

소형 무인항공기용 영상센서 기반 이동표적표시 기법

Moving Target Indication using an Image Sensor for Small UAVs

윤 승 규, 강 승 은, 고 상 호*
(Seung-Gyu Yun¹, Seung-Eun Kang¹, and Sangho Ko^{1,*})

¹School of Aerospace and Mechanical Engineering, Korea Aerospace University

Abstract: This paper addresses a Moving Target Indication (MTI) algorithm which can be used for small Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) equipped with image sensors. MTI is a system (or an algorithm) which detects moving objects. The principle of the MTI algorithm is to analyze the difference between successive image data. It is difficult to detect moving objects in the images recorded from dynamic cameras attached to moving platforms such as UAVs flying at low altitudes over a variety of terrain, since the acquired images have two motion components: 'camera motion' and 'object motion'. Therefore, the motion of independent objects can be obtained after the camera motion is compensated thoroughly via proper manipulations. In this study, the camera motion effects are removed by using wiener filter-based image registration, one of the non-parametric methods. In addition, an image pyramid structure is adopted to reduce the computational complexity for UAVs. We demonstrate the effectiveness of our method with experimental results on outdoor video sequences.

Keywords: computer vision, image registration, moving target indication, image pyramid structure, small UAVs

I. 서론

이동표적표시(MTI: Moving Target Indication) 기법은 연속된 데이터로부터 변화를 감지하여 이동표적을 탐지/추적하는 필터(또는 프로세스, 시스템)를 말한다. MTI는 레이더 신호처리 분야에서 유래하였고, 최근에는 영상신호처리에서도 연구하고 있다. 사용하는 데이터의 형태에 따라 레이더 MTI 또는 영상 MTI라고 부른다.

영상 MTI 연구는 무인항공기의 수요증가와 함께 진행되었다. 무인항공기 개발의 선두국가인 미국과 이스라엘에서는 일찍이 소형무인항공기를 전력으로 사용해왔으며, 최근에는 소형무인항공기인 RQ-11 RAVEN을 실전 배치하였다. 주된 기능은 영상정보를 통한 다중 이동표적을 검출 / 추적하는 것이며, 2인 이하의 인원으로도 구동이 가능하도록 설계되었다(그림 1). 2013년 기준, RQ-11 RAVEN은 10여개국에 13,000대 이상의 수출실적을 가지고 있다[1].

하지만 이런 세계적인 수요에도 불구하고 현재 국내 무인항공기 시장에서는 영상 MTI에 대한 적용된 기술이 없고, 관련 연구도 미미한 실정이다. 따라서 본 논문에서는 소형무인항공기에서 활용 가능한 영상센서 기반 다중 MTI 기법에 대해 연구하였다.

무인항공기와 같이 영상센서가 움직이면, 얻어진 영상은 카메라운동(camera motion)과 물체운동(object motion)에 대한 데이터를 모두 가지고 있다. 따라서 영상에서 물체 운동

을 찾아내려면, 카메라 운동효과를 제거해야 한다. 이것이 MTI 시스템의 기본 개념이고, 구성 또한 크게 '카메라 운동보정'과 '물체운동 탐지'로 이루어져 있다.

카메라 운동보정은 두 영상 사이의 카메라 움직임에 계산하여 영상을 보정하는 방법이다. 카메라 이동은 배경영상의 움직임과 동일하다고 가정할 수 있기 때문에 이를 이용하여 연속된 카메라 이동량을 계산하고, 계산된 이동량만큼 영상을 평행이동하면 배경이 일치한 영상을 얻는다. 이 기법을 영상정합(Image registration)이라고 부르며, 크게 카메라 운동을 모델링하여 영상정합하는 매개변수 방식과 통계 방식을 이용한 비매개변수 방식으로 연구되어왔다[2-5].

물체운동 탐지는 카메라 운동보정을 통해 얻은 영상들의 차영상을 통하여 이루어진다. 카메라 운동보정이 되면 영상들의 배경이 일치하기 때문에 차영상에서 오차가 나타난 곳을 물체 운동으로 볼 수 있다[6].

영상정합 과정에서 가장 주의해야 할 점은 시차(parallax)의 발생이다. 시차는 카메라의 3차원 운동을 2차원 영상으로 구현하지 못하여 깊이 정보가 손실되는 것에서 발생하는 오차이다. 특히 소형 무인항공기가 촬영한 저고도 영상



그림 1. RQ-11 Raven의 MTI 시스템[1].

Fig. 1. MTI system of RQ-11 Raven [1].

* Corresponding Author

Manuscript received August 30, 2014 / revised September 15, 2014 / accepted September 22, 2014

윤승규, 강승은, 고상호: 한국항공대학교 항공우주 및 기계공학과
(yacstyle@kau.ac.kr/gracekang7@kau.ac.kr/sanghoko@kau.ac.kr)

※ 본 연구는 국방과학연구소 산하 생존성기술특화연구센터의 지원을 받았음(NO.UJ1200190D).

