

고속 표적 좌표의 오차추정

*오준호 *조칠석 **이상화 ***이부환 *박종일¹⁾

*한양대학교 **서울대학교 ***국방과학연구소

*jhoh@mr.hanyang.ac.kr *cscho@mr.hanyang.ac.kr **lsh529@snu.ac.kr ***bhlee@add.re.kr
*jipark@hanynag.ac.kr

Error Estimation of Fast Target Coordinate

*Oh, Jun Ho *Cho, Chil Suk **Lee, Sang Hwa ***Lee, Boo Hwan *Park, Jong-Il

*Dept. Electronics and Computer Engineering, Hanyang University

**Dept. Electronics Engineering and Computer Science, Seoul National University

***Agency for Defense Development

요약

본 논문에서는 적외선 스테레오 카메라를 이용하여 고속으로 날아가는 표적의 좌표들을 측정하고 회귀분석을 통한 오차특성을 이용하여 추정하는 시스템을 제안한다. 표적과 배경의 온도차이로 표적 영역을 검출하고 적외선 스테레오 카메라 정합과 카메라 파라미터를 이용하여 표적의 좌표를 추정한다. 본 논문에서 제안하는 적외선 스테레오 카메라 시스템을 검증하기 위해 3차원 궤적(x,y,z) 측정기로 표적의 속도와 거리를 측정하여 표적 궤도를 예측하고, 여러 차례 실험한 비디오 데이터로부터 스테레오 정합을 이용하여 z, x축의 거리(좌표)들을 구하고 회귀 분석(regression analysis)을 사용하여 최소 자승법(Least squares method)으로 표적의 궤적들을 비교하였다. 적외선 스테레오 정합 시스템에 오차특성을 적용하여 표적의 좌표를 보정할 수 있었다. 향후 다양한 표적들의 오차를 모델화하여 고속표적들의 좌표 측정을 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

1. 서론

스테레오 정합은 2대의 카메라를 이용하여 물체들 간의 시차정보를 추정하는 것으로 카메라의 내외부 파라미터들을 이용하여 거리(좌표)를 추정하며, 감시 분야, 지능형 로봇 분야, 3D방송 분야 등 여러 분야에 사용되고 있다. 군사 분야에서는 표적들의 좌표들을 알아내는 것이 중요하다. 여기에 스테레오 카메라 시스템을 이용하면 표적을 쉽게 찾을 수 있게 된다. 최근 적외선 카메라의 발달로 군사 분야에서 표적의 추적과 감시하는 기술에 활발히 연구 되고 있다. 적외선 카메라의 특징은 야간, 안개 및 포화 등의 가시광선이 없는 상태에서도 표적의 위치를 보여 줄 수 있는 장점이 있다. 이러한 기술을 이용하여 표적에 대응 하는 시스템을 개발 할 수 있으며 표적의 다양한 모델링 연구가 활발히 진행되고 있다. 기존의 방법들은 원거리의 표적들을 노이즈가 있는 배경에서 표적을 찾는 최적의 방법들에 관해 연구되고 있다. 일반적으로 형태학적 필터(Morphological filter)를 사용한 Top-hat방법과 같이 다양한 필터들이 널리 사용되고 있으며, 시간적 필터 방법도 사용되었다 [1][2]. 오차 보정에는 일정 오경보 확률 검출(Constant false alarm rate detector)방법이 제안되었다 [3]. 현재까지 적외선 카메라를 이용한 고온의 소형 표적을 탐지하고 추적하는 논문들이 단일 적외선 카메라를 이용하는 방법들이었다.

본 논문에서는 적외선 스테레오 시스템을 구축하고 표적의 좌표

들을 측정하고 3차원 궤적(x,y,z) 측정기를 이용하여 실제 궤적을 찾는다. 좌표들을 회귀분석을 통한 최소 자승법으로 표적 좌표들의 오차추정방법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 적외선 스테레오 카메라 시스템에 대해 소개하고 제 3장에서는 적외선카메라의 표적추적과 오차보정에 대해 언급한다. 제 4장에서는 거리추정 가능함을 보이는 실험결과를 제시한다. 그리고 제 5장에서는 본 논문에 대한 결론과 향후 개선할 점을 언급한다.

