

# 김발 장치를 이용한 무인항공기의 컬러기반 물체 추적

## Color-based Target Tracking of UAV using Gimbal Pointing Control

목성훈\*, 백광열, 강태화, 윤효상, 방효충(KAIST)

### 1. 서론

단순한 표적기나 기만용 무인기의 역할만 수행하던 무인 항공기는 걸프전을 계기로 각국의 관심을 받아 비약적인 발전을 거듭하여 무인 비행 로봇의 개념으로 발전하고 있다. 최근 무인기는 무인 비행에 따른 급격한 기동, 위험한 지역의 실시간 정찰뿐만 아니라 프레데터의 경우 Helfire 미사일을 장착하여 무인 전투기의 가능성까지 실험하였다. 이와 같이 무인기는 정보 정찰 감시(Reconnaissance, Surveillance and Intelligence) 능력을 인정받아 전쟁뿐만 아니라 밀입국 감시, 산불감시, 위험지역 정찰 및 재난구조활동 지원 등의 민간 부분에도 사용되고 있다.

항공기의 실시간 정보 정찰 감시를 위해서는 영상 안정화, 실시간 영상 처리, 영상 내 물체 검출 및 추적, 카메라 김발 컨트롤 등의 기술이 필요하다.

본 연구에서는 무인항공기의 영상 내 물체 추적 및 카메라 김발 시스템을 이용한 목표 지향을 다룬다. 실시간으로 배경과 분리된 물체의 색상을 이용하여 물체를 추적하고, 카메라 김발 시스템을 이용한 목표물 지향 알고리즘을 설계하고 무인항공기를 이용해 성능을 검증한다.

### 2. 영상 내 물체 추적

영상 내 물체를 컬러 기반으로 추적하기 위해서는 목표 색상 성분 분석, 영상 내 목표 검출, 실시간 목표 추적 등의 알고리즘이 필요하다. 목표 색상 성분 분석에서는 RGB, HSV 등

여러 컬러 공간이 사용될 수 있다. 본 연구에서는 HSV 컬러 공간의 Hue 채널을 사용한다. 영상 내 목표 검출에는 일반적인 방법인 히스토그램 역투영(Histogram Back-Projection)을 이용하여 확률 분포 영상을 얻는다. 얻어진 영상에 CAMShift 알고리즘을 적용하여 실시간으로 목표를 추적한다.

#### 2.1 히스토그램 역투영(Histogram Back-Projection)

히스토그램은 영상의 원하는 정보를 픽셀별로 빈으로 양자화하여 영상 처리에 필요한 시간을 단축시키고, 비슷한 정보의 픽셀들을 클러스터로 모은다. 히스토그램 분포는 식 (1)과 같이 표현되고, 식 (2)를 사용하여 max 값을 byte 단위의 최대값인 255로 히스토그램을 스케일링한다.

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

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

히스토그램 역투영은 영상의 픽셀값을 히스토그램의 해당되는 빈 값으로 바꾸어 주는 방법이다. Fig. 1의 왼쪽 위 그림은 원본 영상이다. 오른쪽 위 그림은 목표물의 Hue 채널 히스토그램이다. 목표물 색상인 빨간색 부분의 히스토그램 빈에 해당하는 부분의 값이 높음을 확인할 수 있다. 왼쪽 아래 그림은 원본영상의 Hue 채널 영상이고 원본 영상에 목표의 히스토그램 역투영을 적용하여 확률 분포 영상을 오른쪽 아래 그림과 같이 얻을 수 있다.

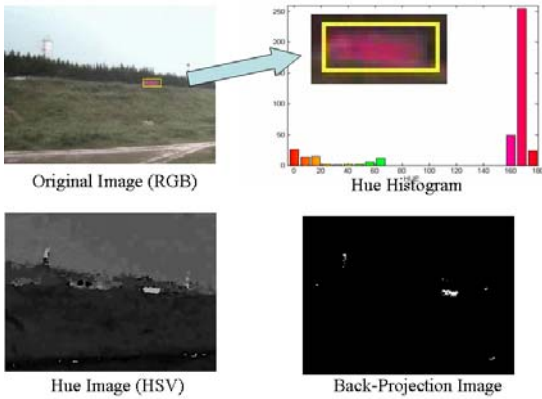


Fig 1. Histogram Back-Projection

## 2.2 CAMShift 알고리즘을 이용한 물체 추적

실시간 물체 추적 방법에는 CAMShift 와 Kalman filtering 등이 사용된다. 그 중 본 논문은 CAMShift 를 물체 추적 방법으로 사용한다. CAMShift 는 Continuously Adaptive Mean Shift Algorithm 의 약자로 얼굴 추출을 위해 처음 사용되었다.