에서는 고층 건물, 나무 등의 지형 높이에 영향을 받으므로, 시차가 빈번히 발생한다. 논문[7]에서는 카메라 운동과 시차의 광범위한 연구를 정리하였다.

영상처리는 계산량이 매우 많기 때문에 실시간 구현에 어려움이 많다. 계산량을 줄이기 위한 기법으로는 영상 피라미드 구조[8]와 웨이블릿 기법[9]이 있다. 두 기법 모두 원본 이미지의 해상도를 순차적으로 1/4씩 줄여, 적은 계산량으로 필요한 정보를 얻은 다음 다단계 계산을 통해 정밀한 값을 추출한다.

위의 과정을 통합한 MTI 시스템은 P. J. Burt [10]에서 첫 선을 보였다. 매개변수 방식으로 카메라 운동을 모델링을 한 다음, 차영상을 통하여 이동물체를 검출하였다. 하지만 이 방법은 시차에 취약하여 Garbis Salgian [11]은 각 픽셀당 광류(Optical flow)를 이용해 단점을 보완하였다. 광류를 통해 전체 이미지의 이동방향을 확인하고, 주된 이동방향과 다른 픽셀은 운동이 존재한다고 가정하였다. 하지만 이 기법은 카메라와 물체의 이동방향이 같으면 물체의 운동을 인지하지 못하는 단점을 가지고 있다. Chang Yuan [12]은 위의 단점을 보완하고자, 여러 장의 연속된 이미지를 이용하여 MTI 시스템을 구현했다. 위의 방법과는 다르게 Ronald Jones [13]는 카메라 운동 대신 각 이미지에서 배경을 모델링하여, 연속된 이미지에서 배경에 해당하는 부분을 제거하여 물체 운동을 감지하였다. 또한 Lance M. Kaplan [14]는 SAR레이더에서 사용한 비매개변수 방식 영상정합을 통해서 MTI를 구현하려고 하였다.

본 논문에서는 비매개변수 방식의 영상정합을 이용한 MTI 기법을 구현하였다. 비매개변수 방식은 비선형적인 카메라 운동과 국소의 변화에도 대응할 수 있고, 시차의 복잡한 모델링을 구현하지 않는다는 장점이 있다. 또한 소형무인항공기에서 사용하기 위해 영상 피라미드 구조를 이용하여 계산량을 줄였다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. II 장 본문에서는 총 4절을 걸쳐 MTI 알고리즘을 설명하였다. 1절 영상데이터 분석, 2절 카메라 운동 보정, 3절 물체 검출, 4절 계층구조로 이뤄져 있다. III 장 실험/시뮬레이션에서는 실험 조건 및 결과를 설명하고, IV 장 결론에서는 앞으로 진행되어야 될 연구를 논의한다.

II. 본론

1. 영상데이터 분석(analysis of image data)

디지털 영상센서에서 획득한 데이터는 2차원 이미지 시퀀스로 나타낼 수 있다. 이미지 오른쪽 상단을 원점으로 하는 영상좌표계를 (x', y') 로 표시하고 이미지 프레임의 시퀀스를 k 로 나타내면 식 (1)과 같다.

$$I(x', y', k) = L(x', y', k) \circ R(x', y', k) \quad (1)$$

$$\text{where } 0 < L(x', y', k) < \infty, 0 < R(x', y', k) < 1$$

여기서 $I(x', y', k)$ 는 광원 조명의 양을 나타내는 조명성분(illuminance) $L(x', y', k)$ 과 객체에 의해 반사되는 조명의 양인 반사성분(reflectance) $R(x', y', k)$ 의 성분곱으로 나타낸다. 반사성분은 물체에서 빛을 반사하는 정도에 따라 0(완전 흡수)와 1(완전 반사)사이의 값을 가진다[15].

반사 성분은 물체의 고유 색(특정 주파수)에 대한 정보를 담고 있으며, 배경 성분 $R_B(\cdot)$ 와 물체 성분 $R_O(\cdot)$ 로 다시 나눌 수 있다.

$$I(x', y', k) = L(x', y', k)[R_B(x', y', k) + R_O(x', y', k)] \quad (2)$$

변화 감지를 기반으로 하는 MTI 기법은 연속된 영상의 차이인 차영상을 분석하여, 운동하는 물체를 검출한다. 우선 물체만 (c, d) 만큼 평행이동 한다면, 다음 시간의 이미지 $I(x', y', k+1)$ 은 식 (3)과 같이 쓸 수 있다.

$$I(x', y', k+1) = L(x', y', k+1)[R_B(x', y', k+1) + R_O(x' - c, y' - d, k+1)] \quad (3)$$

식 (3)은 카메라가 고정되어 있으므로 절대좌표계 (x, y) 와 영상좌표계가 동일하며, 영상에 물체운동이 반영된다.

