

## 技術論文

J. of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences 42(7), 576-585(2014)

DOI:<http://dx.doi.org/10.5139/JKSAS.2014.42.7.576>

## 소형 무인항공기용 이동표적 표시기법에 대한기술 동향 분석 : 매개변수방식

윤승규, 강승은, 고상호\*

## A Survey on Moving Target Indication Techniques for Small UAVs : Parametric Approach

Seung Gyu Yun, Seung Eun Kang and Sang Ho Ko\*

Department of Aerospace and Mechanical Engineering, Korea Aerospace University

### ABSTRACT

In this paper, we survey the Moving Target Indication(MTI) techniques for small UAVs. MTI consists of image alignment phase and frame differencing correction phase, and image alignment has two ways of parametric approach which is mainly focused in this paper and non-parametric approach. Since small UAVs are operated in the low altitude, the parallax is considerable and the epipolar geometry is applied to compensate the parallax. The related works and future works are presented.

### 초 록

본 논문에서는 소형무인항공기용 이동표적 표시기법(MTI, Moving Target Indication)에 대한 기술 동향분석을 하였다. MTI는 크게 이미지 정렬과 차영상 오류보정 단계로 구성되는데 이중 이미지 정렬 기법에는 매개변수방식과 비매개변수방식이 있으며 본 논문에서는 매개변수방식을 이용한 이동표적 표시기법에 초점을 맞췄다. 소형무인항공기의 경우, 저고도 운용에 의한 시차문제가 발생하는데 이를 보정하기 위해서 등극기하학이 사용된다. MTI의 성능을 향상시키기 위한 관련기법들도 살펴보았으며 향후 발전방향을 제시하였다.

**Key Words** : Moving Target Indication(이동표적 표시), Small UAVs(소형무인항공기), Image Sectors(영상센서)

### 1. 서 론

최근 무인항공기의 수요는 꾸준히 증가하고 있으며 특히 소형무인항공기에 대한 관심은 크게 증가하고 있다. 무인항공기 개발의 선두국가인 미국과 이스라엘에서는 일찍이 소형무인항공기를 전력으로 사용해왔으며, 미국에서는 최근에도 소

형무인항공기인 RQ-11 Raven을 개발하여 실전 배치하였다. 특히 Raven에는 영상정보로부터 이동표적을 발견하면 화면에 표시하여 사용자에게 알리는 이동표적표시(Moving Target Indication, MTI)시스템이 탑재되었다[1]. Fig. 1은 Raven을 운용하는 모습이며 다중 이동표적이 화면에 표시된 것을 볼 수 있다.

† Received: October 8, 2013 Accepted: June 19, 2014

\* Corresponding author, E-mail : sanghoko@kau.ac.kr

<http://journal.ksas.or.kr/>

pISSN 1225-1348 / eISSN 2287-6871



Fig. 1. MTI system of RQ-11 Raven[2]

MTI의 개념은 레이더신호처리 분야에서 유래하였는데 데이터로부터 변화를 감지하여 이동한 물체를 찾는 기술을 말한다[3]. Raven에 적용된 MTI는 레이더 대신 영상센서를 사용한 MTI이며, 이전·현재 이미지 프레임(image frame)들을 비교하여 이동표적을 찾는 방식이다. Fig. 2는 영상 MTI에 사용된 이미지 프레임과 그 결과물이다. (a)는 이전 순간의 이미지이며 (b)는 현재의 이미지이다. (a)와 (b)에서 육안으로 이동물체를 찾아내기는 쉽지 않은데 최종결과물인 (d)에는 두 개의 이동물체가 표시되어있다. 이는 MTI기술의 유용성을 보여주는 일면이다. MTI는 다음과 같은 과정으로 이루어진다.

- ① (a)와 (b)의 대부분의 영역을 차지하는 배경을 기준으로 하여 카메라의 움직임에 대해 추정함
- ② 시점을 동일시키기 위해 (b)를 (a)의 시점으로 워핑(warping)하여 (c)의 이미지를 얻음
- ③ (a)와 (c)의 픽셀단위의 차이를 계산하여 차영상(difference image) (d)를 얻음
- ④ (d)에서 잘못된 부분을 제거하고 이동표적을 표시하여 사용자에게 알림

위의 방법은 카메라의 움직임을 먼저 구하여 이를 워핑에 이용하는 매개변수 방법이다. 이 외에도 카메라의 움직임을 구하지 않고 이전·현재 이미지 간의 관계를 일반적인 변환함수로 모델링하는 비매개변수 방법이 있는데[4], 본 논문에서

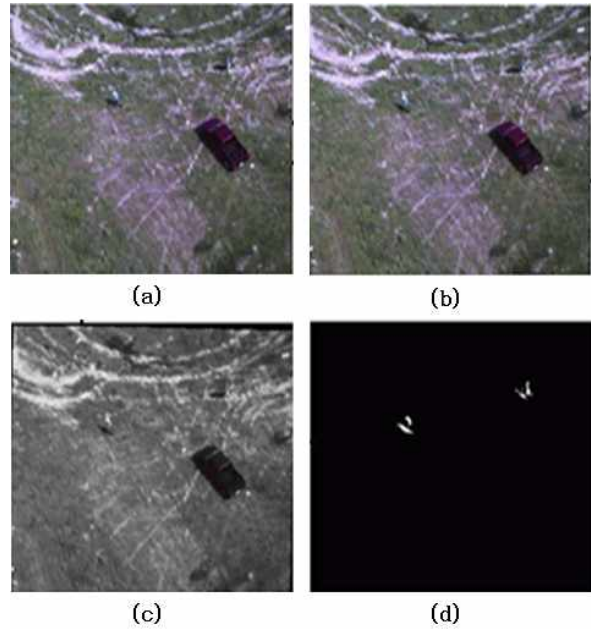


Fig. 2. (a) Image at time  $t-1$ , (b) Image at time  $t$ , (c) Warping of the image (a), (d) Difference image [4]

는 매개변수방법에만 초점을 맞췄다.

