

무인 항공기 탑재 카메라 제어 및 영상처리

김광진* · 안용남* · 송용규**

Control of Camera Mounting on Unmanned Aerial Vehicle and Image Processing

Kwang-Jin Kim* · Yong-Nam Ahn* · Yong-Kyu Song**

ABSTRACT

This paper is about EO sensor module control based on the image processing. The main purpose of this research is acquiring a latitude and longitude of the target located on the ground by using image processing. For image processing, OpenCV is employed which is a computer vision library originally developed by Intel, and ATmega128 is used for the EO sensor module control. This task also involves realization of control programs and acquisition of sensor view angle for the position of the target.

Key Words: Unmanned Aerial Vehicle(무인항공기), Image Processing(영상처리), Electro-Optical(전자광학)

기 호 설 명

XYZ -*coordina* : 지면좌표계
 $X_B Y_B Z_B$ -*coord* : 기체고정좌표계
 Ψ : 비행체의 요각
 Θ : 비행체의 피치각
 Φ : 비행체의 롤각
 α : EO Sensor Module 짐벌의 사각
 β : EO Sensor Module 짐벌의 편각
 h : 비행체의 고도
 d_g : 비행체와 목표물간 지상 거리
 d_d : 비행체와 목표물간 직선 거리
 d_{l_a} : 비행체와 목표물간 위도상 거리
 d_{l_o} : 비행체와 목표물간 경도상 거리

1. 서 론

이라크 전쟁과 아프가니스탄 전쟁을 계기로 각국의 UAV(Unmanned Aerial Vehicle) 개발 경쟁이 치열하다. UAV는 유인 항공기에 비해 적군에게 노출될 위험이 적기 때문에 여러 국가에서 관측, 감시 및 정찰 임무 등으로 사용된다. 따라서 UAV 영상을 이용한 표적 탐지, 정밀 촬영 및 수색 시스템을 구현하는 것은 필수적이다.

본 연구는 2.5m 급의 소형 UAV에 장착된 EO Sensor Module을 통하여 실시간으로 영상 데이터를 받고 이를 활용하는데 있다. 영상처리 결과를 통하여 얻어지는 목표물의 화면상에서의 좌표 값, 오일러 각 변환, 그리고 EO Sensor Module의 자세 각 변환을 통하여 목표물의 위도와 경도를 파악한다. 또한, 특정 색의 목표물을

* 학생회원, 한국항공대학교 항공우주 및 기계공학부

E-mail : kkj3825@kau.ac.kr

TEL : (02) 3159-9266

** 정회원, 한국항공대학교 항공우주 및 기계공학부

추종하는 데에는 Intel社에서 개발한 OpenCV가 이용되었다.

2. EO Sensor Module 제어부

2.1 EO Sensor Module

EO Sensor Module (Electro Optics)은 전자기파 중 가시광선(0.4~0.7 μ m)과 근적외선 파장 영역 (약 0.7~1.0 μ m)을 이용하며, 반도체 소자인 CCD (Charge Coupled Device)를 감지 센서로 사용한다. 즉, EO Sensor Module은 영상을 디지털 방식으로 획득하고 압축하여 이를 전송하는 센서다. 본 실험에서 사용한 EO Sensor Module은 Fig. 1의 일본 Tokina社의 DMP23-H2 모델이다. 이 모델은 360도 연속으로 회전이 가능하기 때문에 UAV가 다양한 기동을 할 때 영상의 끊어짐 없이 임무 수행을 가능하게 한다. 또한, 빛에 대한 민감도가 낮기 때문에 주간 촬영 시 비교적 색을 정확하게 표현하는 장점이 있다. 사용된 EO Sensor Module의 사양은 Table 1과 같다.



Fig. 2 DMP23-H2

Table 1. Specification of EO Sensor Module

Weight	1.9Kg
Zoom	23 × Optical Plus 10 × Digital Zoom
Pixel	998H × 677V
Movement	Pan: 360 endless, Tilt: -5~95
Communication System	RS-485
Power Source	DC-24V

Table 2. Specification of UAV

전 장	2.3m
전 폭	2.5m
기체자중	7.8kg
엔진	3W 48cc



Fig. 3 Flight Test UAV

2.2 EO Sensor Module 장착

2.2.1 적용대상 기체

EO Sensor Module의 적용 기체로는 Fig. 2의 한국항공대학교 비행제어연구실에서 운용 중인 Boom-Tail 형식의 소형 UAV를 선정하였으며, 기체 내부의 탑재 공간이 크기 때문에 EO Sensor Module 탑재에 유리한 점을 지닌다. 대상 기체의 사양은 Table 2와 같다.