하지만 영상을 획득하는 카메라가 이동한다면 영상좌표계가 움직이므로 물체의 운동을 영상데이터만으로 분석하기 어렵다. 물체의 이동과 함께 카메라가 (a, b) 만큼 이동한다면, 절대좌표계를 통해 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} I(x', y', k+2) &= L(x', y', k+2)[R_B(x', y', k+2) + R_O(x' - c, y' - d, k+2)] \\ &= L(x - a, y - b)[R_B(x - a, y - b) + R_O(x - c - a, y - b - d)] \end{aligned} \quad (4)$$

where $(x', y', k) = (x, y)$, $(x', y', k+2) = (x - a, y - b)$

위 식에서 카메라 운동을 추정하여 완벽히 보정한다면, 추정된 이미지 $\hat{I}(x', y', k+2)$ 를 식 (5)와 같이 쓴다.

$$\hat{I}(x', y', k+2) = L(x, y)[R_B(x, y) + R_O(x - c, y - d)] \quad (5)$$

두 이미지의 차영상을 $D(\cdot)$ 으로 나타내면 식 (6)와 같다.

$$\begin{aligned} D(x', y', k+2) &= \hat{I}(x', y', k+2) - I(x', y', k) \\ &= L(x, y)[R_B(x, y) + R_O(x - c, y - d)] \\ &\quad - L(x, y, k)[R_B(x, y) + R_O(x, y)] \end{aligned} \quad (6)$$

여기에서 영상들이 조명이 일정한 상태에서 얻어졌다면, 조명성분은 $L(x, y, k) = L(x, y) = L$ 이므로, 식 (6)은 식 (7)과 같이 전개된다.

$$\begin{aligned} D(x', y', k+1) &= \hat{I}(x', y', k+1) - I(x', y', k) \\ &= L[R_O(x - c, y - d) - R_O(x, y)] \end{aligned} \quad (7)$$

이렇게 만들어진 차영상의 결과데이터에서 배경 운동을 완벽하게 추정하였다면, 물체의 운동을 쉽게 구할 수 있다. 이를 그림 2에서 예제로 설명하였다. 제일 왼쪽의 그림 2(a), (b), (c)는 원본영상이다. 그림에서 흰색 원형물체가 운동한다. 그림 2(a), (b)는 동일한 배경을 가지고 있으며, 그림 2(c)는 평행 이동한 배경을 가지고 있다. 두 번째 열 그림 2(d), (e), (f)는 각 그림의 AB단면의 영상 세기를 표현한다. 중간에 일정한 세기를 보이는 부분이 물체를 의미한다. 그림 2(d)와 (e)는 물체 이외의 데이터가 동일하지만, 그림 2(f)는 차이를 보인다. 세 번째 열 그림 2(g)와 (h)는 각각 그림 2(a)와 (b), 그림 2(b)와 (c)의 차영상이고, 마지막 열은

