論文 DOI:http://dx.doi.org/10.5139/JKSAS.2011.39.12.1115

무인항공기의 근거리 비행체 탐지 및 추적을 위한 영상처리 알고리듬

조성욱*, 허성식*, 심현철**, 최형식***

An Image Processing Algorithm for Detection and Tracking of Aerial Vehicles in Short-Range

Sungwook Cho*, Sungsik Huh*, Hyunchul Shim** and Hyoung-sik Choi***

ABSTRACT

This paper proposes an image processing algorithms for detection and tracking of aerial vehicles in short-range. Proposed algorithm detects moving objects by using image homography calculated from consecutive video frames and determines whether the detected objects are approaching aerial vehicles by the Probabilistic Multi-Hypothesis Tracking method(PMHT). This algorithm can perform better than simple color-based detection methods since it can detect moving objects under complex background such as the ground seen during low altitude flight and consider the characteristics of vehicle dynamics. Furthermore, it is effective for the flight test due to the reduction of thresholding sensitivity against external factors. The performance of proposed algorithm is verified by applying to the onboard video obtained by flight test.

초 록

본 논문에서는 무인항공기의 근거리 비행체 탐지 및 추적을 위한 영상처리 알고리듬을 제안한다. 제안된 알고리듬은 연속되는 영상에서 계산되는 호모그래피를 사용하여 움직이는 객체를 검출하고 확률적 다수-가설 추적기법으로 검출된 객체가 접근하는 비행체인지의 여부를 판단한다. 이는 항공기의 저고도 비행 시 영상에 보여지는 지표면과 같이 복잡한 배경 위에서 이동하는 비행체를 검출할 수 있고, 비행체의 동역학적 특성을 고려할 수 있기 때문에 색상기반의 비행체 탐지기법보다 향상된 성능을 보여준다. 또한 외부영향에 대한 임계치의 민감도를 현저히 감소시키므로 소형 무인항공기의 저고도 비행실험수행 시 효과적이다. 제안된 영상처리 알고리듬을 실제 비행실험 영상에 적용하여 성능을 검증하였다.

Key Words : Detection of Aerial Vehicle(비행체 탐지), Probabilistic Multi-Hypothesis Tracking method(확률적 다수-가설 추적기법), Homography Estimation(호모그래피 추정), Multi-Target Information Management(다중 표적정보 관리)

Ⅰ. 서 론

최근 무인항공기의 임무수행능력이 비약적으로 증가하고 있다. 특히, 무인항공기의 임무수행 영역이 민간비행공역으로 확대되고 있으며 저고

† 2011년 7월 18일 접수 ~ 2011년 11월 30일 심사완료
* 정회원, KAIST 항공우주공학과 대학원
** 정회원, KAIST 항공우주공학과
*** 정회원, 한국항공우주연구원 비행제어팀
교신저자, E-mail : hcshim@kaist.ac.kr
대전광역시 유성구 과학로 335

도에서의 임무수행횟수가 증가하고 있을 뿐만 아니라 동시에 여러 기체를 운용하는 임무수행 요구가 증가하고 있다. 이러한 연구를 위해서는 지상에 고정되어 있는 장애물의 회피뿐만 아니라 조류충돌, 임무 중인 무인항공기간의 공중충돌, 민간공역 내에서 비행중인 유인 항공기와의 충돌 등과 같은 예기치 못한 사고들을 방지하기 위한 신뢰도 높은 비행체 탐지 및 충돌회피 기술[1,2]이 반드시 필요하다.

비행중인 무인항공기가 자신과의 통신이나 사전 경고 없이 접근해오는 타 비행체를 인식하기 위한 방법은 다양하다. 그 중 인간의 시각과 동일한 영상으로부터의 인식방법은 레이더 등의 여타 능동적 센서들과 달리 피탐지위험, 전력소모, 탑재 중량이 적으므로 무인항공기, 특히 소형의 기체에 적용하기가 좋은 장점을 가진다.

영상으로 타 비행체를 탐지할 때, 무인항공기가 지표면이 보이지 않는 구름위로 비행하거나 탑재된 카메라 영상에서 지표면이 보이지 않을 때에는 영상의 배경이 되는 대기 및 구름에서 비행체를 탐지하는 방법들이 주로 연구되어 왔다.[3,4] 그러나 저고도를 비행할 때 영상의 배경에 복잡한 지표면이 보이는 경우, 지평선 아래에서 접근하는 비행체를 탐지하기는 쉽지 않다. 그럼에도 불구하고 소형 무인항공기의 특성상 비행고도 및 무선 통신출력의 제한 등의 이유로 저고도에서 비행은 불가결하며, 이때에도 접근하는 비행체를 영상으로 인식하여 충돌을 회피하거나, 그와 반대로 영상으로 타 비행체를 인식하여 편대로 비행하는 등의 연구는 수행되어야 하므로 복잡한 배경 하에서 비행체를 탐지하는 기법은 반드시 필요하다.

