연구에서는 HSV 컬러 공간의 색상(Hue) 채널을 이용하였다. 영상 내 목표 검출을 위해 우선 일반적인 방법인 히스토그램 역투영(Histogram Back-Projection)을 이용하여 확률분포 영상을 얻는다[10]. 히스토그램은 영상의 원하는 정보를 픽셀별로 빈(Bin)으로 양자화하여 영상처리에 필요한 시간을 단축시키고, 비슷한 정보의 픽셀들을 클러스터로 모은다. 히스토그램 분포는 식 (1)과 같이 표현되고, 식 (2)를 통해 최대

Fig. 6. 히스토그램 역투영 과정[7]

값을 byte 단위의 최대값인 255로 히스토그램을 스케일링(scaling) 한다.

$$\hat{q}_u = \sum_{i=1}^n \delta[c(x_i^*) - u] \quad (1)$$

$$\hat{p}_u = \frac{255}{\max(\hat{q})} \hat{q}_u \quad (2)$$

Fig. 6의 왼쪽 위 그림은 원본 영상이고 오른쪽 위 그림은 표적의 Hue 채널 히스토그램을 나타낸다. 표적 색상인 빨간색 부분의 히스토그램 빈에 해당하는 부분의 값이 두드러지게 높은 것을 확인할 수 있다. 왼쪽 아래 그림은 원본영상의 Hue 채널 영상을 나타내고, 오른쪽 아래 그림은 원본 영상에 목표물의 히스토그램 역투영을 적용한 확률분포 영상을 나타낸다.

3.2 실시간 목표물 추적

본 연구에서는 목표물 추적 방법으로 목표물의 상태변화에 강인한 CAMShift (Continuously Adaptive Mean Shift) 알고리즘을 적용하였다. CAM-Shift 알고리즘의 기본인 MeanShift 알고리즘은 명암분포의 평균값에 의해 만들어진 고정된 크기의 탐색창을 이용하는 기법으로써 지난 프레임의 물체 위치를 탐색창의 초기 위치로 정하고 확률이 높은 쪽(픽셀 값이 높은 쪽)으로 이동하여 물체를 추적하는 방법을 사용한다[11]. CAMShift 알고리즘은 이에 더해 명암 분포의 크기와 각도를 계산하여 새로운 크기의 탐색창의 명암 분포를 갱신하는 단계를 추가하여 목표물의 크기변화에 더욱 강력하게 반응한다. 따라서 무인항공기의 위치·고도 변화와 지상표적의 이동으로 인해 영상 내 표적의 크기가 실시간으로 변하는 실제 상황 하에서는 CAMShift 알고리즘이 더욱 효과적인 추적성능을

Fig. 7. CAMShift 알고리즘 수행

제공한다. CAMShift 알고리즘은 참고문헌[12]에서 제시된 아래의 단계로 적용되며 Fig. 7을 통해 알고리즘의 성능을 확인할 수 있다.

- (1) 탐색창의 초기 위치를 정한다.
- (2) 탐색창 내의 명암 분포 중심을 구한다.
- (3) MeanShift 알고리즘을 반복한다.
- (4) 이어지는 프레임에서 탐색창의 위치와 크기를 (3)에서 얻어진 명암분포 중심으로 바꾼다.
- (5) (2)에서 (4)의 과정을 반복한다.

여기서 CAMShift 알고리즘에서의 목표물의 크기 및 각도는 탐색창 내 명암분포의 1·2차 모멘트를 계산함으로써 구할 수 있다[13][14].

