

## 적외선 영상의 탐지 정보를 이용한 표적 geolocation 기법

김재협\*, 정준호\*, 서정재\*, 이종민\*\*, 문영식\*\*

# Target Geolocation Method Using Target Detection in Infrared Images

Jae-Hyup Kim\*, Jun-Ho Jeong\*, Jeong-Jae Seo\*, Jong-Min Lee\*\*, Young-Shik Moon\*\*

### 요약

본 논문에서는 적외선 영상에서 탐지된 표적의 픽셀정보를 이용하여 실제 환경에서의 표적의 위치를 추정하는 geolocation 기법에 대하여 제안한다. 제안하는 기법은 지대지 전장 환경에서 공중 정찰을 통한 적대 표적의 위치를 파악하는 시스템에 적용이 가능하다. 적대 표적의 geolocation에 영향을 주는 요소는, 시스템의 광학적 왜곡, 지형적 왜곡, 정찰 모듈의 GPS(Global Positioning System) 및 IMU(Inertial Measurement Unit) 왜곡을 들 수 있다. 본 논문에서는 광학적 왜곡과 지형적 왜곡에 적응적인 geolocation 을 위하여 광학 정보의 다항식 최적화와 지구 곡률을 고려한 시선거리 계산 기법을 적용하였으며, 3차원 모의 환경에서 실험한 결과 시스템 요구사항 내에서 geolocation의 정확도를 만족함을 확인하였다.

▶ Keywords : Geolocation, 적외선 영상, 표적 탐지

### Abstract

In this paper, we proposed the geolocation method using target detection information in infrared images. Our method was applied to geolocation system of hostile targets in ground-to-ground field. The major distortion that has bad effect of geolocation was composed of optic, topography, GPS(Global Positioning System) and IMU(Inertial Measurement Unit) of reconnaissance unit. We proposed enhanced geolocation method to cope with optic and topography distortion using polynomial fitting and slant-range calculation model to overcome earth curvature problem, and the result showed that the performance of our method was good for system requirements.

▶ Keywords : Geolocation, Infrared Image, Target Detection

•제1저자 : 김재협 •교신저자 : 문영식

•투고일 : 2015. 1. 17, 심사일 : 2015. 1. 21, 게재확정일 : 2015. 1. 27.

\* 삼성탈레스(Samsung Thales Co.)

\*\* 한양대학교 컴퓨터공학과(Dept. of CSE, Hanyang University)

## I. 서론

현대의 지대지 전장 환경에서는 원거리 광역 타격을 통한 공방전이 주를 이룬다. 발전하는 무기체계에 의해 타격의 범위가 광역지역을 목표로 하며, 특히 적대 공격요소에 대한 신속한 타격과 무력화가 매우 중요하다. 국한적인 예로, 국내의 군사 현황에서, 적대국과의 국경 전반에 지대지 타격 수단이 다수 배치되어 있으며, 이에 대한 신속한 발견과 대응이 매우 중요하다.

현재의 국방연구에 있어, 적대 요소에 대한 탐지, 추적, 인지 등의 자동화 시스템은 지속적으로 연구되어 왔다. 레이더 시스템을 비롯하여, 적외선(Infrared) 영상기반의 영상시스템을 기반으로 적대 표적에 대한 탐지, 추적, 인지 등의 연구가 수행되고 있다. 국내의 대표적인 연구로는, Sun 등[1]은 신경망을 이용하여 적외선 영상의 지상 표적을 탐지하는 기법을 제안하였으며, Jung 등[2]은 다수의 클러터 환경에서 표적을 추적하는 기법을 제안하였으며, 이외에도 국내의 군/산/학 다양한 분야에서 연구가 진행되고 발표되고 있다.

본 논문은 군사시스템에서 활용이 가능한 지대지 전장 환경에서의 적대 공격 요소의 geolocation을 계산하는 기법을 설명한다. 앞서 언급된 연구들은 대부분 적대 장비(예를 들어, 전투기, 탱크, 등)에 대한 탐지 추적이 주를 이룬다. 이와는 달리, 제안하는 기법은 이러한 적대 장비가 아닌, 지대지 전장에서 신속한 geolocation과 대응이 필요한 원거리 광역 요소를 대상으로 하는 시스템에 적용된다. 그림 1은 본 논문에서 목표로 하는 대상 시스템에 대한 개요를 나타낸다.

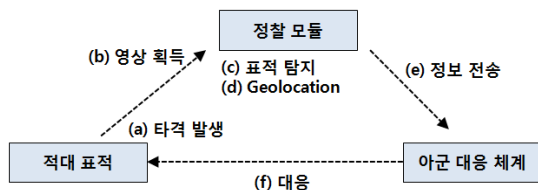


그림 1. 지대지 geolocation 시스템  
Fig. 1. Ground-to-ground geolocation system

그림 1의 시스템 구성에서는 적대 지역을 상시 감시중인 적외선 획득 모듈로부터 순간적으로 발생하는 타격 요소를 탐지하고, 탐지된 픽셀정보를 바탕으로 실제 위치를 계산하여 전송하는 모듈이 필요하다.

Kim 등[3]의 연구와 같이, 지대지 전장의 광역 타격 대상

은 장거리 타격을 위해 순간적인 에너지를 발산하기 때문에, 적외선 영상 내에서 탐지를 수행할 수 있다. 발생하는 표적은 순간적인 에너지를 발산하는 작은 영역이며, 매우 짧은 순간에 발생하는 정보이므로, 수행 속도에 큰 영향을 미치게 된다. 이러한 지대지 전장에서는 초당 수백회의 타격이 이루어 질 수 있기 때문에, 대응 시스템 또한 초고속으로 수행이 가능한 모듈을 탑재해야 한다. 이와 유사한 시스템의 개념으로는 Ritter 등[5-6]이 저격 및 포격의 발생 정보를 이용한 위협 표적의 분류 기법을 연구하였고, Hagerty 등[7]은 탐지 정보의 PCA 적용을 통한 분류 기법을 연구하였다. 국내에서는 Kim 등[8-9]은 연속적인 탐지 정보의 특징 분석을 통한 분류 연구를 진행하였다. 그러나 이와 같은 연구들은 영상의 연속적인 탐지정보를 통해 위협 표적을 찾고 대응하는 기본 시스템은 동일하지만, 표적의 종류를 분류하고 위협도를 판별하기 위한 연구에 한정되며 표적의 실제 위치 분석에 대한 부분은 제외되어 있다.