2.2.2 장착 위치 선정

UAV의 엔진 진동으로 인한 화면 떨림 현상과 잡음 발생은 양질의 영상 획득을 방해하는 요소이다. 따라서 EO Sensor Module은 Fig. 3과 같이 비행 시 상대적으로 진동의 영향이 적은 무게 중심 및 공력 중심에 가까운 동체하부 중앙에 장착되었다. 또한, 잡음을 저감시키는 작업으로 EO Sensor Module 및 관련 부품들의 방진 작업을 수행하였다.



Fig. 4 Mounted EO Sensor Module on UAV

2.3 목표물의 위치 계산

목표물의 위치는 다음과 같은 가정을 통해 계산된다. 첫째, 항공기는 강체 (Rigid Body)이고, EO Sensor Module은 질점에 위치한다. 둘째, EO Sensor Module의 시선 벡터는 목표물을 정확하게 향한다.

2.3.1 지면좌표계 (XYZ-Coordinate)

지면좌표계의 원점은 지표면에 있으며 지구와 함께 자전한다. 지면좌표계의 X축은 북쪽을, Y축은 동쪽을, 그리고 Z축은 지구 중심을 향한다. 이때, 지구는 완전구로 가정한다.

2.3.2 기체고정좌표계 ($X_B Y_B Z_B$ -Coordinate)

비행체에 고정된 좌표계로서 X_B 축은 동체의 기수축, Y_B 축은 오른쪽 날개방향, 그리고 Z_B 축은 동체 아랫방향을 향하는 좌표계이다.

2.3.3 오일러 각 (Euler Angle)

오일러 각 (Euler Angle)은 지면좌표계와 기체고정좌표계의 서로 대응하는 각 축들의 자세 각 차이를 나타내는 방법의 한 가지이다. 두 좌표계 사이에는 롤각(ϕ), 피치각(θ), 그리고 요각(ψ) 만큼의 자세 각 차이가 존재하며 이를 오일러 각이라 부른다. 이때, 요각(ψ)은 지면좌표계의 XY 평면상에서 X축과 기체고정좌표계의 X_B 축의 사영이 이루는 각을 의미한다. 피치각(θ)은 지면좌표계의 XZ 평면상에서 Z축과 기체고정좌표계의 Z_B 축의 사영이 이루는 각을 의미한다. 롤각(ϕ)은 지면좌표계의 YZ 평면상에서 Y축과 기체고정좌표계의 Y_B 축의 사영이 이루는 각을 의미한다.

2.3.4 3-2-1 변환

3-2-1 변환을 통해 기체고정좌표계의 벡터는 지면좌표계의 벡터로 변환될 수 있다. 이 변환은 다음의 네 단계를 따른다.

Step 1. 지면좌표계의 원점이 기체고정좌표계의 원점과 일치하도록 평행이동 시킨다. 이를 $X_1 Y_1 Z_1$ 이라고 한다.

Step 2. Z_1 축에 대해서 요각(ψ)만큼 회전한 좌표계를 구성한다. 이를 $X_2 Y_2 Z_2$ 라고 한다.

$$\begin{pmatrix} U_2 \\ V_2 \\ W_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \psi & \sin \psi & 0 \\ -\sin \psi & \cos \psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} U_1 \\ V_1 \\ W_1 \end{pmatrix} = \Psi \begin{pmatrix} U_1 \\ V_1 \\ W_1 \end{pmatrix}$$

Step 3. Y_2 축에 대해서 피치각(θ)만큼 회전한 좌표계를 구성한다. 이를 $X_3 Y_3 Z_3$ 라고 한다.

$$\begin{pmatrix} U_3 \\ V_3 \\ W_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta & 0 & -\sin \theta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \theta & 0 & \cos \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} U_2 \\ V_2 \\ W_2 \end{pmatrix} = \Theta \begin{pmatrix} U_2 \\ V_2 \\ W_2 \end{pmatrix}$$

Step 4. X_3 축에 대해서 롤각(ϕ)만큼 회전한 좌표계를 구성한다. 이를 XYZ라고 한다.