이러한 연구 필요성을 기반으로 하여, 본 논문에서는 무인항공기가 근거리에서 다가오는 비행체를 기체에 장착된 카메라 영상으로 실시간에 탐지하고 추적하기 위한 영상처리 알고리듬을 제안한다. 제안된 알고리듬은 먼저 연속되는 영상에서 계산되는 호모그래피(Image homography)를 사용하여 움직이는 객체를 검출하며 확률적 다수-가설 추적기법으로 검출된 객체를 관리하고 추적하여 최종적으로 접근하는 비행체인지의 여부를 판단한다. 이후의 단락에서는 제안된 알고리듬의 구성과 기능에 대해 설명하였고 실제 비행실험을 통해 획득한 영상에 적용한 결과를 제시하였다.

II. 본 론

2.1 호모그래피를 이용한 움직이는 객체 검출 알고리듬 설계

소형 무인항공기의 충돌회피 구현 시 가장 큰 문제점은 지형이다. 저고도 환경에서는 지형이 보이기 때문에 하늘에 비해 상대적으로 복잡한 배경을 갖게 된다. 따라서 단순한 영상처리로는 접근하는 비행체를 효과적으로 검출할 수 없으며 카메라를 탑재한 비행체의 기동으로 인한 영향을 제거해야 한다. 이를 위해서는 기존의 영상 전처리 방식과는 다른 측면으로 접근할 필요가 있다.

본 논문에서는 영상에서 지형이 보이는 복잡한 배경 하에서도 비행 중 움직이는 객체를 검출할 수 있는 알고리듬을 제안한다. 이는 단순한 영상 전처리 알고리듬으로 찾을 수 없는 복잡한 배경에서도 움직이는 객체를 탐지할 수 있으며 접근하는 비행체로 판단하는데 걸리는 연산시간을 효과적으로 줄일 수 있는 장점을 가진다.

2.1.1 영상 내 특징점 검출 및 추적

촬영위치가 다른 두 영상간의 호모그래피를 계산하면 영상을 변환(Image Warping)시켜서 같은 시점에서 본 것처럼 변환할 수 있다. 무인항공기가 비행 중이고 상대비행체도 비행하여 접근해 온다면 다른 시각에 촬영된 같은 시점의 두 영상간의 차이를 이용해 상대비행체를 탐지할 수 있다. 이를 위해 먼저 영상 내의 특징점을 검출하고 추적하여 연속되는 두 영상간의 호모그래피를 계산한다.

알고리듬의 첫 단계는 입력된 영상의 첫 번째 프레임에서 임의의 특징점을 찾는 것이다. 본 논문에서는 특징점 계산 및 검출방법으로 Shi-Tomasi-Kanade Tracker[5]를 이용하여 영상 내의 픽셀강도(Gray Intensity) 변화량을 바탕으로 고유값(Eigenvalue)을 계산한다. 이 방법에서는 먼저 컬러영상을 그레이 스케일 영상으로 변환하고 3×3 크기의 마스크를 정의하여 식(1)과 같이 그레이 스케일 영상 내에서 x, y 방향의 명암도 구배를 정의한다. 이를 이용하면 식(2)를 통해 x, y방향 구배의 고유값을 구할 수 있다.

$$\boldsymbol{C} = \begin{bmatrix} \sum\left(\frac{\partial \boldsymbol{I}}{\partial x}\right)^2 & \sum\left(\frac{\partial \boldsymbol{I}}{\partial x}\frac{\partial \boldsymbol{I}}{\partial y}\right) \\ \sum\left(\frac{\partial \boldsymbol{I}}{\partial y}\frac{\partial \boldsymbol{I}}{\partial x}\right) & \sum\left(\frac{\partial \boldsymbol{I}}{\partial y}\right)^2 \end{bmatrix} \tag{1}$$

$$\boldsymbol{C} \cdot \boldsymbol{d} = \boldsymbol{e} \tag{2}$$

식(2)에서 $\boldsymbol{d} = [d_x\, d_y]^T$, $\boldsymbol{x} = [x\ y]^T$ 이고,

$\boldsymbol{e} = \iint_W [\boldsymbol{I}(\boldsymbol{x}, t) - \boldsymbol{J}(\boldsymbol{x}, t)][g_x \ g_y]^T w(\boldsymbol{x}) dxdy$ 에서 **e**는 픽셀강도의 변화량이며, **I(x,** t)와 **J(x,** t)는 이미지 시퀀스 상에서 얻어지는 영상이다. 그리고 W는 임의의 영역이고 w(**x**)는 픽셀강도의 변화량 계산 시 사용되는 가중함수(weighting function)이다. 즉, 식(2)는 연속으로 획득한 영상인 **I(x,** t)와 **J(x,** t)에 대하여 대응되는 두 특징점 영역이 가장 작은 **e**를 가지도록 특징점의 이동거리 **d**를 계산하는데 쓰인다. 특징점의 이동거리는 프레임 사이의 시간 간격이 존재한다고 할 때 식(3)을 반복 계산하여 구한다.