제안하는 기법은 원거리 중/저 고도의 적외선 영상 정찰모듈로부터 영상을 획득하여 광역 타격 표적이 탐지되면 geolocation을 계산하여 대응 체계에 제공하는 시스템을 목표로 한다. 앞서의 연구와 달리, 탐지 순간의 영상 좌표를 토대로 신속한 geolocation 추정이 가능해야 하며, 수직 방향의 시야가 아닌 원거리 대각선 방향의 시야에서 시스템이 활용된다.

본 논문에서는 2장에서 geolocation을 목적으로 하는 기존의 연구에 대해 설명하고, 3장에서는 기본 기하구조를 이용한 geolocation을 설명한다. 4장에서는 고려되어야 할 주요 오차 요소를 분석하고, 본 논문에서 목표로 하는 시스템에 적합한 geolocation 방법에 대하여 설명한다. 5장에서는 제안하는 기법을 이용하여 모의 환경을 구축하고 실행한 결과를 설명하며, 6장에서는 결론을 설명한다.

본 논문에서는 주요 환경, 시스템의 수치 등과 같이 군사 보안과 관련된 내용에 대해서는 생략 또는 000으로 표기하였다.

## II. 관련 연구

본 논문에서 설명하는 geolocation 기법은 그림 1의 시스템에서 (d) 항에 속하는 모듈이다. 이와 같이, 영상의 특정 위치로부터 실제 위치를 계산하는 geolocation 기법은 민/군 분야에서 다양하게 연구되고 있다. Barber 등[10]은 오브젝트의 픽셀 위치와 카메라 앵글 정보를 이용하여 실제 위치를 계산하는 방법을 제안하였으며, 수직방향으로의 촬영을 통해 획득한 영상에서 각 오브젝트의 GPS위치를 보정하는 방법이

다. Malik[11]는 연속 영상에서의 투영좌표 파라미터의 변화량을 통해 오브젝트의 위치 정확도를 보장하는 기법을 제안하였다. 국내의 geolocation 관련 연구는 대표적으로, Lee 등[12]은 레이더 신호의 입사방향 추정을 통해 geolocation을 수행하는 기법을 제안하였으며, Bang 등[13]은 HMD(Helmet Mounted Display)를 이용한 공대지 표적 위치 추정 기법을 제안하였다. 특히 Bang 등[13]의 기법은 HMD의 자세정보와 전투기의 자세정보를 이용하여 지표 고도를 산출하는 방식으로 지상 표적의 geolocation을 계산한다. 그러나, Barber 등[9]의 연구는 수직형 획득 영상에서의 표적 GPS 위치의 정확도 향상을 목표로 하고 있으며, Malik 등[11]의 연구는 고도와 카메라 자세정보를 이용한 투영 계산만으로 geolocation을 추정하고 있다. Lee 등[12]의 연구는 레이더 신호기반의 시스템으로 제안하는 기법이며, Bang 등[13]의 기법은 공대지 환경에서 표적의 초기 geolocation을 추정하여 유도무기 seeker에 활용하기 위한 기법이다. 이와 같이 방위/군사적 목적의 시스템에서는 기본적으로 geolocation 기능을 갖추고 있으나, 그 시스템의 적용 환경과 표적에 따라 서로 다른 형태를 가진다.

### III. Geolocation 기하 구조

원거리 표적에 대한 geolocation을 위해서는 정찰모듈의 위치 대비 실 영역의 가로/세로 위치 ( X , Y )를 계산해야 한다. 이는 그림 2와 같이, 기하학적인 연관을 가진다. 광 시점을 기준으로 실 영역의 일정 영역이 영상에 투영되는 형태로써, 영상 센서의 가로, 세로 FOV(Field of view)와 센서의 고도에 따라 투영되는 실 영역이 결정된다.

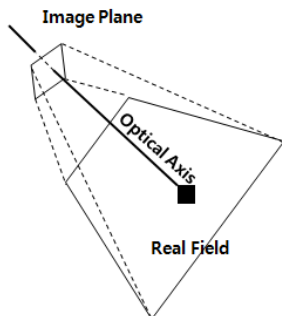


그림 2. 영상과 실 영역  
Fig. 2. The image plane and real field

따라서 그림 3과 그림 4와 같이, 영상과 센서의 좌표축을 기준으로 실 영역에서의 X, Y 각각의 거리를 계산할 수 있다. 기본과정은 X, Y 양 방향을 분리하여 기본적인 기하 연산을 통해 계산된다.

그림 3은 Y 계산을 위한 기하 구조를 나타낸다.

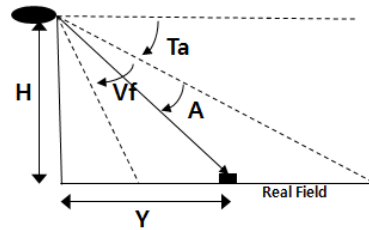


그림 3. 실 영역의 Y 계산  
Fig. 3. Y in real field

H는 영상 센서의 고도이며, Y는 실 영역에서 센서로부터 표적 위치의 거리를 의미한다. Ta는 센서가 수평방향으로부터 지상을 향해 기울어진 각도, 즉 Tilt-Angle을 나타낸다. Vf는 영상센서가 획득 가능한 세로방향의 각도, 즉 VFOV(Vertical FOV)를 나타낸다. VFOV, H, Ta에 따라 영상에 투영되는 실 영역의 크기가 결정된다. A는 최대 원거리 투영 축으로부터 표적 투영 축까지의 각도를 나타낸다. 영상의 세로 길이를 Ih, 표적이 투영된 영상의 위치를 Ip 라고 표기했을 때, 표적의 실 영역에서의 Y값은 식 (1)과 같이 계산된다.

$$A = \frac{I_p}{I_h} \times V_f \tag{1}$$

$$\tan(90^\circ - T_a - A) = \frac{Y}{H}$$

그림 4는 X 계산을 위한 기하 구조를 나타낸다.