$$\begin{pmatrix} U \\ V \\ W \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \phi & \sin \phi \\ 0 & -\sin \phi & \cos \phi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} U_3 \\ V_3 \\ W_3 \end{pmatrix} = \Phi \begin{pmatrix} U_3 \\ V_3 \\ W_3 \end{pmatrix}$$

위의 변환 과정을 정리하면 다음과 같다.

$$\begin{pmatrix} U \\ V \\ W \end{pmatrix} = \Phi \cdot \Theta \cdot \Psi \begin{pmatrix} U_1 \\ V_1 \\ W_1 \end{pmatrix} = A \begin{pmatrix} U_1 \\ V_1 \\ W_1 \end{pmatrix}$$

이때,

$$A = \begin{pmatrix} C\psi C\theta & S\psi C\theta & -S\theta \\ C\psi S\theta S\phi - S\psi C\phi & S\psi S\theta S\phi + C\psi C\phi & C\theta S\phi \\ C\psi S\theta C\phi + S\psi S\phi & S\psi S\theta C\phi - C\psi S\phi & C\theta C\phi \end{pmatrix}$$

(단, 여기서 $C = \cos$, $S = \sin$)
와 같다.

2.3.5 기체고정좌표계에 대한 EO Sensor Module 벡터

EO Sensor Module의 시선 벡터는 기체고정좌표계에서 편각(β)과 사각(α)으로 표현된다. 이때, 편각(β)은 기체고정좌표계의 $X_B Y_B$ 평면상에서 X_B 축과 EO Sensor Module의 시선의 사영이 이루는 각이며, 증가 방향은 요각(Ψ)과 동일하다. 사각(α)은 기체고정좌표계의 $X_B Y_B$ 평면과 EO Sensor Module의 시선이 이루는 각이며, 증가 방향은 피치각(θ)의 반대방향이다. EO Sensor Module 짐벌의 지향방향을 $X_B Y_B Z_B$ 상에서 나타내면 다음과 같다.

$$\begin{pmatrix} U_B \\ V_B \\ W_B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} U_1 \\ V_1 \\ W_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\alpha \cos\beta \\ \cos\alpha \sin\beta \\ \sin\beta \end{pmatrix} \quad (1)$$

2.3.6 지면좌표계에 대한 EO Sensor Module 벡터

3-2-1변환의 식 (1)에 기체고정좌표계에 대한 EO Sensor Module 벡터를 대입하여 지면좌표계에 대한 EO Sensor Module 벡터, 식 (2)를 얻을 수 있다.

$$\begin{pmatrix} U \\ V \\ W \end{pmatrix} = \Phi \cdot \Theta \cdot \Psi \begin{pmatrix} U_1 \\ V_1 \\ W_1 \end{pmatrix} = A \begin{pmatrix} U_1 \\ V_1 \\ W_1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$= \begin{pmatrix} C\psi C\theta & S\psi C\theta & -S\theta \\ C\psi S\theta S\phi - S\psi C\phi & S\psi S\theta S\phi + C\psi C\phi & C\theta S\phi \\ C\psi S\theta C\phi + S\psi S\phi & S\psi S\theta C\phi - C\psi S\phi & C\theta C\phi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos\alpha \cos\beta \\ \cos\alpha \sin\beta \\ \sin\beta \end{pmatrix}$$

(단, 여기서 C = cos, S = sin)

2.3.7 목표물 위치 시뮬레이션

목표물 위치 시뮬레이션은 항공기의 다양한 자세에 대하여 목표물의 위도와 경도를 추정한다. 실제 시험 비행하였던 경로점은 Fig. 4에 표시되어 있으며, Fig. 5는 MATLAB을 이용한

시뮬레이션 결과이다.