$$\begin{cases} \boldsymbol{d_0} = 0 \\ \boldsymbol{d_{k+1}} = \boldsymbol{d_k} + \boldsymbol{G}^{-1} \sum_W [\{\boldsymbol{I}(\boldsymbol{x}, t) - \boldsymbol{I}(\boldsymbol{x} + \boldsymbol{d_k}, t+1)\} \nabla \boldsymbol{I}(\boldsymbol{x}, t)] \end{cases} \quad (3)$$

검출된 특징점들은 카메라가 탑재된 무인항공기가 비행하여 시점이 변함에 따라 영상 내에서 이동하거나 카메라의 FOV(Field of View)를 벗어나게 되는데 이러한 특징점들을 추적하고 매칭하기 위해 Lucas-Kanade Optical Tracker[6]를 사용한다. 이 방법은 원 영상에서의 특징점 추적뿐만 아니라 영상의 해상도를 2의 멱수(Exponent)로 순차적으로 축소시키는 Image Pyramid method를 적용한 영상에서도 특징점을 추적하기 때문에 이미지 블러링(Image blurring)에도 강인한 특징점 추적이 가능하다.

또한, 본 논문에서는 위에서 구한 특징점들의 이동을 관리하기 위하여 Fig. 1과 같은 특징점 관리절차를 적용한다. 영상의 외부로 벗어나는 특징점들은 가장자리에 설정된 일정 경계를 벗어날 때 삭제된다. 또한 경계 내의 영역을 4분할하여 임의의 한 영역 내에 특징점이 없는 경우에는 새롭게 추가 가능한 특징점의 개수를 파악하고 해당 영역 내에 특징점으로 기능할 수 있는 부분을 새로운 특징점으로 등록시킨다. 기술한 특징점 관리절차는 호모그래피 추정에 적합한 특징점을 제공할 뿐만 아니라 특징점이 영상내에서 고르게 분포하도록 하여 호모그래피 추정오차를 감소시킨다. 본 논문에서는 비행 중 영상전송속도 및 처리시간을 고려하여 최대 25개의 특징점을 검출하고 영역 내에 고르게 분포하도록 하였다.

2.1.2 2차원 호모그래피 추정

영상센서를 탑재한 무인항공기가 Fig. 2와 같이 비행할 때, 임의의 3차원 평면에 대하여 이미지 시퀀스를 구성한 경우에는 이전 프레임과 현재 프레임 사이에 일정한 변환관계가 존재하게 된다. 이러한 변환관계인 호모그래피는 식(4)와

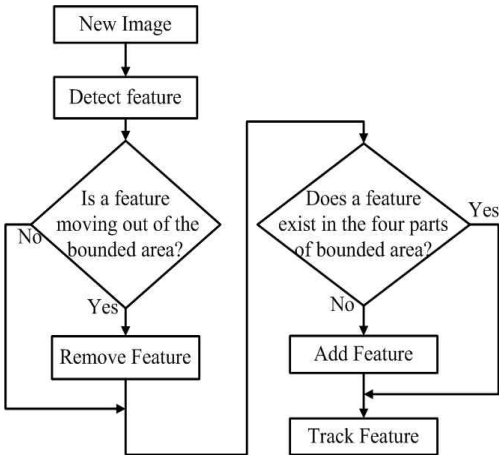

Fig. 1. Management algorithm of features in an image frame

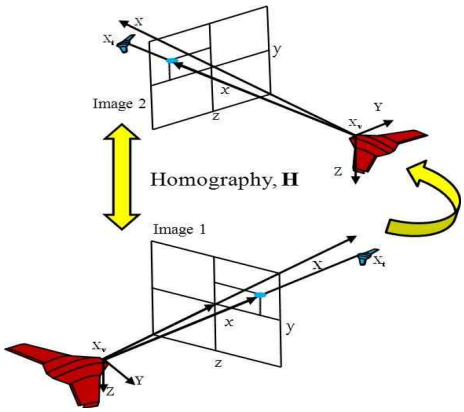

Fig. 6. Homography in an image sequence of three dimensional space

같이 수식으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} x_i' \\ y_i' \\ w_i' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} h_{12} h_{13} \\ h_{21} h_{22} h_{23} \\ h_{31} h_{32} h_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ w_i \end{bmatrix} \rightarrow \boldsymbol{x}' = \boldsymbol{H}\boldsymbol{x} \quad (4)$$

이 때, $\boldsymbol{x} = [x_i \ y_i \ w_i]$는 2차원 공간상의 한 점을 동차표현(homogeneous representation)으로 나타낸 형태이며 w_i가 0이 아니면 위치를 나타내며 유한한 공간에 존재하고 0이면 방향을 나타내고 무한대에 존재하는 것을 의미한다.