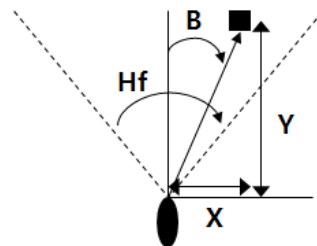


그림 4. 실 영역의 X 계산  
Fig. 4. X in real field

Hf는 영상센서가 획득 가능한 가로방향의 각도, 즉 HFOV(Horizontal FOV)를 나타낸다. B는 영상 중심으로부터 표적의 투영 축까지의 각도를 나타낸다. 영상의 가로 길이 Iw, 표적이 투영된 영상의 위치를 Ip라고 표기했을 때, 표적의 실 영역에서의 X값은 식 (2)와 같이 계산된다.

$$B = \frac{I_p}{I_w} \times Hf - \frac{Hf}{2} \tag{2}$$

$$\tan(90^\circ - B) = \frac{Y}{X}$$

#### IV. 개선된 Geolcaiton 기하 구조

2장에서와 같이, 영상센서의 정보와 획득모듈의 고도 등의 정보, 영상 내에서 탐지된 표적의 위치정보를 통해 기본 기하 구조를 계산하는 과정은 매우 간단하다. 그러나 단계별 계산 과정에서 발생할 수 있는 다양한 왜곡 요소가 존재한다.

본 논문에서는 왜곡 요소를 아래와 같이 크게 3가지로 정의하였다.

- 광학적 왜곡
- 지형적 왜곡
- 정찰모듈 왜곡

광학적 왜곡은 정찰 모듈에 포함되는 광학 모듈의 왜곡 요소를 의미한다. 적외선 영상 장비 및 군용 정찰 장비에서 사용되는 광학 모듈은 대부분 초정밀 시스템에 적용된다. 따라서 매우 작은 수치의 오차에도 영상에서 수 픽셀 이상의 차이가 발생할 수 있다. 또, 광학 모듈은 완벽한 평면형태의 설계보다는 구면형태의 설계가 더 넓은 광각의 FOV를 가진다. 본 논문에서 목표로 하고 있는 시스템은 원거리 광역 영역에 대한 시스템이므로, 구면형태의 광각 광학모듈이 필요하며, 이에 따라 구면형태의 왜곡 요소가 발생할 수 있다. 지형적 왜곡은 목표 대상이 존재하는 환경의 지형적인 왜곡 요소를 의미한다. 대표적으로 지형지물에 의한 고도차와 지구곡률로 인한 오차가 있다. 광역 영역의 일반 지형에서는 크고 작은 산악 지역이 존재하며, 특히나 평면 영상 정보로부터 계산되는 geolcaiton을 왜곡시키는 주요 요소이다. 지구 곡률은 지구의 원 형태로 인한 왜곡 요소로써, 2장과 같이 투영 평면으로 해석된 실 영역 geolocation을 왜곡시키는 요소이다. 특히, 원거리 광역 영역에서 크게 발생한다. 정찰 모듈 왜곡은, 정찰 모듈의 구성 품들의 왜곡 요소를 의미하며, 대표적

으로 기구적 왜곡, GPS 등의 왜곡이 있다. 규격화된 기구 모듈이라도 미세한 오차가 발생할 수 있으며, 이 오차는 정밀 시스템에서 큰 왜곡을 발생시킬 수 있다.

본 논문에서는 세 가지 왜곡 요소 중 광학적 왜곡과 지형적 왜곡에 대해 분석하고 대응 방안에 대하여 설명한다. 모듈 왜곡은 기구적인 요소로써 일정한 오차 범위 내에서 오차 예측이 가능하다. 해당 오차 범위의 결과를 산출하는 방식을 도입하여 해결될 수 있으며, 세부 모듈의 오차 등의 주요 정보는 보안상의 이유로 본 논문에서는 언급하지 않는다.

#### 1. 광학적 왜곡

앞서 언급한바와 같이, 광학 모듈을 포함하는 정찰 모듈에서는 광학의 설계에 따른 계산 오차가 발생한다. 정확한 평면형 렌즈가 아닌 구면 형 렌즈의 경우 이 오차가 더욱 크게 발생한다. 이는 적외선 영상 내에서 탐지/지정된 한 픽셀과 매칭 되는 실 영역의 위치간의 오차를 발생시킨다. 그림 5는 렌즈 형태에 따른 왜곡 형태를 단순화하여 나타낸다.

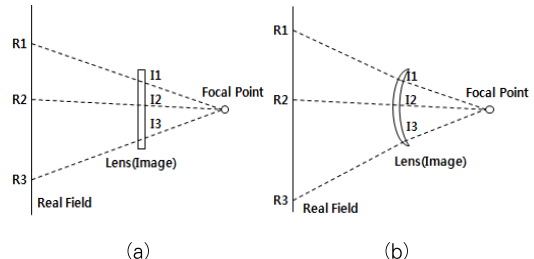


그림 5. (a) 평면 렌즈 (b) 구형 렌즈  
Fig. 5. (a) Plane lens (b) Spherical lens

평면 렌즈는 초점으로부터 실 영역에 매칭 되는 지점이 일정한 각도와 비율을 가지는데 반해, 구면 렌즈의 경우 위치에 따라 실 영역에 매칭 되는 지점이 일정한 비율을 가지지 않는다. Geolocation을 계산하기 위해서는 기본적으로 영상의 픽셀 위치와 FOV를 이용하는데, 이러한 렌즈 왜곡은 geolocation의 정확도를 크게 떨어뜨린다.