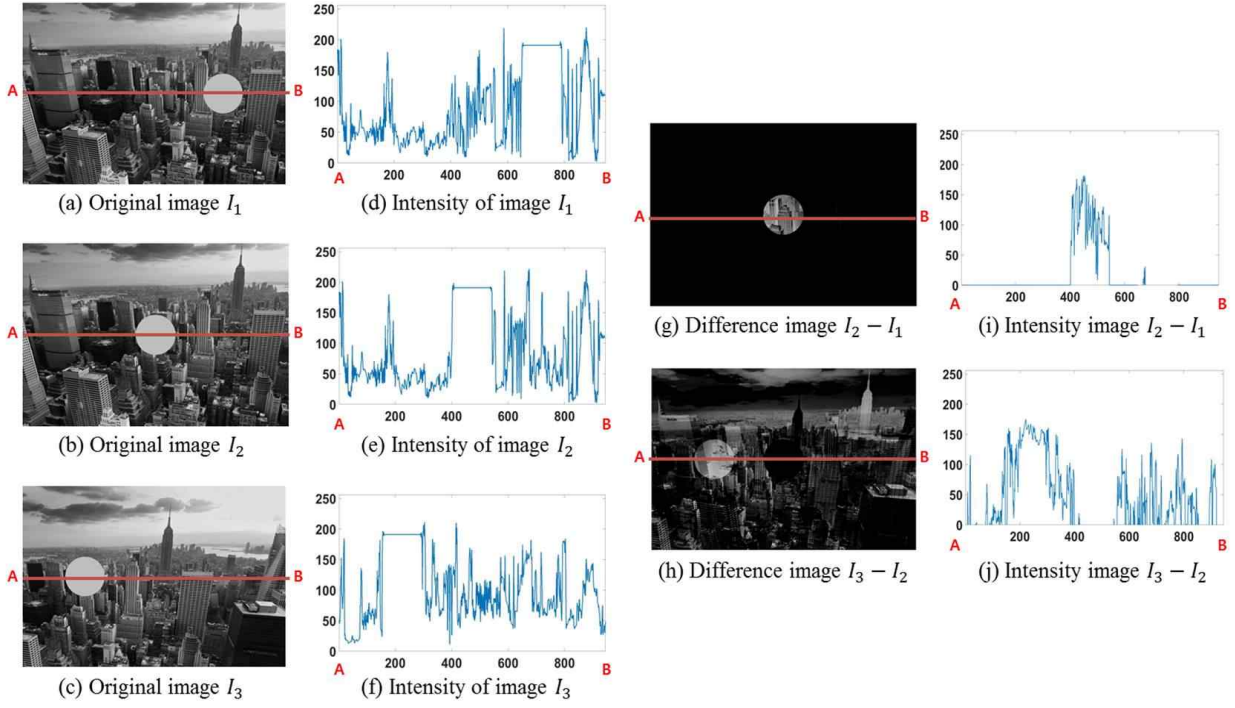


그림 2. 물체와 카메라운동에 따른 영상데이터 분석.
 Fig. 2. Image data analysis according to an object and a camera motion.

차영상의 AB 단면이다. 그림 2(g)는 배경이 일치하므로, 나머지 부분이 전부 '0'에 가까워 검은 색으로 나타나고, 운동한 물체 영역만 데이터가 존재한다. 반면, 그림 2(h)는 배경이 일치되지 않으므로 운동한 영역을 찾기 어렵다.

따라서 무인항공기와 같이 영상센서가 움직이는 조건에서의 변화탐지에는 카메라 운동의 보정이 중요하다. 움직임이 완전히 보정된다면 이후 차영상에서 발생하는 데이터는 물체의 움직임이다.

2. 카메라 운동 보정(camera motion compensation)

카메라 운동 보정은 두 영상의 배경 데이터를 일치시키는 작업으로, R_D 항을 없애 물체운동 데이터만 남긴다.

두 영상 사이에 카메라 운동만 있다고 가정한다면, 두 영상의 관계를 2차원 convolution model로 표현하여, 식 (8)와 같이 나타낼 수 있다.

$$I(x,y,k+1) = \iint_{u,v} h(u,v) I(u,v,k) dvdu \quad (8)$$

여기에서 $h(u,v)$ 는 2차원 spatially invariant filter로 카메라 운동의 모델링 함수이다. 하지만 이 모델을 사용하기 위해서는 사전에 좌표(u,v)에서의 카메라 운동량을 알고 있어야 한다.

$$\hat{I}(x,y,k+1) = \iint_{u,v} h(u,v;x,y) I(u,v,k) dvdu \quad (9)$$

여기에서 $h(u,v;x,y)$ 는 2차원 spatially varying filter이고 국부변화에 민감하게 반응할 수 있다.

식 (9)을 이산모형으로 변경하기 위해, 영상의 각 픽셀당 필터 $h(u,v;x,y)$ 을 구한다. 계산량을 줄이기 위하여 영상

을 블록화한다면, 각 블록의 필터 $h(u,v;x,y)$ 는 상수 h_{mn} 로 표시 할 수 있으며, 식 (10)과 같이 표현된다.

$$\hat{I}^{(k)}(x_k,y_k,k+1) = \sum_{m=-n_x}^{n_x} \sum_{n=-n_y}^{n_y} h_{mn}^{(k)} I^{(k)}(x_k-m,y_k-n,k) \quad (10)$$

여기에서 x_k, y_k 는 k번째 블록 안의 픽셀 좌표를 나타내는 것이고, n_x, n_y 는 탐색할 윈도우 크기이다.

위의 방식과 같이 데이터를 동일하게 나누어서 최적의 필터를 계산하는 방식을 신호 부공간 처리(signal Subspace Processing)라고 부른다. 이러한 방식으로 카메라 운동량을 추정할 수 있을 뿐만 아니라 시차 보정도 가능하다.