1·2차 모멘트 식은 식(6)과 같이 정의된다.

$$\begin{aligned} M_{20} &= \sum_x \sum_y x^2 I(x, y) \\ M_{02} &= \sum_x \sum_y y^2 I(x, y) \\ M_{11} &= \sum_x \sum_y xy I(x, y) \end{aligned} \quad (6)$$

계산의 편의를 위해 모멘트와 관계된 변수를 식 (7)과 같이 정의한다.

$$\begin{aligned} m_a &= \frac{M_{20}}{M_{00}} - x_c^2 \\ m_b &= 2 \left(\frac{M_{11}}{M_{00}} - x_c y_c \right) \\ m_c &= \frac{M_{02}}{M_{00}} - y_c^2 \end{aligned} \quad (7)$$

여기서 명암 분포의 가로·세로 크기는 식(8)과 같으며, 명암 분포의 각도는 식(9)와 같다.

$$\begin{aligned} l &= \sqrt{\frac{(m_a + m_c) + \sqrt{m_b^2 + (m_a - m_c)^2}}{2}} \\ w &= \sqrt{\frac{(m_a + m_c) - \sqrt{m_b^2 + (m_a - m_c)^2}}{2}} \end{aligned} \quad (8)$$

$$\theta = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left(\frac{m_b}{m_a - m_c} \right) \quad (9)$$

CAMShift 알고리즘은 초기 사용자가 선택하는 영역 내에는 추적대상(탐색창)을 원하는 표적뿐만 아니라 그 주위의 배경까지 포함시킨다. 또한 탐색창의 크기를 변화시키는 CAMShift 알고리즘은 확률분포 영상에서 나타나는 밝은 영역보다 탐색창의 크기를 조금 크게 결정하는 경향이 있기 때문에 표적 근처의 배경에 대한 영향을 줄일 필요가 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 표적 인식 과정에서 식(10), 식(11)과 같이 탐색 영역내의 중심으로부터 거리가 먼 픽셀일수록 낮은 가중치를 부여하는 방법을 사용한다[15].

$$\hat{q}_u = \sum_{i=1}^n k \left(\|x_i^*\|^2 \right) \delta [c(x_i^*) - u] \quad (10)$$

$$k(r) = \begin{cases} 1-r & r \leq 1 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (11)$$

Fig. 8은 가중치 적용에 따른 확률분포 영상의 차이를 나타내며 가중치 부여방법을 적용함으로써 표적 인식 성능이 크게 향상된다는 것을 확인할 수 있다.

Fig. 8. 가중치 방법을 적용한 확률분포 영상(전·후)[7]

3.3 실시간 표적 지향

고정 카메라를 이용해 표적을 추적하는 경우 표적이 영상 범위 내에서 벗어나면 무인항공기의 기동을 통해 표적을 영상 범위 내로 위치시켜야 한다. 하지만 이러한 방법은 상황에 따라 무인항공기의 급격한 기동 또는 상당한 비행시간이 요구될 수 있기 때문에 비행의 안정성과 지속적인 표적추적을 보장할 수 없게 된다. 이러한 문제점은 김발제어를 통해 무인항공기 기수방향과 별도로 표적을 지향함으로써 해결할 수 있다.

본 연구에서는 팬(Pan/좌우회전)·틸트(Tilt/상하회전)의 2축 자유도가 확보된 김발 시스템을 적용하였고 표적을 지향하기 위한 기준은 영상 내의 중심으로 설정하였다. 김발 시스템에 의한 표적 지향은 CAMShift 알고리즘에 의해 식별 및 추적된 표적의 위치 정보를 이용한 김발 피드백(Feed-back) 제어를 통해 표적을 영상 중심으로 위치시키는 방법으로 진행된다.

(1) 좌표변환

표적 지향 알고리즘은 무인항공기 동체 좌표계에서 김발 좌표계로(식(12)), 김발 좌표계에서 카메라 좌표계로(식(13)), 카메라 좌표계에서 픽셀(Pixel) 좌표계로(식(14))의 좌표변환을 포함한다. Fig. 9는 영상기반 무인항공기의 평면·측면 좌표계를 나타낸다.

여기서 (x_b, y_b, z_b) 는 동체 좌표계, (x_g, y_g, z_g) 는 김발 좌표계, (x_c, y_c, z_c) 는 카메라 좌표계, 그리고 (x_p, y_p, z_p) 는 픽셀 좌표계를 나타낸다. 그리고 f 는 카메라의 초점거리, k_u, k_v 는 각각 영상 평면에서의 미터단위당 픽셀 값, 그리고 (u_0, v_0) 는 영상좌표를 나타낸다.