광학 왜곡을 보정하기 위한 우선적인 방법은 렌즈 설계 지표를 이용하는 방법이 있다. 영상의 위치와 렌즈 투과 위치, 그리고 광선의 왜곡 각도 등은 렌즈의 설계 당시에 결정이 된다. 이론적으로 영상의 픽셀 위치로부터 실 영역의 위치를 계산하는데 해당 파라미터를 이용하면 손쉽게 보정할 수 있다. 그러나 설계에 사용된 파라미터와 실제 렌즈의 왜곡 수치가 차이가 발생한다. 이는 정밀 장비의 구면 형 광각 렌즈에서 흔히 발생하는 왜곡 요소이다. 렌즈 곡면의 불균일성, 표면의

불균일성으로 발생하는 왜곡 요소이며, 영상 픽셀과 실 영역 표적 지점을 연결하기 위해서는, 이와 같은 광학적 왜곡 요소를 포함한 보정 방법이 필요하다.

제안하는 기법에서는 광학적 왜곡 요소를 보정하기 위하여 정찰 모듈의 렌즈 왜곡차를 모델링하여 오차 반영에 적용한다. 그림 6은 구면 형 광각 렌즈의 광선 방향을 나타낸다.

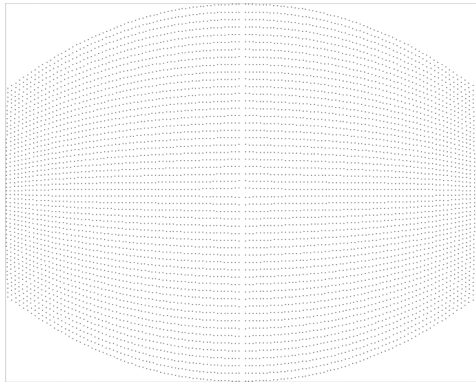


그림 6. 구면형 광각 렌즈 광선  
Fig. 6. The ray model of spherical anamorphic lens

그림 6은 광학 모듈의 특정 위치에 광선을 주사하여 매칭되는 지점을 복원하여 표현한 그림이다. 구면 형 광각 모듈의 적용으로 인해 위치에 따라 매칭 되는 렌즈 지점이 다르며, 선형 왜곡이 아님을 확인할 수 있다. 따라서, 실 영역의 지점과 렌즈, 즉 영상의 픽셀과의 매칭을 위해서는 그림 6과 같은 광학 왜곡을 모델링하여 적용해야 geolocation의 정확도를 높일 수 있다. 모델링의 방법은 모든 렌즈 지점에 대한 광선 매칭 지점을 데이터화 할 수 없기 때문에, 특정 위치에 대한 광선의 데이터를 바탕으로 왜곡 다항식을 추정하였다. 광선 측정 지점의 개수가 많을수록 다항식의 정확도는 높아질 수 있다.

그림 6에서 확인할 수 있듯이, 영상의 X, Y 위치에 따라 고각(Elevation)과 방위각(Azimuth)이 모두 달라진다. 따라서, 2차원 위치에 따른 고각과 방위각 각각을 추정하는 모델링 방정식이 필요하며, 3차원 이상의 고차원 다항식이 필요하다. 본 논문에서는 3차원 다항식을 정의하고, 각각의 계수를 큐빅 최적화(Cubic Fitting)를 통해 추정하였다. 최적화 과정에 사용된 데이터는 총 1831개의 광선 매칭 데이터를 활용하였다. 식 (3)은 3차원 다항식 모델을 나타내며, 식에서  $a \sim j$ 의 계수를 추정하였다. 계수의 추정은 고각과 방위각 각각에 대하여 수행되었다.

$$f(x, y) = a + bx + cy + dx^2 + ey^2 + fx^3 + gy^3 + hxy + ix^2y + jxy^2 \quad (3)$$

## 2. 지형적 왜곡

지형적 왜곡에는 지형 구조에 따른 고도차 왜곡과 지구 곡률에 의한 왜곡을 대표적으로 들 수 있다. 지구 곡률에 따른 왜곡은 제안하는 기법의 대상 시스템과 같이 중고도 이상, 원거리 환경에서 발생할 수 있는 대표적인 왜곡 요소이다. 그림 7은 지구 곡률 왜곡의 개념을 나타낸다.

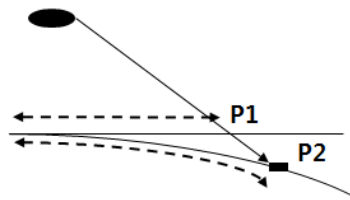


그림 7. 지구 곡률 왜곡  
Fig. 7. The distortion for earth curvature

영상정보 기반의 수치계산을 통해 대상 목표의 위치를 추정했을 때, 이는 P1의 결과를 의미한다. 그러나 실제 목표 지점은 P2이기 때문에 목표지점까지의 거리의 오차가 발생한다. 정찰 모듈의 고도가 낮고, 또 고각의 작을수록 이 오차는 기하급수적으로 증가하게 된다. 앞서 그림 3과 4에 따라, 대상 목표와의 거리는 위치 계산의 가장 중요한 핵심이다. 따라서 지구 곡률을 고려한 거리 계산이 필요하다. 그림 8은 왜곡을 보정한 거리 계산 방식을 나타낸다.

그림 8에서, 기하 계산으로는 Y1이 연산되어 P1의 표적 위치가 계산되지만, 실제 필요한 결과는 Y2의 거리 정보에 따른 P2의 위치이다.  $E_c$ 는 지구 중심,  $R$ 은 지구 반지름,  $H$ 는 정찰 모듈의 고도,  $S_r$ 은 정찰 모듈에서 표적까지의 시선 거리를 나타낸다. 그림 8과 같이 모사할 경우, Y2는 다른 방향의 기하 계산으로 추론이 가능하다. 제안하는 기법에서는, 식 (4)와 같이 각  $Th$ 와  $R$ 을 이용하여 Y2를 구한다.