위 식 (10)의 필터를 어떻게 설계 하느냐에 따라 그 용도가 다양하고 성능도 차이가 난다. 이 중 본 연구에서는 노이즈에 강한 위너필터(wiener filter)를 이용하였다. 위너필터는 원하는 출력에 근접하게 신호를 만드는 필터로, 최소자승법을 이용하여 필터상수를 구한다. $I(k+1)$ 는 $I(k)$ 와 필터상수 W 의 곱으로 가정한다면, 선형 최소자승법 추정기(linear Minimum Mean Square Error estimator)로 필터상수를 구할 수 있다. 이는 식 (11)과 같다[16].

$$\begin{aligned} \text{If } \hat{I}(k+1) &= WI(k) \\ [I(k+1) - \hat{I}(k+1)]I^T(k) &= [I(k+1) - WI(k)]I^T(k) \\ &= I(k+1)I^T(k) - WI(k)I^T(k) = 0, \\ \text{i.e., } W &= I(k+1)I^T(k)[I(k)I^T(k)]^{-1} \end{aligned} \quad (11)$$

이렇게 구해진 위너필터 상수 W 를 식 (10)의 필터상수 h_{mn} 에 대입하여 방정식을 완성하면 식 (12)과 같으며, 이를 위너필터 기반 영상정합이라고 부른다.

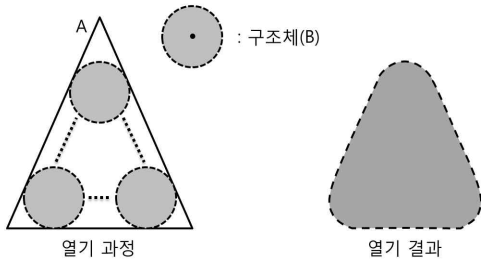


그림 3. 열기 영상처리 기법.

Fig. 3. Image Opening Operations.

$$\hat{I}^{(k)}(x_k, y_k, k) = \sum_{m=-n_x}^{n_x} \sum_{n=-n_y}^{n_y} W^{(k)} I^{(k)}(x_k - m, y_k - n)$$

$$\text{where } W = R_{I(k)} [R_{I(k+1)I(k)}]^{-1}$$

$$R_{I(k)} = E[I(k)I(k)^T], R_{I(k+1)I(k)} = E[I(k+1)I(k)] \quad (12)$$

여기에서 $W^{(k)}$ 는 위너필터 상수로 동일하게 나는 영상의 k 번째 블록크기와 동일하다. 식 (12)의 영상정합을 통하여 두 영상간의 카메라 운동 효과를 제거한다.

3. 이동물체 검출(Moving target detection)

1절에서 언급했듯이, 영상에서 카메라 운동을 보정하면 영상 내 배경에 해당하는 데이터가 없어지고, 카메라 운동과는 독립적으로 운동하는 물체만이 남는다. 다시 한번 식 (7)의 표현을 보면, 카메라 운동 보정효과가 제거되고 차영상만으로도 이동물체의 검출이 가능하다. 하지만 실제 데이터처리에서는 차영상에 잡음이 포함되며, 정밀한 변화탐지를 위해 영상처리를 통한 노이즈 제거가 필요하다.

짧은 시간 간격의 차영상은 보통 운동하는 물체의 테두리부근에서 운동데이터가 발생한다. 따라서 테두리 밖은 운동이 없는 곳이다. 운동이 없는 영역을 확실하게 정한다면, 운동 물체의 영역을 더욱 정밀하게 찾을 수 있다.

이를 위해, 본 논문에서는 문턱치 처리(threshold processing) [17]와 형태학적 영상처리 중 열기(opening operation) [18]를 사용하였다.

문턱치 처리는 이진화 함수 중 기본이 되는 함수로 식 (13)과 같이 표현한다.

$$D_{threshold}(x, y) = \begin{cases} 1, & D_{input}(x, y) \geq T \\ 0, & D_{input}(x, y) < T \end{cases} \quad (13)$$



그림 4. 열기 영상처리의 예제(왼: 원본영상/오:결과영상).

Fig. 4. Example of Image Opening (Left: Original image / Right: Result image).

여기서 D_{input} 은 입력으로 2절에서 구한 차영상이고, T 는 기준 운동량으로 제거 가능한 운동량의 최소값이다. $D_{threshold}$ 는 문턱치 함수의 출력 값으로서, D_{input} 이 설정된 문턱치값 T 보다 크다면 1의 값을 출력한다.

이진화된 이미지에서도 문턱치값 T 보다 높은 값을 가진 잡음이 발생하는데, 이는 형태학적 영상처리(Morphology Image Process)로 제거 가능하다. 이 중 열기 방식은 설정한 구조체를 포함할 수 있는 최대 영역을 추출한다(그림 3). 그림 4와 같이 구조체보다 작은 부분은 제거하였으며, 사물의 튀어나온 부분 또한 제거되었다.

주로 노이즈 제거 및 윤곽을 부드럽게 만드는데 사용되며, 수식으로는 식 (14)과 같이 표현한다.

$$A \circ B = (A \ominus B) \oplus B$$

$$\text{where } A \ominus B = \{z | (B)_z \subseteq A\} \quad (14)$$

$$A \oplus B = \{z | [(B)_z \cap A] \subseteq A\}$$

여기에서 z 는 구조체 중앙점을 뜻하며, A 는 해당 물체, B 는 구조체를 뜻한다.