Fig. 9. 김발의 평면 및 측면 좌표계

$$\begin{aligned}
 R_b^g &= R_{tilt} R_{pan} \\
 &= \begin{bmatrix} \cos_{tilt} & 0 & -\sin_{tilt} \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin_{tilt} & 0 & \cos_{tilt} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos_{pan} & \sin_{pan} & 0 \\ -\sin_{pan} & \cos_{pan} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} \cos_{tilt} \cos_{pan} & \cos_{tilt} \sin_{pan} & -\sin_{tilt} \\ -\sin_{pan} & \cos_{pan} & 0 \\ \cos_{pan} \sin_{tilt} & \sin_{pan} \sin_{tilt} & \cos_{tilt} \end{bmatrix} \quad (12)
 \end{aligned}$$

$$R_g^c = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (13)$$

$$R_c^p = \begin{bmatrix} k_u f & 0 & u_0 \\ 0 & k_v f & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (14)$$

식(15)는 위의 좌표변환 행렬을 이용하여 픽셀 좌표계에서 무인항공기 동체 좌표계로의 좌표변환 결과를 나타낸다.

$$\begin{bmatrix} x_b \\ y_b \\ z_b \end{bmatrix} = R_p^b \begin{bmatrix} x_p \\ y_p \\ z_p \end{bmatrix} = (R_c^p R_g^c R_b^g)^{-1} \begin{bmatrix} x_p \\ y_p \\ z_p \end{bmatrix} \quad (15)$$

(2) 표적지향 명령

식(15)에서 얻은 좌표 값을 이용하여 표적을 지향할 때의 팬·틸트 각도 명령 값을 식(16)과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 pan &= \tan^{-1} \left(\frac{y_b}{x_b} \right) \\
 tilt &= \tan^{-1} \left(\frac{1}{\sqrt{\left(\frac{x_b}{z_b} \right)^2 + \left(\frac{y_b}{z_b} \right)^2}} \right) \quad (16)
 \end{aligned}$$

IV. 실시간 영상 안정화

4.1 실시간 영상 안정화

무인항공기가 비행하는 동안 기상변화와 기체 및 김발의 자체 진동으로 인해 영상범위의 변화와 영상 흔들림이 자주 발생하기 때문에 안정적인 표적 인식 및 지향에 제한이 따르게 된다. 따라서 이를 해결하기 위해 별도의 영상 안정화 단계가 필요하다.

본 연구에서는 영상 안정화를 위해 광학식 흔들림 보정기능을 가진 카메라를 사용하였고 이를 더욱 개선하기 위해 획득된 영상을 이용한 디지털 영상 보정 기법을 추가적으로 적용하였다. 디지털 영상

보정 기법은 전(Before)영상 프레임과 후(After) 영상 프레임의 변화에 대한 상관관계를 구하고 이를 통해 하나의 영상으로 정합하는 과정으로 진행된다.

(1) 두 영상간의 관계

전·후의 영상을 정합하기 위해서는 전·후 영상간의 변화된 픽셀(특징점)의 위치를 구해야 한다. 두 영상간의 관계는 시각적인 방향 및 거리에 의해 다음과 같은 관계식으로 정의할 수 있다[16].

1) 수평 이동

$$(d_x, d_y) : (x, y) \rightarrow (x + d_x, y + d_y) \quad (17)$$

2) 위치이동 및 회전

$$(\theta, d_x, d_y) : (x, y) \rightarrow (x \cos \theta + y \sin \theta + d_x, -x \sin \theta + y \cos \theta + d_y) \quad (18)$$

3) 회전이동 및 크기변환

$$(h_a, h_b, d_x, d_y) : (x, y) \rightarrow (h_a x + h_b y + d_x, -h_b x + h_a y + d_y) \quad (19)$$