CAMShift 의 기반이 되는 Mean Shift 는 고정된 윈도우 크기를 갖는 탐색 윈도우로 물체 추적을 수행한다. CAMShift 는 기본적으로 Mean shift 알고리즘을 사용하면서 목표의 크기 및 각도(size and orientation)도 같이 계산한다. 대부분의 정찰용 무인기는 고정익으로써 호버링이 불가능하고 정찰임무 중 목표물과의 거리가 변한다. 따라서, 목표물 크기 변화에 강인한 CAM shift 알고리즘이 Mean shift 알고리즘에 비해 정찰임무에 적합하다. CAMShift 는 다음과 같은 단계로 나뉘어 적용될 수 있다.

- 1) 탐색 윈도우의 초기 위치 및 크기를 정한다.
- 2) 탐색 윈도우 내의 명암 분포 중심을 구한다.
- 3) Mean Shift 알고리즘을 반복한다.
- 4) 이어지는 프레임에서 탐색 윈도우의 위치와 크기를 3)에서 얻어진 명암 분포 중심으로 바꾼다.
- 5) 2)에서 4) 과정을 반복한다.

영상 내 목표물의 크기 및 각도는 탐색 윈도우 내 명암분포의 1 차, 2 차 모멘트를 계산하여 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} M_{20} &= \sum_x \sum_y x^2 I(x, y) \\ M_{02} &= \sum_x \sum_y y^2 I(x, y) \\ M_{11} &= \sum_x \sum_y xy I(x, y) \end{aligned} \quad (3)$$

계산의 편의를 위해 중간 변수들 a, b 및 c 를 식 (4)와 같이 정의한다.

$$\begin{aligned} a &= \frac{M_{20}}{M_{00}} - x_c^2 \\ b &= 2 \left( \frac{M_{11}}{M_{00}} - x_c y_c \right) \\ c &= \frac{M_{02}}{M_{00}} - y_c^2 \end{aligned} \quad (4)$$

탐색 윈도우 내에 검출된 명암 분포의 가로(l), 세로(w) 크기 및 각도(orientation,  $\theta$ )는 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} l &= \sqrt{\frac{(a+c) + \sqrt{b^2 + (a-c)^2}}{2}} \\ w &= \sqrt{\frac{(a+c) - \sqrt{b^2 + (a-c)^2}}{2}} \\ \theta &= \frac{1}{2} \tan^{-1} \left( \frac{b}{a-c} \right) \end{aligned} \quad (5)$$

Fig. 2 는 CAMShift 알고리즘을 이용한 목표물 검출 과정을 나타낸다. 왼쪽 위 그림의 빨간색 네모가 초기 탐색 윈도우로 쓰인다. 오른쪽 위, 왼쪽 아래의 순서로 노란색 물체를 검출하며 오른쪽 아래의 그림에서는 배경색의 영향으로 검출이 종료된다.