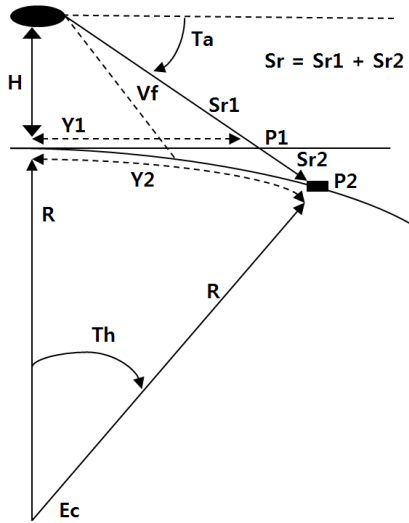


그림 8. 지구 곡률을 고려한 거리 계산  
Fig. 8. The distance considering earth distortion

$$Y2 = R \cdot Th \tag{4}$$

각 Th는 그림 8의 기하 모델에 의해 식 (5)와 같이 계산할 수 있다.

$$\cos(Th) = \frac{R^2 + (R + H)^2 - Sr^2}{2 \cdot R \cdot (R + H)} \tag{5}$$

식 (5)에서 필요한 Sr은 동일한 방식으로 식 (6)-(8)과 같이, 기하 모델에서 알려진 Ta를 이용하여 코사인 정리를 통해 Sr의 2차원 식을 유도한 후 계산할 수 있다.

$$\cos(90 - Ta) = \frac{(R + H)^2 + Sr^2 - R^2}{2 \cdot (R + H) \cdot Sr} \tag{6}$$

$$Sr^2 - (2(R + H)\cos(90 - Ta))Sr + ((R + H)^2 - R^2) = 0 \tag{7}$$

$$\left( \frac{2(R + H)\cos(90 - Ta) \pm \sqrt{(2(R + H)\cos(90 - Ta))^2 - 4((R + H)^2 - R^2)}}{2} \right) \tag{8}$$

이때 식 (8)은 두 개의 결과를 도출한다. 이는 2차원 계산에 의한 결과로써, 그림 9에서의 두 개의 값의 의미를 나타낸다.

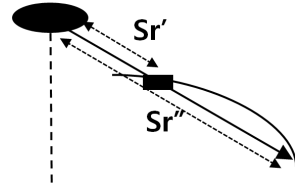


그림 9. 식 (8)의 계산 결과  
Fig. 9. The result of equation (8)

지구 곡률을 고려한 2차원 수식의 결과 표적 위치로의 시선거리와 근거리 원거리 두 위치의 값이 도출된다. 따라서 식 (8)의 결과에서 작은 값, 즉 분자항의 -항에 해당하는 값이 구하고자 하는 Sr이 된다.

지형적 왜곡의 두 번째 요소는 고도차로 인한 왜곡이다. 그림 10은 고도차 왜곡의 개념을 나타낸다.

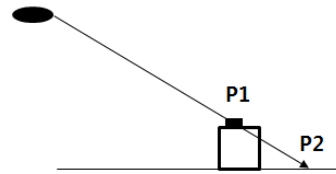


그림 10. 고도차 왜곡  
Fig. 10. The distortion for altitude difference

Geolocation은 영상 내에서의 위치와 수치계산을 통해 이루어지기 때문에 목표 지점의 고도 정보를 반영하지 못한다. 그림 10과 같이, 원거리 공중 감시의 경우 목표 지점의 고도차로 인한 오차가 매우 심하게 발생할 수 있는데, P1이 실제의 목표 위치지만 계산 결과로 P2가 발생하는 경우다. P1과 P2의 차이는 공중 감시의 고도에 따라 더욱 크게 나타날 수 있다. 이는 시스템에서도 큰 단점이 될 수 있다. 그러나 영상과 수치계산으로는 고도차 왜곡에 대응할 수 없다. 2차원상의 지점과 광학적 고각/방위각 정보의 계산으로는 목표 지점의 고도까지 산출할 수 없기 때문이다. 따라서 고도차 왜곡은 본 논문에서 설명하는 geolocation 기법에는 포함되지 않는다. 이는 전체 감시 시스템적인 측면에서 해결되어야 하며, 수치적으로 계산된  $\vec{P2}$  와 LRF(Laser Range Finder, 거리측정기) 등의 추가적인 계측으로 얻어진  $\vec{P1}$  과의 차이를 통해 추정이 가능하다.

### V. 실험 결과

표 1은 실험용 광학 모듈 중 한 기에 대한 데이터를 이용하여 식 (3)으로 왜곡을 추정한 결과로써, 소수점 3자리 이하의 숫자는 생략하였다.

표 1. 3차원 큐빅 보간 계수  
Table 1. Parameters of 3D full Cubic Interpolation

	방위각 Azimuth	고각 Elevation
<i>a</i>	6.81E+01	3.08E+01
<i>b</i>	-2.01E-01	-1.10E-01
<i>c</i>	-1.10E-02	-1.12E-01
<i>d</i>	-5.71E-05	2.96E-04
<i>e</i>	2.44E-05	-2.35E-05
<i>f</i>	7.21E-08	-2.40E-07
<i>g</i>	-4.10E-09	-3.36E-09
<i>h</i>	2.23E-05	3.42E-04
<i>i</i>	3.21E-08	-6.78E-07
<i>j</i>	-6.62E-08	8.22E-08

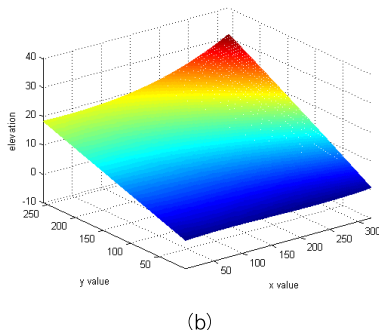
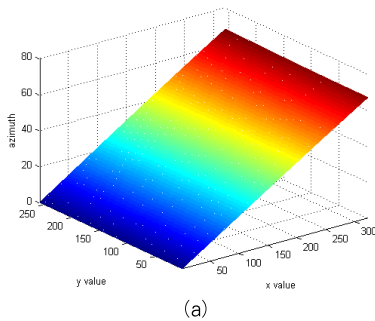
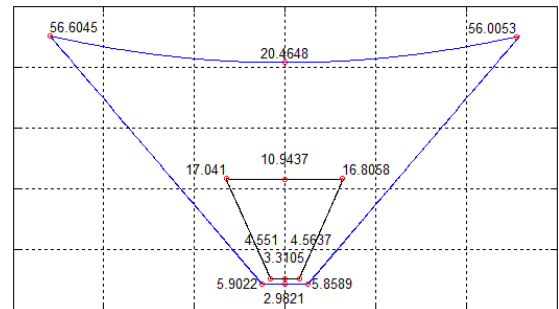