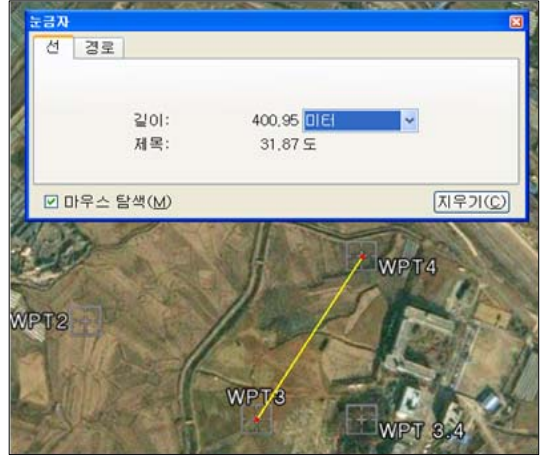


Fig. 5 Waypoint of Test Flight

입력 값		출력 값
psi = deg2rad(90.0);	%푸사이	dg = 400.7069443
theta = deg2rad(20.0);	%세타	dd = 447.8460173
ppi = deg2rad(20.0);	%피이	beta = 313.5664455
h = 200.0;	%고도	alpha = 30.1959221
lat1 = 37.599649;	%항공기 위도	
long1 = 126.861279;	%항공기 경도	
lat2 = 37.6027174;	%목표물 위도	
long2 = 126.863667;	%목표물 경도	
psi = deg2rad(90.0);	%푸사이 입력	dg = 400.7069437
theta = deg2rad(20.0);	%세타 입력	dd = 447.8460167
ppi = deg2rad(20.0);	%피이 입력	
beta = deg2rad(313.5664455);	%베타 입력 (행닝각)	lat2 = 37.6027174
alpha = deg2rad(30.1959221);	%알파 입력 (틸팅각)	long2 = 126.8636670
h = 200.0;	%항공기 고도 입력	
lat1 = 37.599649;	%항공기 위도 입력	
long1 = 126.861279;	%항공기 경도 입력	

Fig. 6 MATLAB Simulation

시뮬레이션 입력 값은 항공기의 자세인 요각(Ψ), 피치각(θ), 롤각(ϕ), 항공기 고도(h), 항공기의 위도, 경도, EO Sensor Module의 사각(α)과 편각(β)이고, 그 결과 값으로 목표물과의 직선거리, 지상거리, 그리고 목표물의 위도와 경도가 출력된다.

2.4 제어시스템

2.4.1 EO Sensor Module System 개요

EO Sensor Module의 제어는 GCS(Ground Control System)에서 900MHz 대역의 주파수를 갖는 RF

Modem을 통하여 이루어진다. 획득된 영상 데이터는 Fig. 6과 같이 2.4GHz 대역의 주파수를 갖는 단방향 영상 Modem을 통하여 지상으로만 전송되며, 비행체 및 짐벌의 자세 정보는 900MHz 대역의 RF Modem을 통하여 지상으로 송신된다.



Fig. 7 Concept of EO Sensor Module System

2.4.2 EO Sensor Module GCS

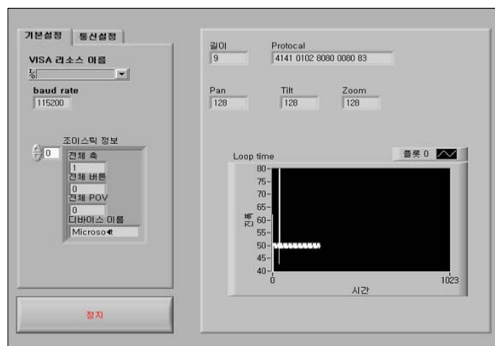


Fig. 8 EO Sensor Module Control Program

EO Sensor Module에 대한 제어 명령은 LabVIEW를 이용한 Fig. 7의 제어 프로그램을 통하여 UAV로 전달된다. 이 프로그램에서는 사각 각속도, 편각 각속도, 줌 속도 그리고 이 모든 정보를 포함하는 프로토콜을 실시간으로 확인 할 수 있도록 프로그램을 제작하였다.

3. 영상처리

UAV에서 촬영한 영상을 이용하여 목표물의

위치를 추종하기 위하여 목표물을 인식하는 단계가 필요하다. 본 연구에서는 소방차를 목표물로 설정하였고, 색상을 이용한 영상처리 방법을 선택하였다.

3.1 영상처리 과정

3.1.1 컬러공간 선택

UAV에 탑재된 EO Sensor Module로부터 획득되어진 영상 데이터는 Fig. 8과 같은 RGB 컬러공간을 기반으로 한다. RGB 컬러공간이란 빛의 삼원색인 빨강색, 초록색, 파랑색을 각각 0~255까지 256단계로 세분화하고, 이를 조합하여 모든 색상을 표현한다. 하지만 이 공간에서는 특정색을 인식할 때 삼원색 간의 상호 간섭으로 인하여 인식이 어렵게 된다. 따라서 특정 색을 인식하기 위하여 RGB컬러공간을 다른 컬러공간으로 바꾸는 작업이 필요하다. 이때 사용되어진 컬러공간이 YCrCb 컬러공간이다.