2. 적외선 스테레오 카메라 시스템

스테레오 영상은 사람의 눈을 모방하였으며, 스테레오 정합은 두 대의 카메라에서 촬영된 영상에서 대응점들을 찾고, 이 대응점 정보와 두 카메라 사이의 간격으로부터 실제 객체의 거리 정보를 계산할 수 있다. 두 대의 적외선 카메라를 이용한 스테레오 카메라 시스템은 카메라 왜곡보정(camera calibration), 스테레오 조정(stereo rectification), 스테레오 정합(stereo matching) 이렇게 3단계를 거쳐서 구축되었다. 카메라 왜곡보정은 Zhang 방법을 이용하여 카메라 내부행렬과 왜곡 계수, 회전벡터, 이동벡터를 구해준다 [4]. 카메라 내부 파라미터들을 식 (3)으로 표현 된다 [5][6].

1) 교신저자

$$\begin{aligned} f_x &= \sqrt{\lambda/B_{11}} \\ f_y &= \sqrt{\lambda B_{11}/(B_{11}B_{22} - B_{12}^2)} \\ c_x &= -B_{13}f_x^2/\lambda \\ c_x &= (B_{12}B_{13} - B_{11}B_{23})/(B_{11}B_{22} - B_{12}^2) \end{aligned} \quad (1)$$

식 (1)에서 B는 내부행렬 M을 사용하여 $B = M^{-T} M^{-1}$ 표현된다. 실제 계산할 때에는 특이값 분해(SVD)를 이용한다. 왜곡이 없다는 전제조건에서 구하였기 때문에 왜곡 계수도 추가한다.

스테레오 조정은 사전에 카메라 왜곡보정 과정을 통하여 얻은 카메라 파라미터를 이용하여 각 영상들을 평행식 배열 구조가 되도록 조정(rectification)한다. 조정된 스테레오 영상은 대응점 추정 시 x 축 위에 맞추어 있기 때문에, 동일 y 좌표를 가지는 주사선(scan-line) 만을 검색하면 된다. 그림 1은 열화상 스테레오 카메라를 사용하여 조정된 영상을 보여주고 있다.

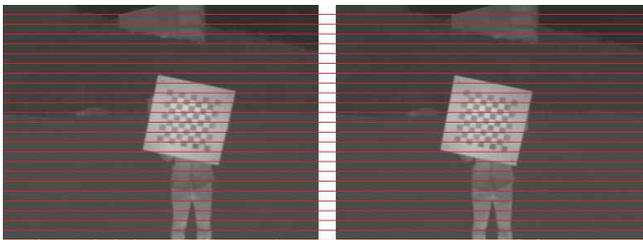


그림 1. 적외선 스테레오 조정(stereo rectification)된 영상

스테레오 정합은 에피폴라 기하구조를 바탕으로 좌우 스테레오 영상의 대응점을 찾는 과정을 의미한다. 평행식 스테레오 카메라의 기하학적 해석은 렌즈의 초점 앞에 영상 평면이 위치하고 이것을 중심투영(central projection)이라 하고 두 렌즈 중심을 연결하는 직선을 기준선(base line)이라 하며, 이 좌측에 위치한 카메라영상의 중심에 기준 좌표계(X, Y, Z)의 원점이 위치한다. 그림 2에서 초점거리 f와 두 렌즈의 중심 사이의 거리 즉, 기준선 거리 b가 주어지면, 닳은 삼각형 성질에 의해 기준 좌표계와 물체의 3차원 위치와 대응하는 영상좌표 (x, y) 사이의 상관 관계식을 구할 수 있다. 그림 2는 스테레오 영상에서의 시차와 물체까지의 거리를 표시하고 있으며, 픽셀간의 물리적 크기 또는 간격 (mm), 두 카메라간의 거리(기준거리, mm), 스테레오 정합에 의하여 추정된 물체 대응점에 대한 시차(disparity)를 이용하면, 간단한 비례식을 이용하여 카메라로부터 물체까지의 거리를 측정할 수 있음을 보여준다.