4) 위치이동 및 영상의 기울어진 각도

$$(h_a, h_b, h_c, h_d, d_x, d_y) : (x, y) \rightarrow (h_a x + h_b y + d_x, h_c x + h_d y + d_y) \quad (20)$$

5) 위치이동 및 원근감

$$(h_a, h_b, h_c, h_d, h_e, h_f, d_x, d_y) : (x, y) \rightarrow \left(\frac{h_a x + h_b y + d_x}{h_e x + h_f y + 1}, \frac{h_c x + h_d y + d_y}{h_e x + h_f y + 1} \right) \quad (21)$$

(2) 영상 특징점 추출 및 추적

전·후 영상간의 관계를 바탕으로 특징점 추출 및 추적의 과정이 진행된다. 특징점 추출을 위해 영상 내 모서리 특징점 추출 알고리즘(상대적 확률분포 비교)[17]을 적용하였으며, 전영상 프레임과 후영상 프레임의 특징점 추적을 위해 Lucas-Kanade 알고리즘[18]을 적용하였다. 특징점 추출의 결과는 Fig. 11을 통해 확인할 수 있다.

(4) 영상 구부림(Warping) 및 영상정합

전영상 프레임과 후영상 프레임의 공통된 특징점 픽셀에 대한 관계식은 식(22)와 같이 나타낼 수 있다. 여기서 (x_i, y_i) 는 전영상의 픽셀좌표이고 (x'_i, y'_i) 은 후영상의 픽셀좌표를 나타낸다.

$$\begin{aligned}
 h_a x_i + h_b y_i - h_e x_i x'_i - h_f y_i x'_i + h_x &= x'_i \\
 h_c x_i + h_d y_i - h_e x_i y'_i - h_f y_i y'_i + h_y &= y'_i
 \end{aligned} \quad (22)$$

식(22)의 8개의 변수 값을 추정하기 위해 두 프레임의 공통된 특징점 픽셀 오차의 절대값의

합을 최소화 시키는 방법을 사용한다[19]. 이때 변수의 값을 구하기 위해서는 적어도 4개 이상의 정확한 공통된 특징점들이 제공되어야 한다. Fig. 10은 추출된 특징점을 바탕으로 영상 구부림(Warping)을 수행한 결과를 보여준다.

Fig. 10. 영상 구부림(Warping)[6]

Fig. 11. 영상정합(전영상, 후영상, 처리영상)

Fig. 11은 특징점 추출, 영상 Warping 후 영상 정합을 수행한 결과를 보여준다. 결과에서 보듯이 영상 Warping 및 정합 과정을 통해 전영상과 비슷한 후영상을 획득함으로써 지속적으로 안정된 영상 획득이 가능함을 확인할 수 있다.

V. 비행시험

앞 절에서의 실시간 목표물 식별·추적 기법, 영상 안정화 기법을 적용하여 실제 지상표적에 대한 비행시험을 수행하였다.

Fig. 12. 실시간 표적지향(고도 70m / 1배줌)

여기서 'C' 표시는 영상평면의 중앙을 나타내고 사각형 블록은 포착된 표적을 나타낸다. 결과에서 보듯이 지상국 운용자가 지정한 영상 내의 표적에 대해 영상처리 알고리즘을 적용하여 표적을 인식하고, 이를 통해 생성된 표적블록을 김발제어를 이용하여 영상의 중앙에 위치시킴으로써 안정된 표적지향이 이루어짐을 확인할 수 있다. 또한 회전익 무인항공기의 자체진동 및 외부 기상의 영향에도 불구하고 비교적 선명한 영상을 획득하였는데 이는 진동흡수 댐퍼를 장착하고 영상 안정화 기법을 적용하였기 때문이다.

VI. 결 론

표적 이동의 불규칙성, 무인항공기 자체의 진동, 기상변화 등은 표적의 지속적인 획득과 지향을 어렵게 만드는 큰 요인들이었지만 구조물 사이의 댐퍼장착, 김발시스템에 의한 실시간 팬·틸트 제어, 그리고 영상 안정화 기법을 적용함으로써 이를 해결할 수 있었다. 또한 HSV의 색상(Hue) 정보에 대한 히스토그램 역투영 알고리즘과 CAMShift 알고리즘이 적용된 컬러기반 표적추적 영상처리를 통해 정확한 표적인식 및 지속적인 추적성능의 향상을 가져올 수 있었다.