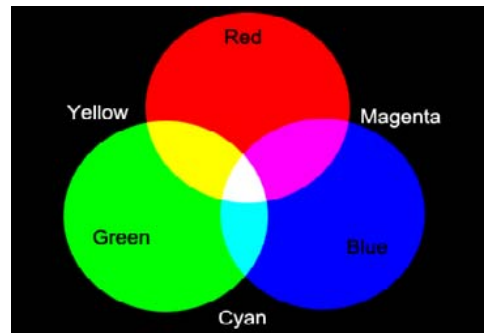


Fig. 9 RGB Color Space



Fig. 9 Original Image



Fig. 10 Brightness Process after Extracting R Value from RGB Color Space



Fig. 11 Brightness Process after Extracting Cr Value from YCrCb Color Space

YCrCb 컬러공간은 색상 신호가 아닌 휘도(Y)와 색차 신호(Cr, Cb)로 색을 표현한다. 이 공간에서는 아날로그에서 디지털로 변환하는 과정에서 오는 손실을 줄일 수 있다. 또한, 밝기에 대한 정보를 늘려줌으로써 색상 정보에 들어가는 데이터양을 줄일 수 있다. 따라서 컬러공간의 변환으로 원하는 특정한 색의 인식이 용이하게 된다.

Fig. 10은 Fig. 9의 원사진을 이용하여 RGB 컬러공간에서 R값을 추출한 후, 명암도 처리한 결과이다. 붉은색은 R값이 가장 크므로 명암도 처리를 하였을 때 밝게 나타난다. 하지만 하얀색도 R값이 크기 때문에 명암도 처리를 하였을 때 흰색 계통 또한 밝게 나타나고 있다. 즉, 이 컬러공간에서 복잡한 알고리즘 없이 붉은색만을 추출하는 것은 어렵다.

Fig. 11은 RGB 컬러공간을 YCrCb 컬러공간으로 변환 시킨 후, Cr 값을 추출하여 명암도 처리한 것이다. Fig. 11의 붉은색 영역은 Fig. 10에 비하여 선명하게 표시되고 있으며 다른 영역의 간섭 없이 붉은색만을 밝게 표시하고 있다.



Fig. 12 Procedure of Image Processing

3.1.2 영상처리 개요

영상처리 과정은 Fig. 12의 순으로 다음과 같이 진행된다.

Step 1. UAV에 탑재된 EO Sensor Module로부터 지상 촬영 영상을 획득한다. 이때 얻어지는 영상은 기본적으로 RGB 컬러공간으로 표현된다.

Step 2. 앞서 설명한 RGB 컬러공간의 한계와 색 인식률을 향상시키기 위하여 RGB 컬러공간에서 YCrCb 컬러공간으로 변환한다.

Step 3. YCrCb 컬러공간으로 변환되어진 영상을 Y Channel, Cr Channel, Cb Channel로 각각 분리한다. 이는 모든 Channel의 값을 사용하기보다 목표물을 정확하게 인식 할 수 있도록 한 가지 Channel만을 사용하기 위한 단계 이다. 붉은색을 효과적으로 추출할 수 있는 Cr Channel만을 사용한다.

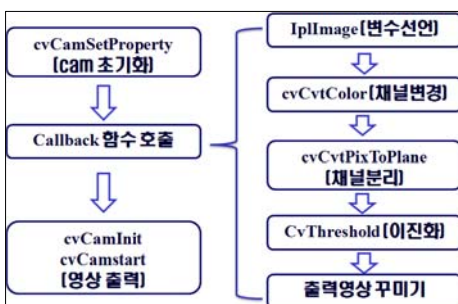


Fig. 13 Detail Procedure of Image Processing

Step 4. Cr Channel 영상을 이진화하고 목표

물의 좌표와 면적을 계산하여 최종 결과를 얻는다.

3.1.3 영상처리 세부 흐름

영상처리를 하기 위하여 OpenCV를 사용하였다. OpenCV는 Intel社에서 개발한 Computer Vision Library로 Image Processing에 널리 사용되고 있다.

영상처리 과정은 Fig. 13과 같이 영상 입력 장치 (EO Sensor, Cam) 초기화, Callback함수 호출, 영상 출력 순으로 진행된다. 여기서 Callback 함수는 실시간으로 영상을 처리하기 위하여 매 프레임 마다 호출되어진다. Callback 함수의 세부 처리 과정은 다음의 5단계를 거친다.