이렇게 2, 3절의 과정을 걸치면 그림 5의 결과를 얻을 수 있다. 제일 왼쪽의 그림은 원본이미지 $I(k+1)$ 이며, 가운데는 이미지 $I(k)$ 를 영상정합 후 $I(k+1)$ 과의 차영상 이미지이다. 흰색에 가까울수록 오류데이터가 큰 것을 말해주며, 운동이 존재함을 뜻한다. 마지막 그림은 문턱치 함수와 열기 영상처리 후 검출결과를 나타낸다. 흰색영역이 최종적으로 검출한 운동영역이다.

4. 계층구조(Hierarchical structure)

이미지 영상정합은 모든 픽셀을 계산하는 것이므로, 계산량이 많다. 이를 줄이기 위해, 영상 피라미드 구조를 이

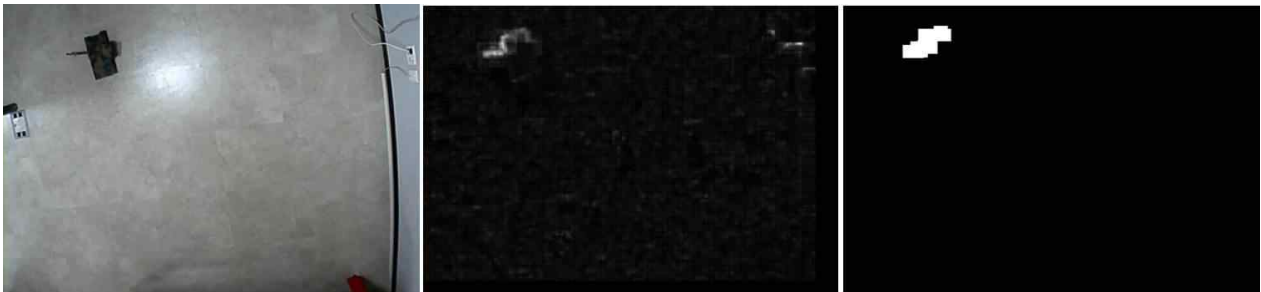


그림 5. 물체 검출 과정 (왼쪽: 원본영상, 가운데: 영상정합 후 차영상, 오른쪽: 영상처리 후 물체 검출 결과).

Fig. 5. Moving object detection (left: original image, center: difference image after image registration, right: detection result after image process).