그림 11. (a) 방위각 광선 모델링 (b) 고각 광선 모델링

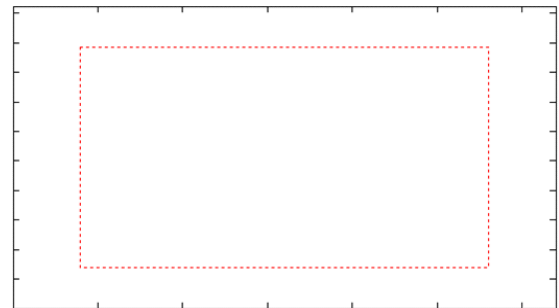
Fig. 11. (a) Ray modeling in azimuth (b) Ray modeling in elevation

전체적으로 2차미만의 항의 계수가 매우 크고 고차 항 계수에서 고각이 더 영향을 받는 형태를 보인다. 특히, *d*의 값의 차이에 따라, 영상의 *x* 방향으로 고각의 영향이 두드러짐을 알 수 있다. 이는 그림 11의 비교를 통해서도 확인할 수 있다. 그림 11은 영상의 1사분면에 해당하는 각 위치에 대하여 왜곡된 방위각과 고각을 추정한 결과이다. 방위각의 경우 미세한 차이 외에는 선형적인 분포를 보이나, 고각의 경우 영상의 외곽일수록 왜곡량이 늘어나는 분포를 확인할 수 있다. 즉, 영상의 외곽일수록 실 환경에서 더욱 늘어난 위치를 바라보고 있다.

단계별 왜곡 요소를 고려하여 geolocation의 성능을 확인하기 위하여, 제안하는 기법을 기반으로 시뮬레이션 SW를 구축한 후, 영상과 대응되는 지상의 영역을 분석하였다. 그림 12는 영상과 실 영역간의 대응 관계를 도형으로 나타낸다. 그림 12의 (b)는 센서의 영상을 의미하며, (a)는 그에 대응하는 실 영역을 의미한다. (b)의 내측 점선 사각형은 (a)의 내부 사다리꼴 영역에 대응하는 영상 영역을 의미한다.



(a)



(b)

그림 12. 영상과 실 영역 대응 관계

Fig. 12. The matched chart between sensor image and real field

그림 12 (a)에서 표현된 숫자는 고도, FOV, 등의 조건을 설정했을 때 각각의 실 영역 지점까지의 시선거리를 나타낸다.(그림 12의 그래프 축의 수치는 시스템 수치를 유추할 수 있는 요소이므로 보안상의 이유로 생략하였다.) 중고도 조건 하에서 시뮬레이션 한 결과, 화면의 중심과 좌우 외곽의 실 영역 시선 거리가 원거리 에서는 2배 이상 발생하는 것을 확인 하였다. 또, 내측 점선 사각형 영역은 전체 영상의 약 70%를 차지하는 영역임에 반해, 실 영역에서는 약 25% 가량의 영역에 대응함을 확인하였다. 따라서 센서 영상의 외곽 부분으로 갈수록 한 픽셀이 차지하는 실 영역의 넓이가 증가 하며, 이는 위치 추정 오차에 반영된다. 이는 본 논문에서 설명하는 광각 센서 모듈에서 해상도의 일정 부분을 어떻게 설계되는 지는 시스템의 요구사항에 따라 결정되어야 함을 의미한다. 시스템이 좁은 실 영역에 대한 높은 정확도를 요구할 경우 내측 영역의 영상을 기준으로 시스템을 설계해야 하며, 정확도에 비해 최대한의 넓은 영역에 대한 감시정찰을 요구할 경우 영상의 전체 영역에 대해 시스템을 설계해야 한다.

그림 13은 이러한 광각 센서의 특성과 지구 곡률을 반영하여 영상 영역과 실영상 영역을 매칭 한 결과를 나타낸다. (그림 13의 그래프 축의 수치는 시스템 수치를 유추할 수 있는 요소이므로 보안상의 이유로 생략하였다.) 대표적인 예로 ●과 ★ 표식을 이용하여 비교를 나타내고 있다. 그림 (a)는 실 영역을 균등하게 배분한 영역을 나타낸다. 실 영역에서 ● 영역은 센서 기준 위치의 중심 하단에 있는 영역이며, ★ 영역은 센서 기준 우측 중단에 있는 영역이다. 그러나 영상에서의 각 영역은 큰 차이를 보인다. 영상 영역에서 ● 영역은 전체 영상의 15% 이상을 차지하는 큰 영역에 매칭 되며, ★ 영역은 상대적으로 3% 내외의 작은 영역에 매칭 된다. 이러한 패턴은 영상의 외곽 위치로 갈수록 더욱 심화되며, 영상 영역의 최상단 좌우측 영역은 실 영역의 동일한 크기의 영역이 1 픽셀 내외로 매칭 된다. 따라서, 영상의 좌우 상단 위치의 픽셀을 이용하여 실 영역 위치를 추정할 경우, 매우 큰 오차를 발생시킬 수 있다.