MTI라는 용어는 영상처리 분야의 몇몇 연구 [5-7]에서 다루어졌으나 Raven으로 인해 부각되기 전에는 영상처리 분야에서 널리 사용되는 단어는 아니었다. 하지만 사용된 용어는 다르더라도 MTI의 개념과 부합하는 기법들이 영상기반의 물체추적분야에서 연구되어왔다.

이러한 배경을 바탕으로 본 연구에서는 소형 무인항공기를 위한 MTI의 기술동향을 분석하였으며, 특히 MTI의 관점에서 영상기반 물체추적 기술을 재조명하여 살펴볼 것이다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 본론은 1~4절로 구성되며, 1절에서 MTI의 개요, 2절에서 이미지 정렬(image alignment) 기법, 3절에서 차영상의 오류 보정 기법 그리고 4절에서 MTI에 적용된 관련 기법을 대해 다루었다. 마지막으로 결론에서 MTI의 향후발전 방향을 제시하였다.

## II. 본 론

### 2.1 MTI의 개요

MTI란 데이터로부터 변화를 감지하여 이동표적을 검출하는 필터(또는 프로세스, 시스템)를 말한다. 사용하는 데이터의 형태에 따라 레이더 MTI 또는 영상 MTI라고 한다. 레이더 MTI에서 파생된 SAR(Synthetic Aperture Radar) MTI는

레이더 데이터를 사용하지만 영상으로 재구성한 후 분석하기 때문에 일종의 영상 MTI로 볼 수 있다. SAR MTI분야에서는 비매개변수방식 이미지 정렬에 대한 연구가 주를 이루고 있어, 본 논문에서는 다루지 않을 것이다.

영상처리 분야에서 MTI의 개념은 직접적으로 드러나기 보다는 물체추적기술에 융화되어있는 형태이다. 따라서, MTI를 크게 변화검출기술과 물체추적 기술로 나누어 개략적으로 살펴보고자 한다. 영상기반 물체추적기술의 종합적인 연구동향에 대해서는 참고문헌[8]을 참고하길 바란다.

### 2.1.1 변화검출기술

변화검출기술은 비교사학습의 일환으로 변화하는 데이터를 검출한다. 목표물에 대한 사전정보 없이 이미지 프레임 간의 변화로부터 이동목표물을 검출하는 방식이다. 변화에만 초점을 맞추기 때문에 최소 두 프레임, 즉 이전 순간의 프레임과 현재 프레임이 필요하다.

변화검출기술은 카메라의 움직임은 고려하는 경우와 고려하지 않는 경우로 나눌 수 있다.

카메라가 정지해 있는 경우, 픽셀(pixel) 데이터는 움직인 물체에 해당하는 부분만 바뀔 것이므로 특별한 가공없이 이전 이미지와 현재 이미지의 차영상을 구하면 이동표적을 찾을 수 있다.

카메라가 움직이는 경우, 배경에 대응되는 픽셀의 정보도 변하므로 카메라 및 배경의 상대적 움직임을 해석하여 이미지를 정렬해주는 과정이 필요하다. 이미지 정렬을 한 다음에는 차영상을 구하는데 차영상에는 시차(parallax)로 인한 잘못된 정보들이 포함될 수 있어 이 부분을 제거해주는 과정이 추가적으로 필요하다. 보정이 끝난 차영상을 연속으로 나열하면 이동물체의 움직임이 표시된다. 이후 검출된 이동물체의 정보를 이용하여, 다음 프레임의 특징점 매칭 등으로 물체 추적을 구현할 수 있다.

### 2.1.2 물체추적기술

물체추적기술은 사전정보를 이용한 특징점 매칭 기술이다. 사전에 주어진 목표물의 정보와 현재 이미지 정보를 비교하여 일치도가 높은 지점을 찾는 방식이다. 즉, MTI에서는 검출된 이동물체를 사전정보로 사용하여 현재 프레임에 유사한 물체를 추적한다.

주어진 사전정보를 기반으로 비교작업을 수행하는 것이기 때문에 한 번에 한 프레임의 이미지만 사용한다. 또한 영상센서의 움직임이나 목표물의 움직임에 대해 영향을 덜 받는 편이다. 시차로 인해 발생한 성능저하를 막기 위한 방법으

로 베이시안 네트워크(Bayesian network)를 이용하거나[9] 기계학습(machine learning)분야의 SVM (Support Vector Machine)를 이용하여[10] 목표물 관측정보를 분석하여 사전정보에 반영하도록 하고 있다.

패턴인식방식의 기법들은 표적의 운동상태와 상관없이 추적이 가능하기 때문에 MTI의 성능을 향상시키기 위한 방법으로 고려할 수 있다. 간단한 예로, 물체가 이동하다가 정지한 상황을 생각해볼 수 있다. 가장 기초적인 형태의 MTI는 물체가 이동한 경우에만 표시를 하고, 물체가 정지한 이후에는 이미지 프레임 간의 변화를 발견하지 못하여 목표물을 검출하지 못한다. 이를 보완하기 위하여 움직이는 물체가 감지되었을 경우 관측정보를 분석하여 다음 순간을 위한 사전정보를 축적하는 방식을 사용할 수 있다. 추가적으로 목표물의 상태량까지 측정하는 상태량 추정(state estimation) 과정을 첨가할 수 있다.

Figure 3은 영상기반 정찰 및 감시시스템을 기능별로 도식화한 것이다. 관측데이터가 가공되어 사용자 인터페이스에 이르기까지 다양한 경로가 있으며 각 경로마다 정찰 및 감시시스템의 한 유형이 될 수 있다.

Figure 4는 MTI의 개략도이며 본 논문에서 다룬 내용들을 요약한 그림이다. 소형무인항공기의 경우 이미지 정렬 기법과 시차보정이 중요한 문제이므로 2.2절과 2.3절에서 각각을 다루었다.