후 기

이 논문은 2007년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2007-313-D00128).

참고문헌

- 1) Ick H. Wang et al., "On Vision-based Target Tracking and Range Estimation for Small UAVs", *AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference and Exhibit*, SanFrancisco, August, 2005.
- 2) Hespanha, J.M. Yakimenko, O.A. Kaminer, I.I. Pascoal, A.M., "Linear Parametrically Varying Systems with Brief Instabilities : An Application to Vision/Inertial Navigation", *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems Technology*, Vol. 40, No. 3, July 2004
- 3) Beau J. Tippetts, "Real-Time Implementation of Vision Algorithms for Control, Stabilization, and Target Tracking, for a

- Hovering Micro-UAV", Master Thesis, 2008.
- 4) Mr Christopher Jones, Dr Thomas Richardson, "Vision Based Target Tracking Using Rotary Wing Vehicles", 3rd SEAS DTC Technical Conference, 2008.
- 5) John Klein, Christele Lecomte and Pierre Miche, "Fast Color-Texture Discrimination: Application to Car Tracking", *International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems*, Seattle, Washington, USA, September, 2007.
- 6) Bernd Heiseley, "Motion-Based Object Detection and Tracking in Color Image Sequences", *Asian Conference on Computer Vision*, Dublin, Ireland, June, 2000.
- 7) Kwang-Yul Baek, Hyochoong Bang, "Vision-based Target Tracking Architecture for an Unmanned Aerial Vehicle", Master Thesis, 2008.
- 8) Sung-Hoon Mok, Kwang-Yul Baek, Tae-Hwa Kang, Hyochoong Bang, "Color-based Target Tracking of UAV using Gimbal Pointing Control", *KSAS*, November, 2008.
- 9) Il-hyoung Lee, Dong-jin Lee, Hyochoong Bang, "A Small Scale Rotor UAV Autonomous Flight Control System Design and Verification", *AIAA Infotech*, Rohnert Park, California, USA, May, 2007.
- 10) John Klein, Christele Lecomte and Pierre Miche, "Fast Color-Texture Discrimination: Application to Car Tracking", *International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems*, Seattle, Washington, USA, September, 2007.
- 11) Dorin Comaniciu, Visvanathan Ramesh, P. Meer, "Real-Time Tracking of Non-Rigid Objects using Mean Shift", *IEEE 2000*.
- 12) John G. Allen, Richard Y. D. Xu, Jesse S. Jin, "Object Tracking Using CAMShift Algorithm and Multiple Quantized Feature Spaces", *Pan-Sydney Area Workshop on Visual Information Processing*, pp. 3-7, 2003.
- 13) Berthold K. P. Horn, *Robot Vision*, MIT Press, 1986.
- 14) Gary R. Bradski, "Computer Vision Face Tracking for use in Perceptual user Interface", *Intel Technology Journal*, 2nd Quarter, 1998.
- 15) Dorin Comaniciu, Visvanathan, and Peter Meer, "Kernel-based Object Tracking", *IEEE*

Trans. On Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 25, No. 5, May, 2003.

16) Richard Szelisky, "Image Alignment and Stitching", Microsoft Research, Tech. 2005.

17) Jianbo Shi, Carlo Tomasi, "Good Features to Track", IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 1994, pp. 593-600.

18) Jean-Yves Bouguet, "Pyramidal Implementation of the Lucas Kanade Feature Tracker Description of the Algorithm", Intel Corporation, 2003.

19) James R. Bergen, P. Anandan, Keith J. Hanna, and Rajesh Hingorani, "Hierarchical Model-based Motion Estimation", European Conference on Computer Vision, 1992, pp. 237-252.