식(4)는 이론적으로 대응점 4쌍만 존재하면 정확한 해를 구할 수 있지만 정확도 향상, 이상값(Outlier) 제거, 노이즈 저감을 위해 최소 8쌍 이상, 최대 25쌍의 대응점을 이용하기 때문에 과결정문제(Over-determined)가 된다. 따라서 정확한

해를 구하기 위해서는 호모그래피 행렬 $\boldsymbol{h}=0$인 경우를 제외하고 $\|\boldsymbol{h}\|=1$인 조건에서 Direct Linear Transformation(DLT) 알고리듬을 이용하여 해를 구한다. DLT 알고리듬은 특이치 분해 방법(Singular Value Decomposition)을 이용하여 제한조건 하에서의 최적화 문제를 해결한다.[7]

또한 호모그래피 추정 시 이상값을 제거하여 추정오차를 최소화하고 정확한 추정값을 구하기 위하여 Least Median of Squares method(LMeS)를 적용하였다.

2.1.3 영상 내의 움직이는 객체 검출

2.1.2절에서 추정된 호모그래피 행렬을 사용해 이전 프레임의 영상을 현재 프레임의 영상시점과 동일하도록 이미지 워핑을 수행하고, 식 (5)과 같이 이미지 워핑을 수행한 결과와 현재 영상의 차영상을 계산하여 움직이는 물체를 검출할 수 있다.

$$\triangle \boldsymbol{I}_{sub} = \boldsymbol{I}_{k-1}(\boldsymbol{x}) - \boldsymbol{I}_{k}(\boldsymbol{x}) \tag{5}$$

계산된 차영상은 픽셀당 8bit의 흑백영상(Gray image)이며, 움직이는 객체를 추출하기 위해 임계치(Threshold)를 설정하여 영상을 이진화(Binarization)한다. 이진화된 영상에서 침식(Erosion)과 팽창(Dilation)의 순서로 모폴로지(Morphology)연산을 수행하면 객체의 형상은 부각되고 그 외의 작은 크기의 잡음은 제거되므로 보다 뚜렷한 객체의 형상을 얻을 수 있다.

일반적으로 야외에서의 영상처리 실험시에 설정하는 임계치는 날씨, 광량 등과 같은 외부영향에 매우 민감하여 실험당일의 날씨에 따른 임계치를 찾고 조절하는 문제가 더 어려울 수 있다. 그러나 본 논문에서 설계한 알고리듬과 같이 연속영상에서 호모그래피를 추정하여 차영상을 구하면 설정할 임계치의 민감도가 현저히 줄어들게 되므로 보다 적은 노력으로 저고도에서의 비행실험 시 영상에 나타나는 복잡한 배경의 영향을 줄일 수 있다.

2.2 확률기반 다수 가설 추적기법을 기반으로 하는 비행체 탐지 및 추적 알고리듬 설계

2.1절에서 설계한 호모그래피 추정을 이용한 움직이는 객체 검출 알고리듬을 통해 움직이는 객체를 검출하면 그 다음에는 객체가 근접하는 비행체인지 판단할 필요가 있다. 본 논문에서는 확률기반의 다수 가설 추적 기법(Probabilistic Multi-Hypothesis Tracking)을 이용하는 트랙 초기화 알고리듬을 설계하여 근접하는 비행체 여부를 판단한다. 이 방법은 영상 내에서 검출된 움직이는 객체의 비행체 여부를 상대적으로 짧은 시간 내에 판단할 수 있는 장점이 있다.

2.2.1 다중 표적 정보관리 알고리듬 설계

영상 내에서 움직이는 객체는 이미지 시퀀스에 따라 동일한 객체로 유지될 수 있도록 정보를 부여하고 관리해야 한다. 이러한 관리 알고리듬은 무인항공기의 회피기동이 가능하도록 하는 기반이 된다. 이러한 알고리듬을 다중 표적 정보관리 (Multi-Target Information Management; MTIM) 알고리듬이라고 한다. 본 논문에서는 3단계로 나누어 MTIM 알고리듬을 구현하였다.

첫 번째 단계는 정보획득단계로서 2.1절에서 제시한 알고리듬 이후 검출된 객체들에게 순서대로 ID정보를 부여하고 획득한 영상 내에서 객체들이 갖는 특징벡터를 설정한다. 특징벡터는 일정한 범위 이내의 유클리디안(Euclidean) 거리 d_i, 외곽선의 넓이 A_i 및 이동속도 v_i로 구성된다.