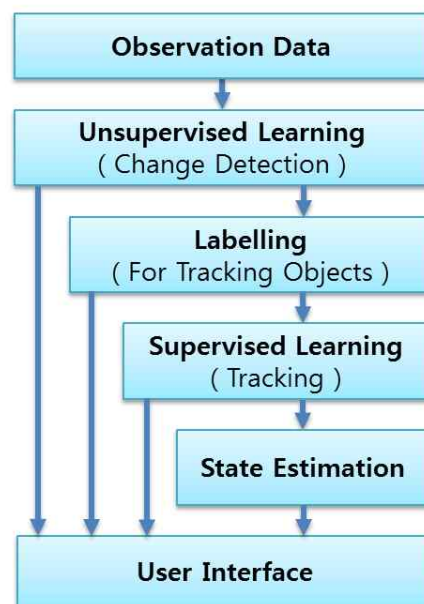


Fig. 3. Functional block diagram of video based reconnaissance/surveillance system

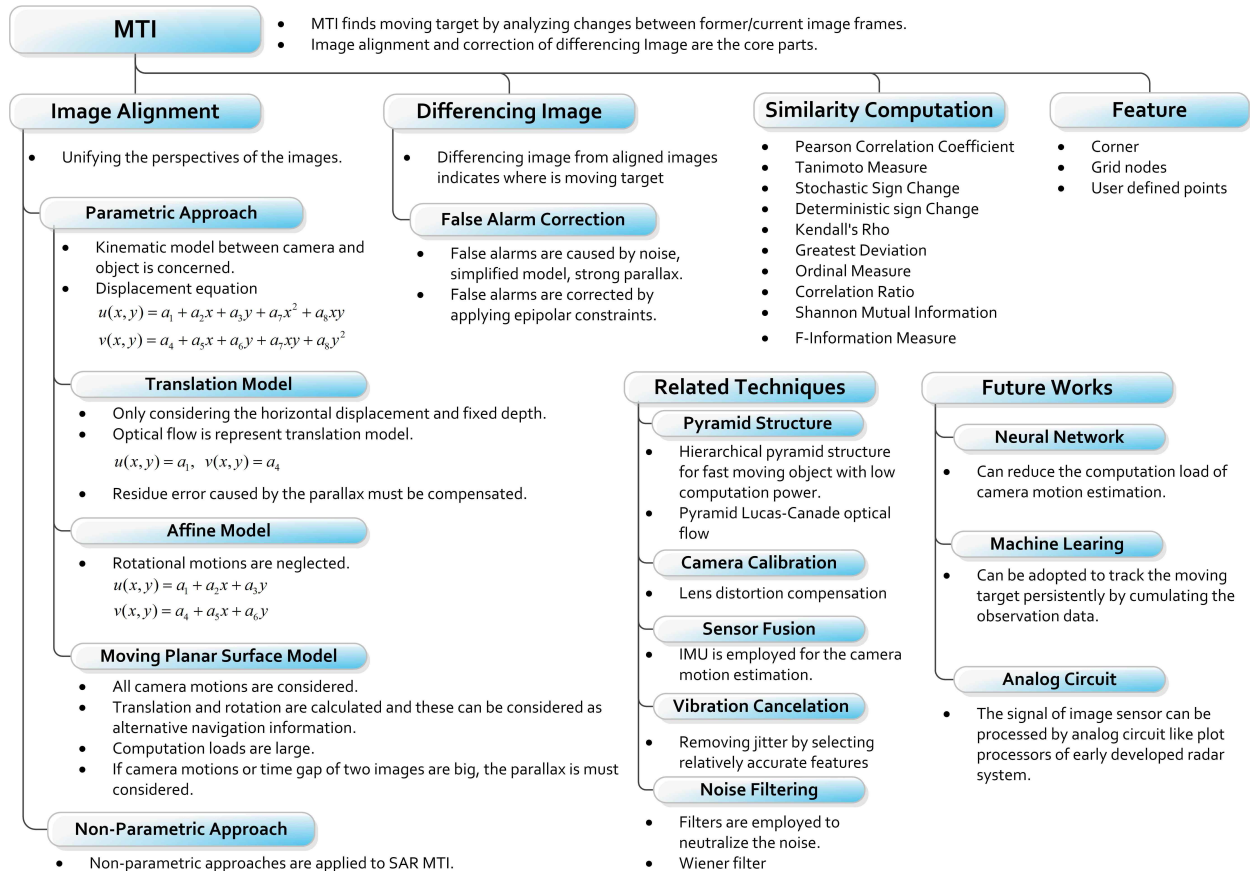


Fig. 4. Schematic diagram of MTI

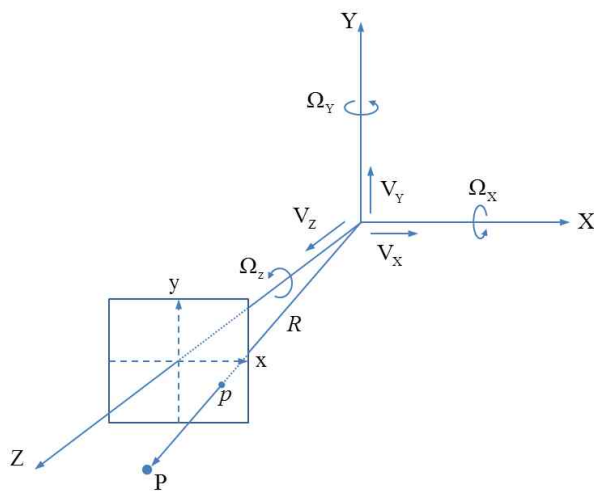


Fig. 5. Spatial coordinate system

## 2.2 이미지 정렬 기법 연구 동향

이미지를 정렬하기 위해서는 먼저 카메라의 움직임을 구해야한다. 구체적 기술을 위하여 참고문헌[11]의 내용을 소개하고자 한다. 카메라·물체·이미지에 대한 좌표계를 Fig. 5에 나타내었다.  $(X, Y, Z)$ 는 카메라의 중심을 원점으로 하는 좌표