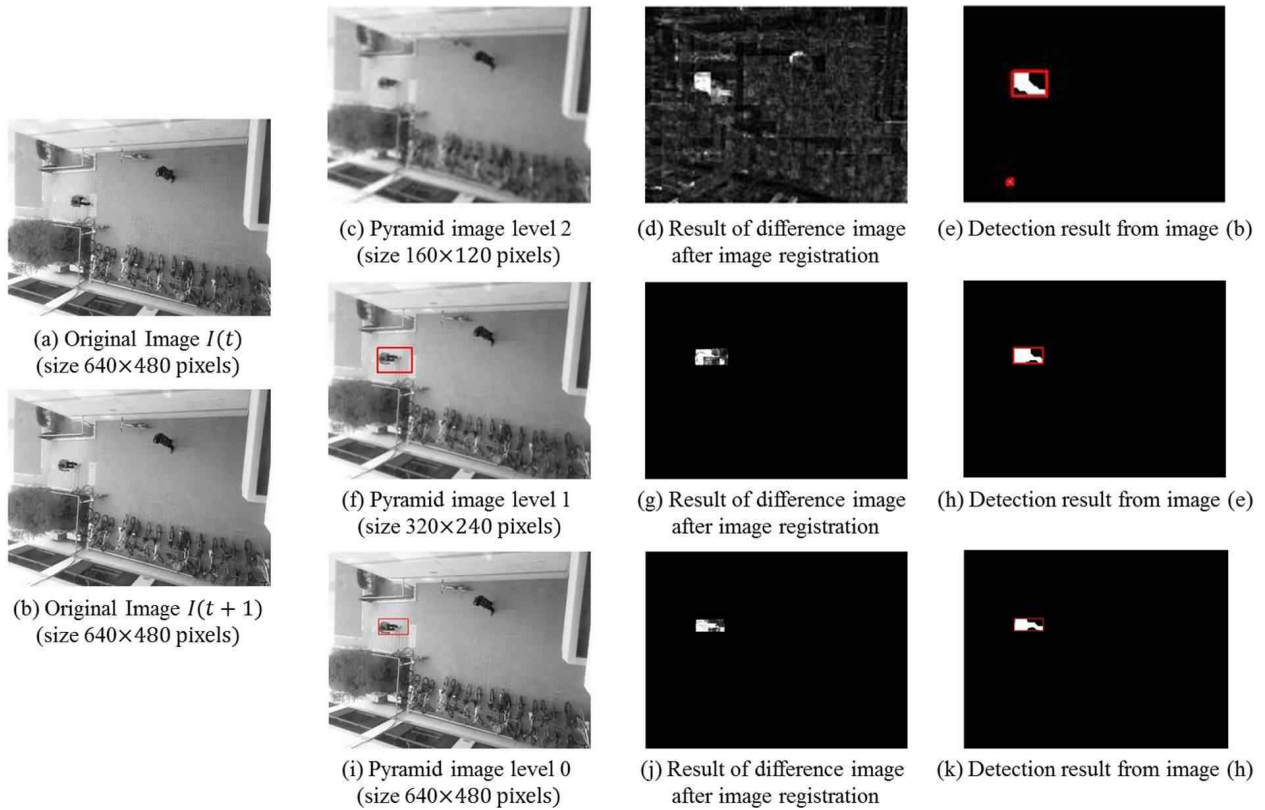


그림 6. 영상 피라미드 구조를 이용한 MTI 시스템의 과정.
 Fig. 6. Process of MTI system using the Image Pyramid Structure.



그림 7. MTI 시스템 시뮬레이션 결과.
 Fig. 7. Simulation result for MTI system.

용하여 필요한 영역만 추출한다.

영상피라미드는 단계를 거칠 때마다 영상해상도가 1/4배씩 줄어든다. 낮은 해상도에서 영상정합은 대략적인 운동영역을 적은 계산량으로 추출한다. 해당영역만 다음 단계의 고해상도 영상에서 영상정합을 하며, 이 과정을 여러 단계로 걸쳐 정밀한 운동 물체 검출을 진행한다.

단계가 진행되면서 정밀한 검출이 가능한 이유는 구조체 크기가 상대적으로 변하기 때문이다. 열기 처리 사용 시 초기설정으로 구조체 면적이 고정되지만, 영상 피라미드를 단계를 걸치면 영상해상도가 1/4배로 줄어드는데, 상대적으로 구조체 면적이 커지는 것을 알 수 있다.

그림 6은 영상피라미드를 적용한 MTI 과정을 나타낸 것이다. 그림 6(a), (b)는 연속된 이미지 원본이다. 알고리즘 순서는 알파벳 순서대로 진행되었다. 두 번째 열의 그림

6(c), (f), (i)는 그림 6(b)의 피라미드 이미지로서 단계가 높을수록 해상도가 낮다. 세 번째 열의 그림 6(d), (g), (j)는 각 단계에서 영상정합 후 차영상이다. 이 차영상을 이용해 영상처리 알고리즘을 적용하면, 제일 오른쪽 그림 6(c), (d), (j)와 같이 운동영역을 찾을 수 있으며, 해당영역만 다음 단계에서 영상정합하여 계산량을 줄였다.

III. 실험 / 시뮬레이션

실험에 사용한 영상인 그림 7은 조도가 거의 일정하고, 카메라와 물체 전부 운동한다. 그림 중간 왼쪽에 한 사람은 제자리에 서있는 것을 제외하면, 나머지 사람들은 운동 중인 상황에서 결과를 도출하였다. 카메라 운동은 물체와 상관없이 움직이고 있으며, 배경의 움직임으로 확인 가능하다.

표 1. 시뮬레이션 조건 / 연산 자원.

Table 1. Simulation condition / computing resource.

Image size	640×480 pixels
Simulation time	About 1 sec/frame
Block size	20×20 pixels
Window size	5×5 pixels
Threshold value	0.5
Opening structure size	10pixels (radius)
Coding program	MATLAB
Processor	Intel Core i5-2400(3.10GHz)

이미지에서 사각형 박스로 표시된 부분이 운동물체 검출 결과이며, 정지해 있는 사람을 제외하고 다른 사람의 운동을 탐지하였다. 알고리즘 구현에 사용된 시스템 자원은 표 1과 같다.

IV. 결론 (CONCLUSION)

본 연구에서는 소형무인항공기에서 운영 가능한 다수 이동표적표시 기법을 소개하였다. 다수의 이동표적의 탐지가 가능하며, 물체 추적 알고리즘과 추가탐지/손실을 관리하는 시스템을 추가적으로 구축할 수 있다. 또한 조도가 변하면 물체 검출의 정확성이 떨어지므로 조도 균일화에 대해 현재 추가적으로 연구 중에 있으며[19], 이를 통합하면 더욱 작은 픽셀의 변화도 정밀하게 찾아낼 수 있을 것으로 기대된다.