두 번째는 예외처리 및 분류 단계로서 객체(또는 labeled contour로도 표현됨)의 구별방법에 대한 3 가지 가정을 세운 후 이를 만족하지 못하는 객체들은 예외로 처리하여 정보가 저장된 트랙을 초기화하고 가정을 만족하는 객체들은 트랙을 유지하여 비행체로 탐지될 확률을 유지시킨다. 본 논문에서는 다중 표적 정보관리 알고리듬을 위해 확률적 다수-가설 추적기법(Probabilistic Multi-Hypothesis Tracking method)[8]을 이용한 트랙 초기화 알고리듬을 개발하고 적용하였으며 사용된 가정 사항은 다음과 같다.

1. **Labeled contour는 시간 t_{k-1}와 시간 t_k에서 연속으로 검출되어야 한다.**
2. **가장 거리가 가까운 Labeled contour가 이전 시간에 발생된 Labeled contour이다.**
3. **Labeled contour의 면적이 일정크기 이상 증가해야 접근하는 Labeled contour이다.**

즉, 유클리디안 거리 기반의 최근방이웃(Nearest Neighbor)을 계산함과 동시에 넓이 변화가 증가하는 방향으로 진행하는 객체를 찾아내어 이미지 시퀀스 상의 검출된 객체들이 동일한 객체로 인식될 수 있도록 한다. 만약 임의의 프레임에서 검출된 객체가 앞서 제시한 가정 사항을 만족하지 못하면, 해당 객체의 정보가 저장된 트랙을 초기화한다. 반면에 가정 사항을 만족하는 경우에는 트랙을 유지하여 연속되는 프레임 상에서 지속적으로 동일한 객체로 지정하여 관리한다. 기술한

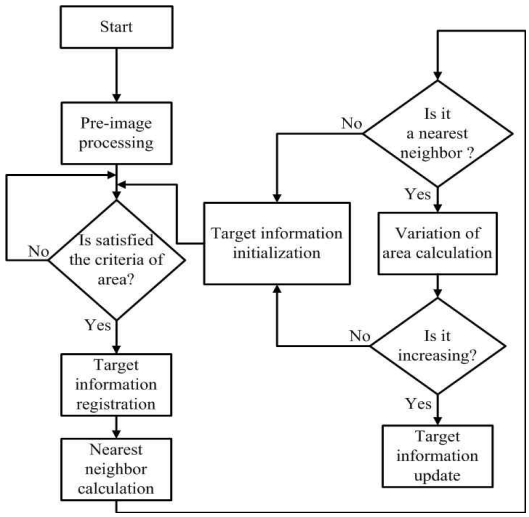

Fig. 3. The flow chart of Multiple-Target Information Management algorithm

알고리듬은 Fig. 3의 순서도로 나타내었다.

2.2.2 다수 가설 생성 및 관리 알고리듬

다중 표적 정보관리 알고리듬을 통해 비행체로 추정되는 객체들을 관리한 후에는 적절한 알고리듬을 사용해 정량적인 값으로 비행체일 확률을 표현하고 일정한 기준을 초과하는 객체를 표적으로 탐지하여 이후의 행동을 결정해야 한다. 본 논문에서는 이러한 확률의 정량적인 계산을 위해 객체의 특징정보를 이용하여 식(6)과 같은 가설(Hypothesis)을 세우고 이를 식(7)에 대입하여 로그-우도(log-likelihood)를 계산하였다.

$$p_{con} = w_a \times p_{\triangle a} + w_p \times p_p \tag{6}$$

$$L_i = L_{i-1} + \frac{\sum_{j=1}^{n}\{\log(p_{con_j}) + \log(p_{obj_j})\}}{n} \tag{7}$$

식(8)에서 L_i는 로그우도함수를 의미하며 p_{con}은 이전 프레임과 현재 프레임을 비교했을 때 연결이 되는 경우 부여되는 확률인 연결확률(connection probability)이다. 이 때, p_p는 이미지 시퀀스에 따라 지속적으로 관리되는 객체 사이의 거리에 따라 부여되는 확률값이고 $p_{\triangle a}$는 넓이 변화에 따라 부여되는 확률값이다. 그리고 $w_{\triangle a}$와 w_p는 각각의 확률값의 가중치이다. 또한 식(9)에서 p_{obj}는 객체가 이미지 시퀀스 상에서 지속적으로 검출될 때 부여하는 확률값이다. 계산된 로그-우도는 시그모이드 함수(Sigmoid function)를 통해 정량화된 확률값으로 변환되고, 이 값이 일정한 기준 이상으로 증가하면 객체를 비행체로 인식한다.