계이다. 이미지 평면은  $(x, y)$ 좌표계로 나타내며  $(X, Y, Z) = (0, 0, 1)$ 에서  $Z$ 축과 직교한다. 물체 표면의 어떤 한 점을  $P$ 라고 하였을 때 카메라 중심에서  $P$ 에 이르는 벡터를  $R$ 이라 한다.  $P$ 가 이미지 평면에 투영된 지점을  $p$ 라고 하며 이는  $R$ 이 이미지 평면과 교차하는 점이다. 또한, 카메라의 각속도를  $\Omega \equiv (\Omega_x, \Omega_y, \Omega_z)$ 로, 카메라에 대한  $P$ 의 속도를  $V \equiv (V_x, V_y, V_z)$ 로 나타내었다. 그러면 카메라와  $P(X, Y, Z)$ 의 움직임에 대해서 다음과 같은 관계식이 성립한다.

$$\begin{aligned} \dot{X} &= -V_x - \Omega_y Z + \Omega_z Y, \\ \dot{Y} &= -V_y - \Omega_z X + \Omega_x Z, \\ \dot{Z} &= -V_z - \Omega_x Y + \Omega_y X. \end{aligned} \tag{1}$$

또한  $p(x, y)$ 에 대해서는 다음과 같은 관계식이 성립한다.

$$x = X/Z, y = Y/Z \tag{2}$$

그러면 (1), (2)의 관계식으로부터  $p$ 의 속도  $(u, v)$ 는 다음과 같이 유도된다.

$$u = x \frac{V_Z}{Z} - \frac{V_X}{Z} + xy\Omega_X - (1+x^2)\Omega_Y + y\Omega_Z,$$

$$v = y \frac{V_Z}{Z} - \frac{V_Y}{Z} + (1+y^2)\Omega_X - xy\Omega_Y - x\Omega_Z. \quad (3)$$

(3)식을 보면 평행이동과 회전에 대한 6-자유도가 모두 포함되어있는 것을 알 수 있다. 이것은 이미지의 여러 점들로부터 카메라의 움직임을 추정할 수 있다는 것을 나타낸다. 또한 (3)식은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$u(x,y) = a_1 + a_2x + a_3y + a_7x^2 + a_8xy$$

$$v(x,y) = a_4 + a_5x + a_6y + a_7xy + a_8y^2 \quad (4)$$

현재 이미지와 이전 이미지를 비교하여 각 위치의 점이 어디로 이동하였는지 찾아내면, 즉  $u$ 와  $v$ 를 구하면,  $a_1, \dots, a_8$ 를 계산함으로써 카메라의 움직임에 대한 파라미터( $\Omega, V$ )를 추정할 수 있다. 이때 배경에 속한 점들을 사용하면 배경에 대한 카메라의 움직임을 구할 수 있으며, 움직이는 물체에 해당하는 점들을 사용하면 물체에 대한 카메라의 상대운동을 구할 수 있다.

여기에서  $u$ 와  $v$ 를 어떤 방법으로 구할 것인가에 대한 문제가 발생하며 이로부터 어떤 종류의 특징점을 사용하는가에 대한 문제가 파생한다. 또한 (4)식은 상황에 따라 간소화 될 수 있다.

먼저 간소화 모델에 대해서 살펴보고 특징점의 종류 및 특징점의 이동량인 ( $u, v$ )를 계산하는 방법에 대해서 살펴볼 것이다.

### 2.2.1 간소화 모델

특징점 선정 후 그 이동량인 ( $u, v$ )를 구하고 나면 (4)식을 이용하여  $a_1, \dots, a_8$ 를 추정하는데 비선형성 때문에 계산상의 어려움이 크다. 상황에 따라 적절한 가정을 함으로써 쉽게 계산을 하고 그 오차를 보정해주는 방식으로 연구들이 진행되어왔다. 크게 분류하면 다음과 같다[12].

#### ① 평행이동(translation) 모델

$V_X, V_Y, Z \neq 0$ 이고 나머지는 0에 가깝다고 가정하여  $a_1, a_2$ 만을 계산한다. 이런 방식으로 계산하는 기법의 대표적 예가 광류(optical flow)이다. 광류는 말 그대로 빛의 흐름이라는 물리적 의미를 가진다. 광류는 그 자체로도 독자적인 분야를 이루고 있지만 수학적으로는 (4)식의 간소화 형태에 근간하고 있다. 이미지 정렬이 된 두 이미지 사이에서 광류를 구할 경우 그 물리적 의미는 움직인 물체의 속도 벡터가 된다.

광류의 종류에는 크게 두 가지가 있는데 모든

픽셀에 대하여 광류를 계산하는 것을 밀집광류(dense optical flow)라 하며 그 외 특징점을 사용하는 경우를 희소광류(sparse optical flow)라고 한다. 밀집광류계산의 경우 결과는 정밀하나 계산 시간이 매우 오래 걸리기 때문에 천체관측영상의 해석과 같은 학문적인 용도로 사용되며 실시간 계산을 요구하는 MTI에는 적합하지 않다. 희소광류는 계산량이 적어 실시간 연산이 가능하며 계산 방법으로는 피라미드 기법[13]과 루카스-카나데 방법(Lucas-Kanade)[14]을 융합한 피라미드 루카스-카나데 방법이 가장 많이 사용되고 있다.

광류를 이용하여 움직인 물체를 찾을 때는 등극(epipolar) 기하학적 조건을 사용한다. 등극기하학적 조건은 시차보정에 사용되는 중요한 개념이므로 2.3절에서 따로 다룰 것이다.

#### ② 아핀(affine) 모델

$\Omega_X = \Omega_Y \approx 0$ 으로 놓고  $a_1, \dots, a_6$ 를 계산한다. 소형무인항공기가 수평으로 비행하며 지상을 관측할 때 적절한 가정이다. 관측 대상으로부터 거리가 멀어  $1/Z \rightarrow 0$ 인 경우  $a_2 = a_6 = 0$ 이 되며  $a_1 = a_7, a_4 = a_8$ 의 관계가 성립하여 계산을 더욱 간소화할 수 있다[15]. 이러한 가정은 고고도정찰기에는 적합하나 소형무인항공기의 경우 촬영상에 잘못된 정보가 표시되기도 한다. 이 때 오류는 등극기하학적 조건으로 보정이 가능하다.