REFERENCES

- [1] http://www.avinc.com/uas/small_uas/raven
- [2] J. R. Bergen, P. Anandan, K. J. Hanna, and R. Hingorani, "Hierarchical model-based motion estimation," *Computer Vision - ECCV'92*, Springer Berlin Heidelberg, pp. 237-252, 1992.
- [3] C. A. Glasbey, and K. V. Mardia, "A review of image-warping methods," *Journal of Applied Statistics*, vol. 25, no. 2, pp. 155-171, 1998.
- [4] S. G. Yun, S. E. Kang, and S. Ko, "A survey on moving target indication techniques for small UAVs : parametric approach," *Journal of the Korean Society for Aeronautical and Space Sciences*, vol. 42, no. 7, pp. 576-585, July 2014.
- [5] A. Goshtasby, and J. Le Moign, *Image Registration : Principles, Tools and Methods*, London, Springer, 2012.
- [6] Y. J. Kim and D. H. Kim, "Smart phone based image processing methods for motion detection of a moving object via a network camera," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, vol. 19, no. 1, pp. 65-71, Feb. 2013.
- [7] M. Irani and P. Anandan, "A unified approach to moving object detection 2d and 3d scenes," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 20, no. 6, pp. 577-589, 1988.
- [8] P. J. Burt and E. H. Adelson, "The laplacian pyramid as a compact image code," *IEEE Transaction on Communication*, vol. COM-31, no. 4, pp. 532-540, 1983.
- [9] S. Hongli, and B. Hu, "Image registration using a new scheme of wavelet decomposition," *Proc. of Instrumentation and Measurement Technology Conference, IEEE*, pp. 235-239, 2008.
- [10] P. J. Burt, J. R. Bergen, R. Hingorani, R. Kolczynski, W. A. Lee, A. Leung, and H. Shvayster, "Object tracking with a moving camera," *Proc. of Workshop on Visual Motion, IEEE*, pp. 2-12, Mar. 1989.
- [11] G. Salgian, J. Bergen, S. Samarasekera, and R. Kumar, "Moving target indication from a moving camera in the presence of strong parallax," *Proc. of the 25th Army Science Conference*, Orlando, Florida, USA, 2006.
- [12] C. Yuan, G. Medioni, J. Kang, and I. Cohen, "Detecting motion regions in the presence of a strong parallax from a moving camera by multiview geometric constraints," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, pp. 1627-1641, Sep. 2007.
- [13] R. Jones, D. M. Booth, and N. J. Redding, "Video moving target indication in the analysts' detection support system," *Defence Science and Technology Organisation Edinburgh (Australia) Intelligence Surveillance and Reconnaissance DIV*, No. DSTO-RR-0306, 2006.
- [14] L. M. Kaplan and N. M. Nasrabadi, "Block Wiener-based image registration for moving target indication," *Image and Vision Computing*, vol. 27, no. 6, pp. 694-703, 2009.
- [15] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, *Digital Image Processing*, 3rd Ed., Pearson Prentice Hall, New Jersey, pp. 50-52, 2009.
- [16] N. Nasrabadi, M. Tates, and H. Kwon, "Change detection methods for identification of mines in synthetic aperture radar imagery," *Journal of Applied Remote Sensing*, vol. 1, no. 1, 2007.
- [17] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, *Digital Image Processing*, 3rd Ed., Pearson Prentice Hall, New Jersey, pp. 867-871, 2009.
- [18] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, *Digital Image Processing*, 3rd Ed., Pearson Prentice Hall, New Jersey, pp. 743-753, 2009.
- [19] S. G. Yun, S. Lee, and S. Ko, "A moving target indication algorithm adaptive to illuminance variation using the histogram matching," *2014 Asia-Pacific International Symposium on Aerospace Technology*, Sep. 2014, Shanghai, China.



윤승규

2013년 한국항공대학교 항공우주공학
심화(공학사). 2013년~현재 동 대학원
항공우주 및 기계공학과 석사과정. 관
심분야는 영상처리, 신호처리, 동역학
및 제어.



강승은

2012년 한국항공대학교 항공우주공학
과(학사). 2014년 동 대학원 항공우주
및 기계공학과(석사). 2014년~현재 동
대학원 박사과정. 관심분야는 무인항
공기 협동기동, 시스템식별, 영상처리.



고상호

한국항공대 항공기계공학사. KAIST 항
공우주공학(석사). 미국 University of
California, San Diego 기계항공공학과
(공학박사). 호주 University of
Melbourne 전기전자공학과 Research
Fellow 재직. 2008년~현재 한국항공대
항공우주및기계공학과 부교수로 재직 중. 관심분야는 시스
템 식별, 시스템 고장진단 및 손상예지 및 항공우주 시스템
제어.