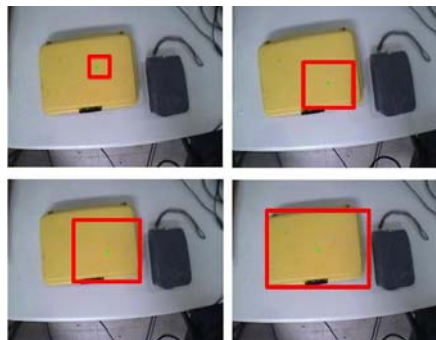


Fig 2. CAMShift Algorithm

### 3. 실시간 목표물 지향(Target Pointing)

고정 카메라를 이용해 목표물을 추적할 경우 목표물이 영상 내에서 벗어나면 더 이상 추적이 불가능하다. 무인 항공기의 기동으로 목표물을 지향하기 위해서는 급격한 기동이 요구되어 지속적인 추적을 할 수 없고, 갑작스러운 외란으로 목표를 잃었을 경우에도 목표를 다시 찾으려면 상당한 시간이 요구된다. 카메라에 gimbal 시스템을 추가하면 피드백 제어를 통해 목표물을 연속적으로 향할 수 있다. 본 논문에서는 카메라에 gimbal 시스템을 추가하여 팬틸트 2축 자유도를 확보하였다. 목표물을 CAMShift 알고리즘으로 추적하며 영상 내 좌표를 얻어내고, gimbal 제어를 통해 목표물을 영상 중심으로 위치시킨다.

목표물 지향에는 방향코사인행렬(Direction Cosine Matrix, DCM)을 사용한다. 영상 내 목표물 중심 픽셀값에 좌표변환을 적용하여 항공기에서 목표물까지의 방향을 구한다.

좌표계는 동체 좌표계( $X_B, Y_B, Z_B$ ), gimbal 좌표계( $X_G, Y_G, Z_G$ ), 카메라 좌표계( $X_C, Y_C, Z_C$ ), 영상 픽셀 좌표계( $X_P, Y_P$ )를 사용한다. Fig 3.과 Fig 4.는 각각 동체 좌표계와 gimbal 좌표계를 나타낸다.

#### 3.1 좌표변환

##### 3.1.1 동체 좌표계에서 gimbal 좌표계로 변환

동체 좌표계에서 gimbal 좌표계로의 좌표변환행렬은 gimbal 팬틸트값으로 결정된다.

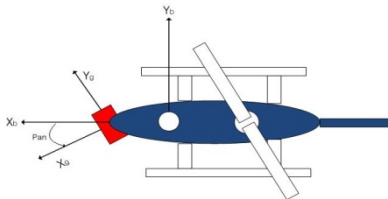


Fig 3. UAV - lateral view

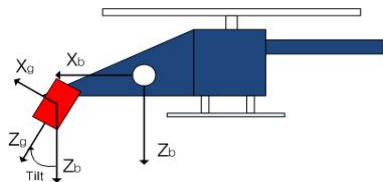


Fig 4. UAV - longitudinal view

$$R_B^G = R_{tilt} R_{pan} = \begin{bmatrix} c_{tilt} & 0 & -s_{tilt} \\ 0 & 1 & 0 \\ s_{tilt} & 0 & c_{tilt} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_{pan} & s_{pan} & 0 \\ -s_{pan} & c_{pan} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{tilt}c_{pan} & c_{tilt}s_{pan} & -s_{tilt} \\ -s_{pan} & c_{pan} & 0 \\ c_{pan}s_{tilt} & s_{pan}s_{tilt} & c_{tilt} \end{bmatrix} \quad (6)$$

##### 3.1.2 gimbal 좌표계에서 카메라 좌표계로 변환

목표물 좌표값이 카메라 좌표계에서 정의되므로  $X_C = Y_G, Y_C = -X_G, Z_C = Z_G$ 의 좌표변환을 한다.

$$R_G^C = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

##### 3.1.3 카메라 좌표계에서 픽셀 좌표계로 변환

카메라 좌표계의 미터 단위를 영상 내 픽셀 단위로 스케일링 해 주기 위해 식 (8)로 좌표변환한다.

$$R_C^P = \begin{bmatrix} k_u f & 0 & u_0 \\ 0 & k_v f & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

식 (8)에서  $k_u$ 와  $k_v$ 는 각각 이미지 평면에서의 미터 단위당 픽셀 값을 나타내고,  $f$ 는 사용된 카메라의 초점거리,  $u_0$ 와  $v_0$ 는 영상 내 광학축 좌표를 표현한다.