#### ③ 이동평면표면(moving planar surface) 모델

간소화 없이 그대로 사용하는 경우이다. 영상 정보로부터 얻은 자세 및 운동상태를 알 수 있기 때문에 위성항법의 대안으로 고려되고 있으며, 이런 방식으로 얻는 항법정보를 특별히 Odometry라 한다. 관계식의 비선형성으로 인해 계산은 복잡하지만, 항법정보까지 획득할 수 있어 소형무인항공기에 적용가능성이 높은 모델이라 할 수 있다. 관측 대상으로부터 거리가 먼 경우 아핀 모델에서처럼 간소화가 가능하다.

### 2.2.2 특징점의 종류

특징점에는 모서리(corner)가 가장 많이 사용되며 이 외에 격자점, 사용자 지정점 등이 있다[16].

#### ① 모서리

이미지에서 변화가 급격한 점을 찾아 특징점으로 사용하는 방식이다. 모서리에 대한 다양한 정의가 있으나 가장 널리 사용되는 정의는 Harris[17]에 의해 제안되었다. 해리스의 정의는 모든 픽셀에 대하여 헤시안행렬(Hessian matrix)을 구하고 이에 대한 고유값(eigenvalue) 두 개가 모두 큰 값을 가지는 점들을 모서리라 정의한다.

모서리를 검출하는 방법에는 KLT검출기[18], SIFT검출기[19] Moravec검출기[20] 등이 있다.

고유값 계산을 하여 판별하기 때문에 이미지 상에서 물체가 회전하여도 같은 모서리를 잘 검출할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 이미지 프레임마다 모서리의 개수가 달라질 수 있기 때문에 이에 대한 추가적인 매칭(matching)알고리즘을 필요로 한다.

② 격자점

이미지를 일정한 간격으로 나누어 각 격자점들을 특징점으로 사용하는 방식이다. 특징점을 찾기 위한 노력이 필요하지 않다는 장점이 있으나 격자를 조금만 작게 해도 계산량이 급증한다는 단점이 있다.

③ 사용자 지정점

MTI는 사용자가 관찰하고자 하는 대상을 직접 지정할 수 있는 기능이 요구되기도 한다. 따라서 사용자 지정점을 특징점으로 삼는 것은 MTI구현에 중요하다. 그러나 사용자가 어떤 점을 선택하더라도 검출이 가능하도록 강인한 알고리즘이 요구된다.

2.2.3 특징점 이동량 계산 방법

이전 이미지 프레임의 특징점 근처에 지름  $n$  픽셀의 원 또는  $n \times n$ 크기의 윈도우를 만들고 이 윈도우내부의 정보를 기준으로 한다. 그 다음 현재 이미지 프레임에서 윈도우를 이동시키며 가장 일치도(similarity)가 높은 위치를 찾는다.

일치도의 계산 방법에는 Pearson Correlation Coefficient, Tanimoto Measure, Stochastic Sign Change, Deterministic sign Change, Spearson's Rho, Kendall's Rho, Greatest Deviation, Ordinal Measure, Correlation Ratio, Shannon Mutual Information, Renyi Mutual Information, Tsallis Mutual Information, F-Information Measure 등이 있다. 각 방법에 대한 자세한 내용은 참고문헌[21]을 살펴보길 바란다.

일치도에 대한 다양한 지수들 중 가장 많이 사용되는 것은 Correlation과 관련된 지수들이며, 실제 계산에서는 최소자승법의 형태를 취하는 경우가 많다.

2.3 차영상의 오류 보정 기법

이미지 정렬이 끝나면 정렬된 이미지 간의 차영상을 구하게 되는데 이 차영상에는 종종 잘못된 정보가 함께 표시되기도 한다. 차영상에 오류를 발생시키는 원인으로서는 시차와 노이즈 및 간소화에 의한 오차가 있는데 이 중 지배적인 것은

시차이다.

노이즈에 의한 오차의 영향을 없애기 위해서는 적절한 문턱치(threshold)를 정하여 그 이하의 정보는 절삭하면 된다[22]. 문턱치의 효용성을 높이기 위해 모폴로지(morphology)연산이 추가되기도 한다[16]. 반면 시차에 의한 영향을 제거하기 위해서는 좀더 복잡한 절차가 필요하다. 간소화에 의한 오차는 시차가 작은 경우 노이즈 영향 제거와 같은 방법을 사용한다.

시차는 3차원의 물체를 2차원의 이미지로 투영하는 과정에서 깊이정보가 상실되기 때문에 필연적으로 발생한다. 이로 인해 이전 이미지에 없던 정보들이 현재 이미지 전반에 나타날 수 있다. 그렇기 때문에 적절한 보정이 없으면 차영상의 전반에 걸쳐 잘못된 정보가 표시된다. 특히 이전·현재 이미지간의 시간간격이 크거나 카메라의 이동속도가 빠른 경우, 그리고 관측대상과의 거리가 가까운 경우에는 이동 표적을 구분할 수 없을 정도로 오류가 심하여 시차에 대한 보정이 필요하다.