본 논문에서는 이미지 시퀀스에서 객체의 넓이변화가 증가되는 방향으로 지속되고 이전 프레임에서 검출된 객체와 현재 프레임에서 검출된 객체 사이의 거리가 유클리디안 거리 기반의 최근방 이웃 조건을 지속적으로 유지했을 때 가장 높은 확률을 가질 수 있도록 설정하였다. 즉, 연속된 영상에서 위의 조건을 동시에 만족하는 객체에 가장 이상적인 100%의 확률값을 갖도록 하였고 2.2.1절에서 제시한 가정 사항에 따라 초기에 움직이는 객체 검출 시 약 50%의 확률값을 갖도록 설정하였다. 이러한 다수 가설 생성 및 관리 알고리듬은 다중 표적 정보관리 알고리듬과 함께 단안의 영상 내에서 움직이는 객체를 보다 효과적으로 관리하는 역할을 수행한다.

2.2.3 다중 표적 추적을 위한 칼만 필터 설계

이미지 시퀀스 상에서 동일한 객체로 관리되는 객체는 가설을 갱신함으로써 객체와 관련된 정보를 저장한 트랙이 초기화되거나 유지된다. 이와 같은 관리 알고리듬과 함께 본 논문에서는 영상 내에 존재하는 객체들뿐만 아니라 비행체로 탐지된 표적의 추적을 위해 칼만 필터(Kalman Filter)를 이용하여 다중 표적의 추적을 구현하였다.

본 논문에서는 칼만 필터에 사용할 상태변수를 식(8)과 같이 구성하였다. 이는 다중 표적 정보관리 알고리듬에서 관리된 객체의 정보를 이용하여 외곽선을 표현하기 위함이다.

$$\boldsymbol{X}_k^N = \left[x_k^N \;\; \dot{x}_k^N \;\; y_k^N \;\; \dot{y}_k^N \;\; w_k^N \;\; \dot{w}_k^N \;\; h_k^N \;\; \dot{h}_k^N\right] \tag{8}$$

이 때, w와 h는 객체를 둘러싸는 외곽선의 너비와 높이를 나타내며 N은 영상 내에 존재하는 객체의 개수를 의미한다. 추적해야 하는 객체 혹은 표적이 다수이므로 알고리듬 내에서 이들이 이중으로 관리될 수 있도록 외부와 내부에 각각 반복루프를 구성하여야 한다.

영상 내의 객체 또는 표적을 추적할 때, 초기 파라미터의 설정이 매우 중요하다. 이는 칼만 필터의 안정성이 초기값에 큰 영향을 받기 때문이다. 따라서 식(9)과 같이 이전 프레임과 현재 프레임에서의 관계에 따라 초기값을 설정하였으며 이는 다중 표적 정보관리 알고리듬을 통해 구할 수 있다.

$$\dot{\eta}_k^N = \eta_k^N - \eta_{k-1}^N \tag{9}$$

2.3 영상처리 알고리듬 적용결과

영상처리 알고리듬의 검증은 소형 무인항공기의 충돌모사 자동비행실험 중 촬영한 영상에 적

용하여 이루어졌다. 비행실험은 2대의 무인항공기에 원형선회비행 유도제어 알고리듬을 적용하고 각각 시계방향과 시계 반대방향으로 선회하게 하여 충돌상황을 모사하였다. 이 때, 시계방향으로 선회하는 무인항공기에 장착된 카메라를 통해 영상을 획득하였다.[9,10,11]

본 논문에서 설계한 근거리 비행체 탐지 및 추적을 위한 영상처리 알고리듬의 첫 단계는 Fig. 4(a)와 같이 영상에서 특징점을 검출하고 추적하는 것이며 특징점 관리 알고리듬 수행결과를 Fig. 4(b)에 제시하였다. 이 때, 녹색 원형마커는 추가되는 특징점을 의미하며 적색 원형마커는 계산에서 제외되는 특징점을 의미한다.

Fig. 5(a)는 저고도 비행실험 중 획득한 원영상이고 Fig. 5(b)는 추정한 호모그래피를 이용하여 이미지 워핑을 수행하고 차영상 계산을 통해 영상 내에 움직이는 객체를 검출한 결과이다. Fig. 5(b)에서는 차영상 연산으로 검출한 객체의 형상이 불분명하고 영상 내에 이미지 워핑 과정에서 호모그래피 추정오차로 인해 발생한 잡음이 전체적으로 분포되어 있음을 볼 수 있다. 따라서 잡음제거 후 객체를 부각시키기 위해 임계치, 이진화, 모폴로지 연산을 순서대로 수행하면 Fig. 5(c)와 같이 뚜렷한 형상의 객체를 얻을 수 있다.