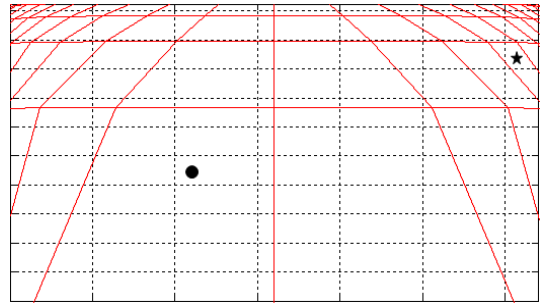
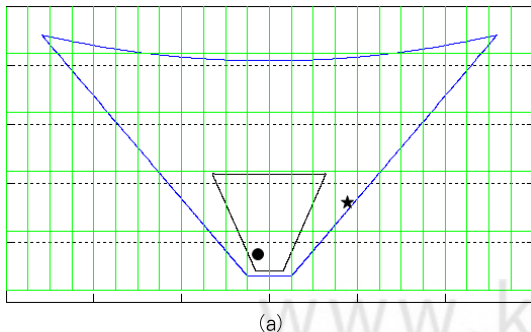


그림 13. 영상 조각 영역과 실 영역 조각 대응 관계  
Fig. 13. The matched chart between sensor image patch and real field patch

영상 영역과 실 영역의 매칭과 오차 분석에 있어 중요한 요소는 영상 픽셀과 매칭 되는 실 영역의 넓이와 시선 거리이다. 시선 거리는 정찰 모듈과 표적 지점의 직선거리를 나타내며, 실제 체계 시스템에서 대응 체계를 계산하기 위한 주요 정보로 사용된다. 그림 14는 정찰 모듈의 정방향의 직선거리에 대하여, 평면 공간과 지구 곡률 공간에 따른 시선 거리의 차이를 나타낸다. 그림 14의 가로축은 y 축 방향으로의 거리를 나타내며, 세로축은 각 거리에 해당하는 시선 거리를 나타낸다. 중고도 환경 하에서, 10km 이내에서는 0.1km 이내의 작은 차이를 나타내며, 15km 내외의 거리부터 1km 이상의 차이가 발생한다. 50km 거리 영역에서는 5km 이상의 차이가 발생하며, 이러한 차이는 체계 시스템에서 반드시 고려되어야 할 사항임을 확인할 수 있다.

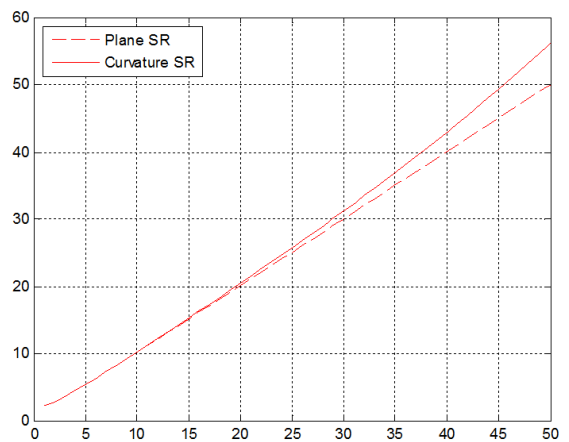


그림 14. 평면 영역과 곡률 영역에서의 시선 거리 비교  
Fig. 14. The slant range in planar space and curvature space

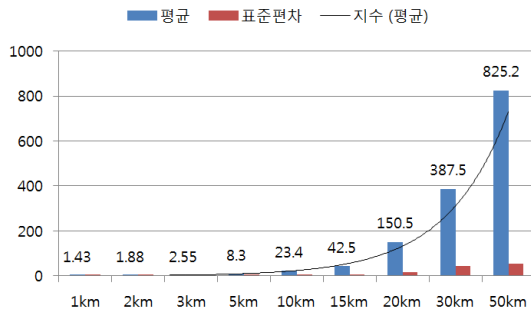


그림 15. Geolocation 오차  
Fig. 15. The geolocation error

그림 15는 모의 시뮬레이션 시스템을 통해 실제 표적 영역과 추정 영역간의 차이를 나타낸다. 모의 시뮬레이션 시스템은 3차원상의 지형, 표적, 센서 등의 정보를 이용하여 설정된 시점에서의 3차원 적외선 영상을 생성하는 시스템으로써, 군용 장비의 개발에서 M&S를 통해 실 시험 직전에 활용된다(세부 사항은 보안상의 이유로 언급하지 않는다.). 제안하는 기법을 실험하기 위하여, 최전방 특정 지역에 대한 정보를 입력하고 가상의 센서 모듈을 입력한 후, 실제 표적의 데이터와 제안하는 기법으로 계산된 데이터의 3차원상의 실제 거리 차를 계산하였다.

그림 15의 세로축은 오차거리를 나타내는 미터(m) 단위이며, 그래프의 숫자는 각 거리 당 실험했을 때 평균 오차를 미터(m)로 나타낸 것이다. 실험 결과, 10km 이내에서는 수십 미터 이내의 오차가 발생 하였으며, 20km 이상의 범위에서는 150m 이상의 오차가 발생하였다. 오차의 크기는 거리가 늘어날수록 지수 이상의 증가량을 보이고 있다. 이는 대응 시스템의 용량과 밀접한 관계를 가지는 요소로써, 예를 들어 대응 시스템의 타격 반경이 100미터 내외일 경우 제안하는 geolocation 방식은 20km 이내의 중거리 내에서만 활용이 가능하다고 판단할 수 있다.