시차의 종류에는 두 가지가 있는데 하나는 카메라의 움직임에 의해 생기는 평면 움직임 시차(planar motion parallax)이고, 하나는 물체의 움직임을 배경의 움직임으로 인식하였을 때 생기는 희소 시차(sparse parallax)이다. Fig. 6은 평면 움

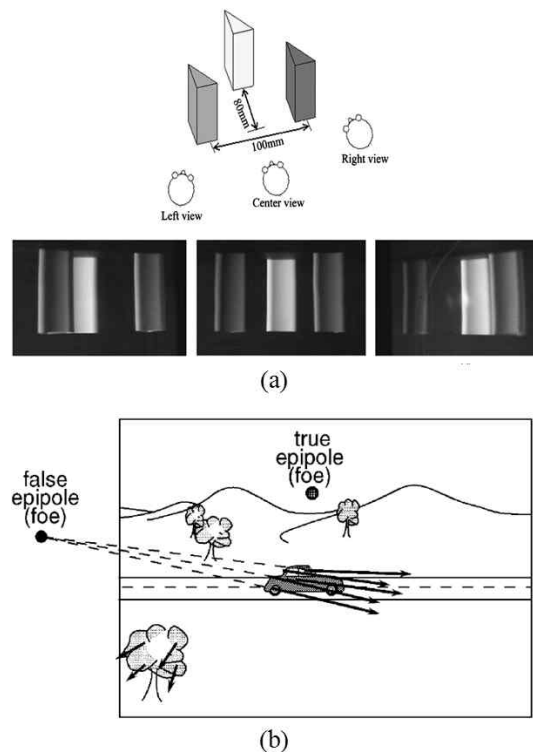


Fig. 6. Planar motion/sparse parallax[23,15]

직입 시차와 회소 시차의 예시이다. (a)에서 3개의 물체는 카메라기준에 대해서 깊이차이를 두고 나열되어있다. 각 지점에 따라 흰색 물체의 위치가 다르게 표시되는데 이것이 평면 움직임 시차이다. (b)는 시차 보정을 잘못된 것을 나타낸 그림인데, 이런 현상은 배경에 분포한 특징점보다 물체에 분포한 특징점이 많을 경우 발생한다.

다음 소절들에서 시차 보정의 이론적 바탕이 되는 등극기하조건(epipolar geometry constraint)과 시차 보정기법에 대해 설명하였다.

### 2.3.1 등극기하조건

등극기하조건을 설명하기 위해 Fig. 7에 대상 물체 및 카메라의 구도를 나타내었다. 점  $O_1$ ,  $O_2$ 는 카메라의 위치이고, 평면  $R_1$ ,  $R_2$ 는 카메라에 투영되는 이미지 평면이다. 촬영하고자하는 물체의 어느 한 점을  $X$ 로 표시하였을 때 이 점이 이미지평면들에 투영된 점을 각각  $p_1$ ,  $p_2$ 로 표시하였다. 첫 번째 카메라 입장에서 보면, 깊이 정보를 알 수 없기 때문에  $X$ 의 위치는  $\overline{O_1X}$ 위의 어딘가에 있다고 판단하게 된다.  $\overline{O_1X}$ 위에 있는 점들인  $X$ ,  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$ 에서  $R_2$ 로 투영한 점들은 한 직선위에 있게 되는데 이 직선을 등극선(epipolar line)이라고 한다. 여기에서  $\overline{O_1O_2}$ 를 기준선(base line)이라고 하며 기준선이  $R_1$ ,  $R_2$ 와 만나는 점을  $e_1$ ,  $e_2$ 를 등극점이라고 한다. 카메라의 자세와 위치가 정해져 있다면 이 등극점들은 그 상황의 고유한 특성이 된다. 정지한 물체 상의 임의위치  $X$ 에 대한 등극선들은 그러면 모든 등극선들은 등극점을 지나게 된다. 이를 등극기하조건이라고 한다. 만약 어떤 특징점에 대한 등극선이 등극점을 지나지 않는 경우 이 점을 이동물체라고 판단할 수 있다[24].

### 2.3.2 시차 보정기법

등극기하조건을 사용하여 시차를 보정하기 위

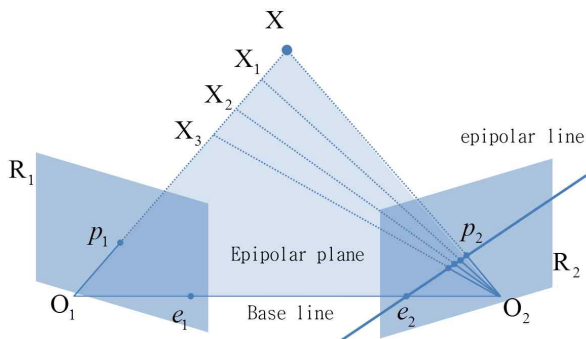


Fig. 7. Epipolar geometry

해서는 먼저  $p_1$ 의 대응점  $p_2$ 를 찾아야한다. 그리고  $O_1$ 에서  $O_2$ 로의 카메라 움직임을 계산한다. 축회전에 대한 변환행렬을  $R$ , 평행이동에 대한 변환행렬을  $T$ 라고 하면  $p_1$ 와  $p_2$ 사이에는 다음과 같은 관계식이 성립한다.

$$p_2 = H p_1, \quad H = \begin{bmatrix} R & T \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

그리고 기본행렬(Fundamental matrix)  $F$ 를 다음과 같이 구한다[25].

$$F = [e_2]_{\times} H \quad (6)$$

여기에서  $[e_2]_{\times}$ 는  $e_2$ 에 대한 교대행렬(skew-symmetric matrix)이다. 그러면 다음과 같은 식이 성립한다.

$$p_2^T F p_1 = 0 \quad (7)$$

위의 식을 이용하여 모든 특징점들에 대해서  $F$ 를 계산하면 정지한 물체에 해당하는 특징점들은 같은 기본행렬을 가지고 이동물체에 해당하는 특징점들에 대해서는 다른 기본행렬을 가지게 된다.

광류 계산을 하여 이동물체를 찾는 경우 각 특이점에서 등극선의 방향과 일치하는 광류를 가지는 곳은 배경으로, 일치하지 않는 광류를 가지는 곳은 이동물체로 판단한다[5].

아핀모델을 이용하여 이미지 정렬을 한 다음 시차 보정을 할 경우, 차영상에 표시된 점들에 대해서 기본행렬을 계산하고 배경의 기본행렬을 계산하여 비교한다. 그리고 배경의 기본행렬과 일치하는 곳은 제외시킨다. 이러한 작업을 거친 후에도 차영상에 남아있는 부분을 이동물체라 판단한다[25].