##### 3.1.4 픽셀 좌표계에서 동체 좌표계로 변환

3.1.1~3.1.3에서 구한 방향코사인행렬의 역행렬을 CAMShift 알고리즘에 적용하면 실시간으로 동체로부터의 목표물까지의 스케일링된 방향벡터를 식 (9)와 같이 쓸 수 있다.

$$\begin{pmatrix} X_B / Z_B \\ Y_B / Z_B \\ 1 \end{pmatrix} = R_P^B T_P = (R_B^G R_G^C R_C^P)^{-1} \begin{pmatrix} X_P \\ Y_P \\ 1 \end{pmatrix} \quad (9)$$

### 3.2 gimbal 트래킹

식 (9)에서 얻은 목표물의 방향벡터를 목표물을 영상중심으로 옮기기 위한 팬틸트 값을 계산할 수 있다. Fig 5.는 목표물과 동체 좌표계를 나타낸다. 팬은 Z 축에 대한 회전각이고 틸트는 Y 축에 대한 회전각이며 각각의 + 방향은 그림

에 표현된 방향과 일치한다.

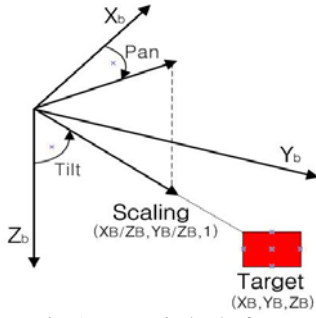


Fig 5. Target in body frame

목표의 방향벡터를 이용해 식 (10)에 따라 목표 지향에 필요한 팬틸트값을 계산할 수 있다. 팬 각도는 Z 값에 관계없이 X와 Y의 탄젠트 삼각 함수관계로 구하고, 틸트 각도는 방향벡터를 X-Y 평면에 투영시킨 후 Z 값과의 탄젠트 관계를 통해 얻어낸다.

$$\begin{aligned} pan &= \tan^{-1}\left(\frac{Y_B}{X_B}\right) \\ tilt &= \frac{\pi}{2} - \tan^{-1}\left(\frac{1}{\sqrt{\left(\frac{X_B}{Z_B}\right)^2 + \left(\frac{Y_B}{Z_B}\right)^2}}\right) \end{aligned} \quad (10)$$

#### 4. 결론

본 논문에서는 무인 항공기의 컬러 기반 물체 추적 및 지향에 대한 연구를 수행하였다. 목표물의 히스토그램을 이용하여 초기 탐색 윈도우를 지정한 후 CAMShift 알고리즘을 이용하여 목표를 추적한다. 컬러 기반 추적을 통해 얻은 영상 내 좌표값을 이용해 목표물의 동체 좌표계에서의 방향벡터를 계산한다. 목표물을 영상 중심으로 옮기기 위한 팬틸트 값을 실시간으로 김발에 전달하여 목표 지향 알고리즘을 수행한다.



본 연구에서 제안한 목표 추적 알고리즘을 KAIST 항공우주시스템 및 제어 실험실에서 개발하고 운영 중인 무인 헬리콥터 R-UAV2 로부터 실시간으로 전송된 영상에 적용하여 지상 물체를 추적하였다. 아래 그림에서 지상의 붉은색 점이 CAMShift 알고리즘과 김발 트래킹 기술을 통해 영상 중심으로 위치되는 것을 확인할 수 있다.

#### 후 기

본 연구는 한국학술진흥재단의 기초연구과제 자동비행 소형 무인항공기의 영상정보를 이용한 지상물체 자동추적 연구로 수행되었습니다. 감사드립니다.

#### 참고문헌

- [1] 백광열, 방효층, “무인항공기의 표적 추적을 위한 실시간 컬러 기반 물체 추적”, 한국항공우주학회 춘계학술발표회, 2008
- [2] Jogh 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
- [3] D. Comaniciu, V. Ramesh, P. Meer, "Real-Time Tracking of Non-Rigid Objects using Mean Shift", IEEE 2000
- [4] D. Comaniciu, V. Ramesh, P. Meer, "Kernel-based Object Tracking", IEEE Trans. On Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol 25, No 5, May, 2003
- [5] Ben T.Ludington, "Particle Filter Tracking Architecture for use Onboard Unmanned Aerial Vehicle", Ph.D Thesis, Georgia Institute of Technology, Atlanta, 2006
- [6] B. K. P. Horn, Robot Vision, MIT Press, 1986.