(a)

(b)

Fig. 4. (a) The result of detecting and tracking features. (b) The result of feature management procedure.

(a)

(b)

(c)

Fig. 5. (a) Source image. (b) The result of moving object being detected. (c) The result of binarization and morphological filtering.

Fig. 5(c)에서 뚜렷하게 보이는 객체 외에 작은 크기의 잡음들도 존재하는 것을 볼 수 있는데 이것들은 다중 표적 정보관리 알고리듬에서 레이블링(labeling) 수행 시 적절한 크기범위를 지정하면 효과적으로 제거될 수 있다.

다중 표적 정보관리 알고리듬은 2.2.1절에서 제시한 3가지 가정을 통해 검출된 객체의 정보가 저장된 트랙을 구성하고, 이를 유지하거나 초기

화하여 연속되는 영상에서 검출된 객체가 동일한 객체로 유지되도록 하며, 이와 동시에 비행체가 접근해 오는지의 여부를 판단한다.

또한, 근접한 비행체의 탐지는 트랙이 유지되는 객체들에 한하여 가설을 생성하고 이를 정량적으로 계산하여 일정한 기준을 넘으면 Fig. 6(b)와 같이 영상 내에 위험신호를 표시하도록 구현하였다. Fig. 6의 (a)와 (b)에서 노란색 사각형은 이전 프레임에 존재하는 객체이다. 그리고 빨간색 사각형은 현재 프레임에 존재하는 객체, 녹색 사각형은 칼만 필터를 통해 추적되고 있는 객체이다. Fig. 6의 결과를 확장하여 연속되는 영상에서의 근접비행체 탐지 및 추적을 수행한 결과는 Fig. 7과 같다.

본 논문에서는 설계한 영상처리 알고리듬을 총 4번의 충돌모사구간에서 획득한 영상에 적용하였고 근접 비행체 판단기준은 경험적으로 75%로 설정하였다. 처리결과는 Fig. 8에 도시하였으며 x축은 프레임, y축은 충돌위험이 있는 비행체일 확률 즉, 해당 비행체의 충돌위험도이다. Fig. 8에서 검출되는 객체들 중 연속적으로 검출되지 못하고 없어지는 것은 충돌위험도가 설정된 판단기준을 넘지 못하여 다중 표적 정보관리 알고리듬에서 트랙을 초기화함으로 인해 더 이상 추적

(a)

(b)

Fig. 6. (a) The result of implementation of MTIM algorithm. (b) The result of detecting an approaching aerial vehicle.

Fig. 7. The result of detecting and tracking an aerial vehicle in an image sequence.

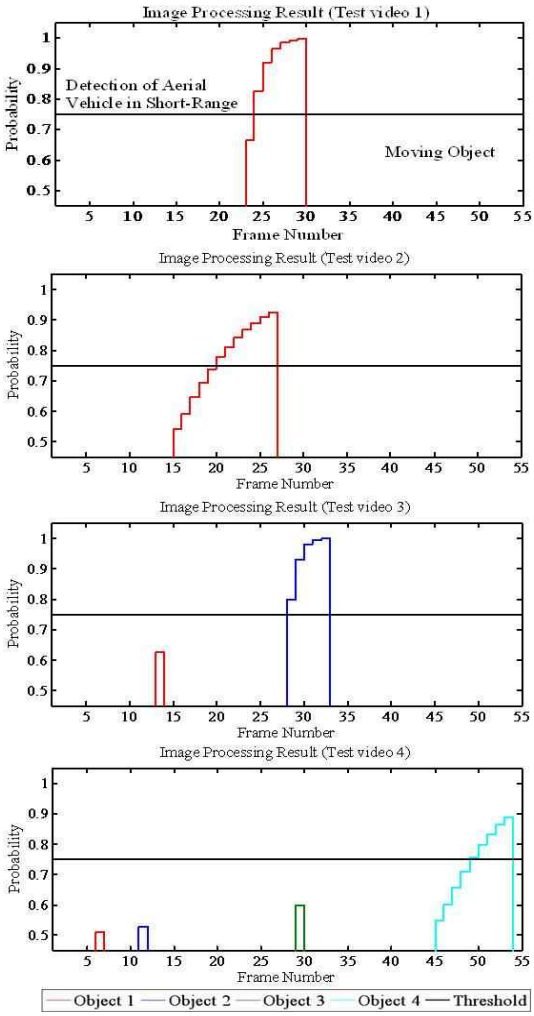

Fig. 8. The probability of among the determined objects as an approaching aerial vehicle.