Step 1. Program 내에서 사용될 각종 변수를 선언한다.

Step 2. EO Sensor Module로부터 획득한 영상의 컬러공간인 RGB 컬러공간에서 YCrCb 컬러공간으로 변환한다.

Step 3. YCrCb 컬러공간으로 변환되어진 영상을 Y Channel, Cr Channel, Cb Channel로 각각 분리한다.

Step 4. 분리된 영상 Channel 중 Cr Channel만을 이진화한다. 이진화 된 영상을 기반으로 목표물을 인식한다.

Step 5. 목표물의 추종값을 출력해 주기 위한 영상 Display 작업을 하여 최종적인 영상을 획득하게 된다.

3.1.3 영상처리 컴퓨터

영상처리를 위하여 사용한 컴퓨터의 제원은 Table 3과 같다.

영상처리 알고리즘은 매 프레임마다 실행되기 때문에 비교적 고사양의 컴퓨터가 사용된다. 이를 통하여 영상처리 처리 과정에서의 지연을 막을 수 있다.

Table 3 Specification of Image Processing Computer

CPU	Intel Core2 DUO E7400@2.8GHz
RAM	2GB
HDD	300GB
VGA	GeForce 8600GT

4. 비행 실험

비행 실험은 경기도 고양시에 소재한 한국항공대학교 활주로 인근에서 진행되었다.

이 실험에서 UAV의 운용고도는 180m이며, 목표물은 가로 1.5m × 세로 9m 직사각형의 붉은색 원단으로 설정하였다. UAV의 선회 반경은 200m이고, 이 때 비행 모드는 자동 모드이다. 그리고 비행 실험에서 EO Sensor Module은 수동으로 조작되었다.



Fig. 14 1st Result of Test Flight



Fig. 15 2nd Result of Test Flight



Fig. 16 3rd Result of Test Flight

Fig. 14, 15, 16 에 나타난 비행 실험 결과를 살펴보면 영상처리 작업으로 얻어진 목표물의 중심을 녹색 원이 추종하고 있다. 또한, 가로 640 픽셀 × 세로 480 픽셀을 기준으로 목표물의 중심 좌표 값이 우측하단에 출력되고 있다.

5. 결 론

양질의 영상을 획득하기 위하여 최적의 위치를 선정하고, 방진 작업을 수행하였다. 하지만 UAV 를 조종하는데 사용되었던 조종기의 주파수와 영상 전송 모뎀의 주파수가 동일하여 주파수 간섭으로 인한 잡음이 발생하는 것을 확인하였다.

영상처리 과정에서는 매 프레임 마다 많은 연산이 수행되기 때문에 시간 지연이 생긴다. 하지만 영상처리 방식이 복잡하고 적용이 어려운 LabVIEW, MATLAB 등 다른 프로그램이 아닌 OpenCV를 이용함으로써 이 문제를 상당 부분 개선할 수 있었다. 또한, 목표물의 정확한 인식과

추종 능력은 YCrCb 컬러공간을 선택함으로써 향상 시킬 수 있었다.

영상처리 된 목표물의 화면상 좌표 값을 이용한 영상처리와 EO Sensor Module 제어부의 연계를 GCS로의 데이터 전송 과정에서 시간 지연이 발생되었기 때문에 활용할 수 없었다.

본 연구 결과는 산불 감지, 정찰, 실종자 수색 등 많은 분야에서 응용이 가능할 것이다. 하지만 영상처리부와 EO Sensor Module 제어부의 통합은 향후 개선되어야 할 과제이다.

참 고 문 헌

- [1] Alex Gurtner, 2007, "Vibration Compensation for Fisheye Lenses in UAV Applications".
- [2] Andres E. Ortiz, 2006, "Color Optic Flow: A Computer Vision Approach For Object Detection On UAVs".
- [3] Junghan Kim, 2008, "Implementation of System Performing Missions for Unmanned Aerial System".
- [4] Kisung Lee, 2003, "A study on design of Unmanned aerial vehicle operation system".
- [5] Soobong Son, 2006, "A study on ground target tracking and position calculation use of a camera that mounted on unmanned aerial vehicle".
- [6] Sunghwan Jung, Moonho Lee, 2007, "Computer vision programming".
- [7] Robert C. Nelson, 1998, "Flight Stability and Automatic Control".