한편, 이론적으로는 등극기하조건만을 사용하여도 카메라의 움직임을 추정하고 기초행렬을 구하여 이동물체를 구할 수 있다. 실제로 등극기하조건을 사용하여 Odometry를 추출한 연구[26]도 있었다. 그러나 이러한 방법은 오차에 대한 결과의 민감도가 커서 회소시차가 발생하기 쉽다. 정확도를 높이기 위해서는 많은 수의 특이점을 선택하여야 하며 - 예를 들어 99%의 정확도를 위해 600여개의 대응점이 필요하며[27] - 이로 인해 계산시간이 많이 소요되어 등극기하조건만을 사용하는 방식은 실시간으로 구현하기가 어렵다.

## 2.4 MTI 관련 기법

본 절에서는 MTI의 성능을 개선하는 관련기법들에 대하여 살펴보았다.

① 고속 움직임 검출

고속 움직임이란 이전과 현재의 이미지 프레임 상의 대응점(correspondences) 간의 거리가 먼 경우를 가리킨다. 고속 움직임을 검출하기 위해서는 윈도우를 이미지 프레임 전체에 걸쳐 이동하며 일치도를 계산해야하는데 이렇게 하면 계산량이 많아진다. 이에 대한 해법으로 제시된 것이 피라미드 구조[13]이다.

피라미드 구조는 원본 이미지 파일의 해상도를 순차적으로 1/2씩 낮추어가며 이미지를 생성하여 만들어진다. Fig. 8에 예시 그림을 나타내었다. 이미지들이 생성이 되면 낮은 해상도의 이미지에서부터 높은 해상도의 이미지까지 차례대로 대응점 계산을 한다. 이때 대응점 계산을 하는 윈도우의 이동범위는 전체 이미지가 아닌 근방으로 제한하여 계산량을 줄인다. 이렇게 하면 고속 움직임은 낮은 해상도 이미지에서 검출이 되고 저속 움직임은 높은 해상도 이미지에서 검출이 된다. 피라미드 구조의 이미지를 생성할 때 정보 손실을 최소화하기 위해 가우시안 보간을 먼저 실행한다.

② 카메라 보정(Camera Calibration)

카메라 보정은 현재 사용하고 있는 카메라의 하드웨어적 특성으로 인해 생긴 투영이미지의 왜곡을 바로 잡는 과정이다. 고려하는 하드웨어 특성으로는 초점거리, 투영 평면에서 좌표 중심의 편차, 줌, 렌즈 왜곡 등이 있으며, 카메라 모델은 대표적으로 핀홀 카메라[28], 렌즈 카메라[29]가 있다. Fig. 9은 카메라 보정 데이터와 보정결과이다.

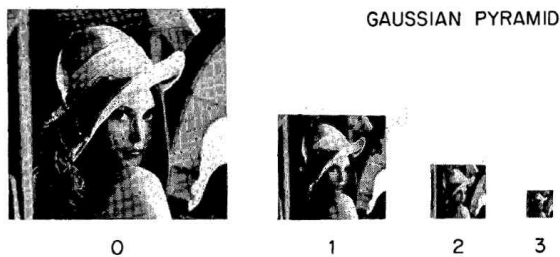


Fig. 8. Gaussian pyramid structure[13]

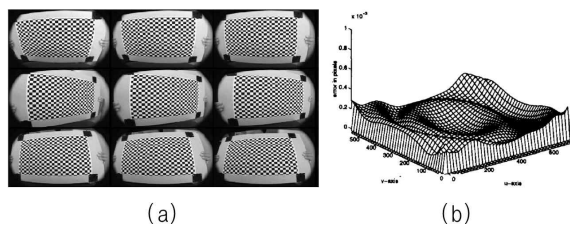


Fig. 9. Camera calibration data and result[28]

③ 센서 융합(sensor fusion)

카메라의 움직임을 추정할 때 자이로센서 같은 관성센서나 GPS의 측정값을 함께 융합하여 움직임 추정에 필요한 계산량을 줄이고 쉽게 이미지 정렬을 하고자한 연구들이 있다[30].

④ 진동 제거

진동의 영향을 줄이기 위한 연구로는 [31]이 있는데, 영상에서 비교적 명확한 특징점을 가려내어 이 점들에 대한 오차를 계산하고 보정하는 방식으로 이루어졌다.

⑤ 노이즈 제거

노이즈의 영향을 없애기 위한 연구들은 주로 필터분야에서 이루어졌다. 참고문헌 [32]에서는 위너필터(wiener filter)를 응용하여 노이즈에 강한 알고리즘을 구현하였다.

III. 결 론

본 논문에서는 소형무인항공기에 사용가능한 MTI의 기법 중 매개변수방법을 사용하는 기법들의 동향을 살펴보았다. MTI에서 가장 중요한 것은 이미지를 정렬하여 배경을 제거하는 것이며, 소형무인항공기의 경우 시차를 무시할 수 없어 이미지 정렬시 시차 보정도 필요하다. 계산량의 제한이 없다면, 이론적으로는 이동물체를 표시하는 것뿐만 아니라 카메라의 이동변위 및 속도도 계산할 수 있다.

소형무인항공기의 경우 영상이 진동과 노이즈의 영향을 많이 받기 때문에 이에 대한 해결책들이 앞으로 연구되어야한다. 이를 위해 고려할 수 있는 방법으로는 적응필터(adaptive filter) 등이 있다.

소형무인항공기용 MTI는 제한된 연산제원을 이용한 실시간 영상처리가 요구되므로 이동표적 검출 성능을 유지하면서 계산량을 줄이는 방향으로 연구가 이루어질 것으로 보인다. 비선형 모델의 식을 빠르게 풀기 위한 방법으로 신경회로망(neural network)이나 MTI알고리즘을 구현한 아날로그 회로가 고려될 수 있다. 아날로그 회로를 이용하는 경우 초기 아날로그 방식 레이더의 Plot Processor와 유사한 방식으로 구현 가능할 것이다. 기능적인 면에서의 보완은 패턴인식기법과 기계학습기법 등을 적용하여 이동목표물에 대한 정보를 자가학습하고 식별할 수 있는 수준까지 발전할 것으로 보인다.