## VI. 결론

본 논문에서는 지대지 대응 시스템에서 활용하기 위한 geolocation 기법에 대하여 설명하였다. 대응 시스템의 가장 중요한 요소는 정확성과 신속성이며, 이를 위해서는 우수한 대응 수단과 함께 정확한 목표 위치의 선정이 중요하다. 그러나 목표 지점 또는 표적물이 GPS를 장착하고 위치를 알려주지 않는 한, 아군에서 해당 위치를 추정하는 데는 큰 어려움이 있다. 특히, 지대지 현장에서는 광역 타격이 가능한 화력

장비가 다수 존재하며, 이를 신속하게 발견하여 대응할 수 있어야 한다. 제안하는 geolocation 기법은 광학적인 보정과 기하적인 보정을 통해 일반적으로 수행되는 평면 기하 기반의 위치 계산을 개선하였다. 완벽한 정밀도를 요구하는 geolocation을 위해서는 바라보는 실 환경의 지형지물에 대한 3차원 정보를 저장하고 이벤트가 발생하는 영역에 대한 geolocation을 계산하는 것이 당연하겠으나, 그러한 거대한 정보를 저장/활용할 수 있는 방법도 어려우며, 지역이 적대지역일 경우 정보를 획득할 방법도 전무하다. 따라서 대응 시스템의 타격력을 믿고 일정 오차를 벗어나지 않는 범위에서의 geolocation 기법이 필요하며, 제안하는 기법은 이와 같은 시스템 요구사항에 부합하고 있다. 제안하는 기법은 현재 초기개발 단계의 장비에 적용되었으며, 이후 고저 차에 대한 왜곡에 대응 가능한 추가적인 기법에 대해 연구와 함께 20km 이상의 원거리 환경에서 오차를 시스템 요구사항 내에 추정할 수 있는 방안에 대해 연구가 진행되고 있다.

## REFERENCES

- [1] Sun-Gu Sun, "Target Detection Using Texture Features and Neural Networks in Infrared Images," *Journal of IEEK*, Vol. 47 SC, No. 5, pp. 62-68, Sept. 2010.
- [2] Y. H. Jung, D. M. Kwak, D. J. Kim, and J. H. Ko, "Target Tracking Using Image Features in a Clutter Environment," *Journal of IEEK*, Vol. 49, No. 10, pp. 209-216, Oct. 2012.
- [3] J. H. Kim, T. E. Song, J. S. Ko, and Y. S. Moon, "Gunnery Detection Method Using Reference Frame Modeling and Frame Difference," *Journal of IEEK*, Vol. 49 CI, No. 4, pp. 62-70, July 2012.
- [5] A. B. Ritter, A. Y. Weisberg, T. J. Slusarchyk, J. J. Lisowski, and B. A. Hibbeln, "Transient Event Characterization," 1999 IEEE Aerospace Conference Proceedings, Vol. 4, pp. 273-280, March 1999.
- [6] A. B. Ritter, T. J. Slusarchyk, and J. J. Lisowski, "Enhancement and Assessment of a Transient Event Characterization Algorithm," 2000 IEEE Aerospace Conference Proceedings, Vol. 3, pp. 343-349, March 2000.

[7] S. Hagerty, C. Hilliard and A. Haralson, "Real-time Discrimination of Battlefield Ordnance Using Remote Sensing Data," 2000 IEEE Aerospace Conference Proceedings, Vol. 3, pp. 329-342, March 2000.

[8] J. H. Kim, G. H. Park, J. H. Jung, and Y. S. Moon, "Gunnery Classification Method using Shape Feature of Profile and GMM," Journal of IEEK, Vol. 48 CI, No. 5, pp. 16-23, Sept. 2011.

[9] J. H. Kim, T. W. Cho, S. W. Chun, J. M. Lee, and Y. S. Moon, "Gunnery Classification Method Using Profile Feature Extraction in Infrared Images," Journal of KSCI, Vol. 19, No. 10, pp. 43-53, Oct. 2014.

[10] D. B. Barber, J. D. Redding, T. W. McLain, R. W. Beard, and C. N. Taylor, "Vision-based Target Geo-Location using a Fixed-Wing Miniature Air Vehicle," Journal of Intelligence Robot System, Vol. 47, pp. 361-382, Nov. 2006.

[11] Mahendra Malik, "Geolocation using Video Sensor Measurements," Proc. of 10th Int. Conf. on Information Fusion, pp. 1-8, July 2007.

[12] K. H. Lee, W. Y. Song, and M. H. Lee, "A Study on Look Error Estimation and Adaptive Array Angle Estimation," Journal of KSCI, Vol. 16, No. 9, pp. 155-162, Sept. 2011.

[13] K. R. Bang and S. W. Ha, "Location Information Extraction of An Air-to-Ground Taret using Helmet Mounted Display Divece," Journal of KSCI, Vol. 16, No. 5, pp. 1-7, March 2011.

**저 자 소 개**



**김 재 협**  
 2001: 한양대학교  
 전자계산학과 공학사.  
 2003: 한양대학교  
 컴퓨터공학과 공학석사.  
 2008: 한양대학교  
 컴퓨터공학과 공학박사  
 2008: 한양대학교 엠비언트  
 인텔리전스 SW연구팀  
 박사후연구원  
 현 재: 삼성탈레스 책임연구원  
 관심분야: 지능형 영상처리, 패턴인식  
 Email : jaehyup.kim@samsung.com



**정 준 호**  
 1998년: 순천향대학교  
 전자공학과 공학사  
 2003년: 경희대학교  
 전자공학과 공학석사.  
 현 재: 전북대학교  
 나노과학기술학과 박사과정  
 현 재: 삼성탈레스 전문연구원  
 관심분야: 센서/영상처리,  
 광전자시스템  
 Email : junho.jeong@samsung.com



**서 정 재**  
 2002: 고려대학교  
 제어계측공학과 공학사.  
 현 재: 삼성탈레스 전문연구원  
 관심분야: 영상 센서, 카메라 시스템  
 Email : jeongjae.seo@samsung.com



**이 증 민**

2007: 한양대학교  
컴퓨터공학과 공학사.  
2009: 한양대학교  
컴퓨터공학과 공학석사.  
현 재: 한양대학교  
컴퓨터공학과 박사과정  
관심분야: 영상처리, 영상개선  
Email : jmlee@visionlab.or.kr



**문 영 식**

1980: 서울대학교  
전자공학과 공학사.  
1982: 한국과학기술원  
전기 및 전자공학과 공학석사.  
1990: University of California at  
Irvine 컴퓨터공학과 공학박사  
현 재: 한양대학교  
컴퓨터공학 교수  
관심분야: 컴퓨터비전, 영상처리,  
패턴인식  
Email : ysmoon@hanyang.ac.kr