하지 않고 있음을 의미한다. 반면에 연속적으로 검출되는 것은 동일객체로서 트랙을 유지하면서 충돌위험도가 점차적으로 증가하는 것을 볼 수 있으며 충돌위험도가 기 설정된 판단기준을 넘으면 해당 프레임 이후에서부터는 근접비행체 즉, 충돌위험이 존재하는 비행체로 인식이 되는 것을 볼 수 있다.

본 논문에서 제시한 전체 영상처리 알고리듬은 Intel(R) Core(TM)2 Duo 2.0GHz, RAM 2GB의 성능을 가진 컴퓨터에서 처리하였고 평균적으로 약 136ms의 처리시간이 소요되었다. 초속 약 20m/s로 비행하는 무인항공기의 충돌모사 비행실험 시 비행체 조우시간이 약 3초임을 감안하면 본 알고리듬은 온보드 영상처리 혹은 지상전송 후 영상처리 방식으로 실시간 구현하기에도 충분하다.

III. 결 론

본 논문에서는 무인항공기의 근거리 비행체 탐지 및 추적을 위한 영상처리 알고리듬을 설계하여 실제 비행실험을 통해 획득한 영상에 적용하였다. 제시한 알고리듬은 연속되는 영상에서 계산되는 호모그래피로 영상을 변환하고 차영상을 계산하여 움직이는 객체를 검출하므로 날씨, 광량 등과 같은 외부영향에 민감한 영상처리 과정의 수행 시 설정하는 임계치의 민감도를 감소시켜 준다. 또한 확률적 다수-가설 추적기법으로 검출된 객체가 접근하는 비행체인지의 여부를 판단하기 때문에 지표면이 보이는 복잡한 배경에서도 근접하는 비행체의 탐지가 가능하다.

제시된 근거리 비행체 탐지 및 추적을 위한 영상처리 알고리듬은 추후 무인항공기의 영상기반 충돌회피 혹은 편대비행 등 저고도에서 지속적인 비행체 탐지가 필요한 임무에 맞게 개선되어 매우 효과적으로 적용될 수 있을 것이다.

후 기

본 연구는 한국항공우주연구원에서 주관하는 학연협력강화사업 성과창출형과제인 “영상센서 기반 충돌회피 기술연구(과제번호: 2009-09-성과-7)”의 연구비 지원을 받았습니다. 이에 감사드립니다.

참고문헌

1) A. D. Zeitlin, 2007, “Technology Milstones - Detect, Sense & Avoid for Unmanned Aircraft Systems”, *AIAA* Infotech@Aerospace Conference and Exhibit, AIAA-2007-2765

2) Kie-Jeong Seong, Eung-Tai Kim, and Seong-Pil Kim, 2008, “Development Trend of the Autonomous Flight Control Technology,” Current Industrial and Technological Trends in Aerospace, Vol. 6. 2, pp.143~153.

3) Eric N. Johnson, Anthony J. Calise, Yoko Watanabe, Jincheol Ha, and James C. Neidhoefer, 2007, "Real-Time Vision-Based Relative Aircraft Navigation", Journal of Aerospace Computing, Information, and Communication, Vol.4, pp.707-738.

4) John Lai, Luis Mejias, and Jason J. Ford, 2011, “Airborne Vision-Based Collision Detection System,” Journal of Field Robotics, Vol. 28, Issue 2, pp.137-157.

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

6) Jean-Yves Bouguet, 2000, "Pyramidal Implemen -tation of the Lucas Kanade Feature Tracker", Intel Corporation, Microprocessor Research Labs, http://www.intel.com/research/mrl/ research/opencv/

7) Richard Hartley, Andrew Zisserman, 2003, "Multiple View Geometry in comouter vision 2nd edition", Cambridge University Press

8) Roy L. Streit, and Tod E. Luginbuhl, 1995, "Probabilistic Multi-Hypothesis Tracking,” NUWC-NPT Technical Report 10.428, 15

9) S.Huh, and D.H.Shim, 2010, "A Vision-Based Landing System for Small Unmanned Aerial Vehicles using an Airbag," Control Engineering Practice, Vol. 18, Issue 7, pp. 812-823.

10) Dong-il You, and Hyun-Chul Shim, 2011, “Leader-Follower based Formation Guidance Law and Autonomous Formation Flight Test of Multiple MAVs,” Domestic Journal of KSAS, Vol. 2. pp. 121-127

11) S.Huh, Dong-il You, Sang-woo Moon, Sun-Hye Yoon, Yeon-Duk Jeong, 2009, "Developement of an autopilot system and a Grond Monitoring Station for Multiple UAVs", KSAS fall conference, pp. 775-778

12) Sungwook. Cho, S.Huh, Dong-il You, Hyun-Chul Shim and Hyung-Sik Choi, 2011, "An Image Processing Algorithm for Detection and Tracking of Aerial Vehicles in Short Range", pp. 592-598, KSAS spring conference, FC4-2