## 후 기

본 연구는 국방과학연구소 산하 생존성기술특화 연구센터의 지원을 받았습니다(NO.UD120019OD).

본 연구의 부저자는 해양수산부 해양시설과 해양교통 전문인력 양성사업(GNSS 부분)의 지원을 받고 있습니다.

## References

- 1) <http://www.army-technology.com/project/rq11=raven>
- 2) [http://www.avinc.com/uas/small\\_uas/raven](http://www.avinc.com/uas/small_uas/raven)
- 3) Morris, G. V., Harkness, L. L., "Airborne pulsed Doppler radar," Vol. 2. Artech House, 1988.
- 4) Glasbey, C. A., Mardia, K. V., "A review of image-warping methods," *Journal of applied statistics*, 25(2), 155-171. 1998.
- 5) Salgian, G., Bergen, J., Samarasekera, S., Kumar, R., "Moving Target Indication from a Moving Camera in the Presence of Strong Parallax," in Proc. of the 25th Army Science Conference, Orlando, FL, 2006.
- 6) Jones, R., Booth, D. M., Redding, N. J., "Video Moving Target Indication in the Analysts' Detection Support System.," No. DSTO-RR-0306. *DEFENCE SCIENCE AND TECHNOLOGY ORGANISATION EDINBURGH (AUSTRALIA) INTELLIGENCE SURVEILLANCE AND RECONNAISSANCE DIV*, 2006.
- 7) Davey, S. J., "Video moving target indication using PMHT." In *Target Tracking: Algorithms and Applications, 2006. The IEE Seminar on (Ref. No. 2006/11359)*, pp. 155-163. IET, 2006.
- 8) Alper, Y., Omar, J., Mubarak, S., "Object Tracking: A Survey," *ACM Computing Surveys, Bol.38, NO.4, Article 13*, 2006.
- 9) Park, S., Aggarwal, J. K., "A hierarchical Bayesian network for event recognition of human actions and interactions," *Multimedia systems*, 10(2), 164-179. 2004.
- 10) Avidan, S., "Support vector tracking. *Pattern Analysis and Machine Intelligence*," *IEEE Transactions on*, 26(8), 1064-1072. 2004.
- 11) Longuet-Higgins, H.C., Prazdnt, K. "The Interpretation of a Moving Retinal Image," *Proc. Royal Soc. London, Series B*, vol.208, pp.385-397, 1980.
- 12) Irani, M., Rousso, B., Peleg, S., "Computing Occluding and Transparent Motions," *Int'l J. Computer Bision*, bol. 12, pp. 5-16, Feb. 1994.
- 13) Burt, P. J., Adelson, E. H., "The Laplacian Pyramid as a Compact Image Code," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-31, no.4, pp. 532-540, 1983.
- 14) Lucas, Bruce D., Kanade., T., "An iterative image registration technique with an application to stereo vision." In *IJCAI*, vol. 81, pp. 674-679. 1981.
- 15) Irani, M., Anandan, P., "A unified approach to moving object detection 2d and 3d scenes," *IEEE transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 20(6):577-589, 1988.
- 16) Bradski, G., Kaehler, A., "Learning OpenCV: Computer vision with the OpenCV library," O'reilly, 2008.
- 17) Harris, C., Stephens, M., "A Combined corner and edge detector," *Proceedings of the 4<sup>th</sup> Alvey Vision Conference*, pp147-151, 1988.
- 18) Shi, J., Tomasi, C., "Good features to track," In *Computer Vision and Pattern Recognition, 1994. Proceedings CVPR'94.*, 1994 IEEE Computer Society Conference on (pp. 593-600). IEEE.
- 19) Lowe, D. G., "Distinctive image features from scale-invariant keypoints," *International journal of computer vision*, 60(2), 91-110. 2004.
- 20) Moravec, H. P., "Visual mapping by a robot rover," In *Proceedings of the 6th international joint conference on Artificial intelligence-Volume 1* (pp. 598-600). Morgan Kaufmann Publishers Inc.. 1979.
- 21) Goshtasby, A. A., "Image registration : principles, tools and methods," London : Springer, 2012.
- 22) Jain, R., Nagel, H., "On the analysis of accumulative difference pictures from image sequences of real world scenes," *IEEE Trans. Patt.Analy. Mach. Intell.* 1, 2, pp 206-214, 1979.
- 23) Baasantseren, G., Do, D. D., Kim, N., Lee, J. H., "Three-dimensional floating image

system using a two-lens system and a stereoscopic display," *Optical Engineering* 46.11 (2007): 114002-114002. 2007.

24) Nelson, R. C., "Qualitative detection of motion by a moving observer," *International Journal of Computer Vision*, 7(1): pp.33-46, 1991.

25) Luong, Q. T., Faugeras, O. D., "The fundamental matrix: Theory, algorithms, and stability analysis," *International Journal of Computer Vision*, 17(1): 43-75, 1996.

26) Nister, D., Naroditsky O., Bergen, J., "Visual odometry for ground vehicle applications," *Journal of Field Robotics*, 23(1), 2006.

27) Hartley, R., Zisserman, A., "Multiple view geometry in computer vision," Vol. 2. Cambridge. 2000.

28) Heikkila, J., Silven, O., "A four-step camera calibration procedure with implicit image correction," *Proceedings of the 1997*

*Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*(P.1106), 1997.

29) Brown, D. C., "Close-range camera calibration," *Photogrammetric Engineering* 37 : 855-866. 1971.

30) Yang, Q., Wang, C., Gao, Y., Qu, H., Chang, E. Y., "Inertial sensors aided image alignment and stitching for panorama on mobile phones," In Proceedings of the 1st international workshop on Mobile location-based service (pp. 21-30). ACM. 2011.

31) Shastry, A. C., Schowengerdt, R. A., "Airborne video registration and traffic-flow parameter estimation," *Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on*, 6(4), 391-405. 2005.

32) Kaplan, L. M., Nasrabadi, N. M. "Block Wiener-based image registration for moving target indication," *Image Vis. Comput.* 27, pp694-703, 2009.