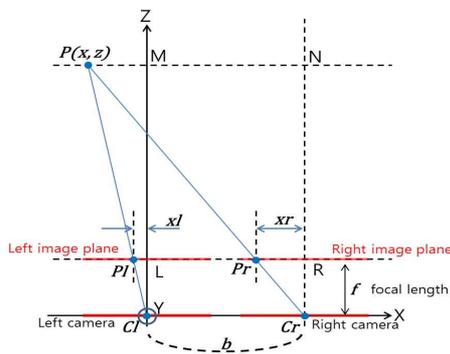


그림 2. 시차에 의한 깊이 추출

그림 2에서 닳음꼴을 이용한 비례식을 서술하면, 다음과 같이 거리 정보를 측정할 수 있다. xl 과 xr 은 픽셀크기에 1픽셀의 실제크기를 곱한 수치이다.

$$\begin{aligned} f \cdot b &= z \cdot (xl - xr) \\ z &= \frac{b \cdot f}{xl - xr} \end{aligned} \quad (2)$$

식 (2)에서는 픽셀 좌표에서 추정된 시차정보를 물리적 거리 (mm) 단위로 환산한 것이다. 그림 2에서 스테레오 영상에 물체가 X 축에 위치한 식을 구하려면 식 (3)로 전개된다.

$$\begin{aligned} 2 \cdot f \cdot x - f \cdot b &= z \cdot (xr + xl) \\ f &= \frac{z \cdot (xl - xr)}{b} \\ x &= \frac{b(xl + xr)}{2(xl - xr)} + \frac{b}{2} \end{aligned} \quad (3)$$

3. 적외선 스테레오 카메라의 표적추적과 오차보상

표적의 적외선 복사에너지의 방출량이 배경보다 많으므로 높은 값을 가지게 된다. 적외선 카메라의 표적 추적은 차영상을 이용하여 문턱치를 설정하며 식 (4)로 표현 한다 [7].

$$b(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{if } \{f_k(x, y) - f_{k-1}(x, y) > th_{b1}\} \wedge \{f_k(x, y) > th_{b2}\} \\ 0, & \text{그외의 경우} \end{cases} \quad (4)$$

프레임들간에 표적 좌표를 찾으면 이전 프레임의 표적인지 새로 나타난 표적좌표인지 알아내기 위해 국부영역을 설정하여 일정프레임 동안 비교하여 추적한다. 표적의 국부영역은 7x7이며 식 (5)로 표현된다.

$$\begin{cases} b_i(x, y) = b_{i-1}(x, y) + 1, & \text{if } \{b_i(x, y) > th_{b1}'\} \wedge \{f_{k+i}(x, y) > th_{b2}'\} \\ b_i(x, y) = b_{i-1}(x, y), & \text{그외의 경우} \end{cases} \quad 1 \leq i \leq N_b \quad (5)$$

b_i 의 누적횟수(연속 N_b 프레임)가 $0.7N_b$ 이상이면 표적의 시작점으로 인식하여 동작한다. 그림 3은 적외선 스테레오 카메라에서 추적된 표적의 확대한 모습이다.

적외선 스테레오 카메라에서 표적 추적된 좌표들은 회귀 분석을 이용하여 좌표들간의 관계를 파악함으로써 오차추정을 하게 된다. 회귀 분석은 상관관계의 연관성(association)과 인과모형의 인과성(causation)을 종합한 개념으로 정리할 수 있다. 표본을 대표하는 하나의 적합한 직선을 회귀 직선(regression line)이라고 한다. 회귀 직선은 각 표본의 점에서 직선까지의 거리의 합이 최소인 직선이다. 결국 표본의 각 점에서 그 임의의 직선에 내린 수선의 길이의 제곱값의 합을 최소로 하는 방법으로 직선의 식을 구한다. 이것을 최소 자승법(Least squares method)이라고 하며 이 방법에 의해 표적 궤적이 1차원 직선으로 표현되며 이 직선과 표적들의 분포도의 상관관계에 따라 표적 오차추정을 하게 된다.

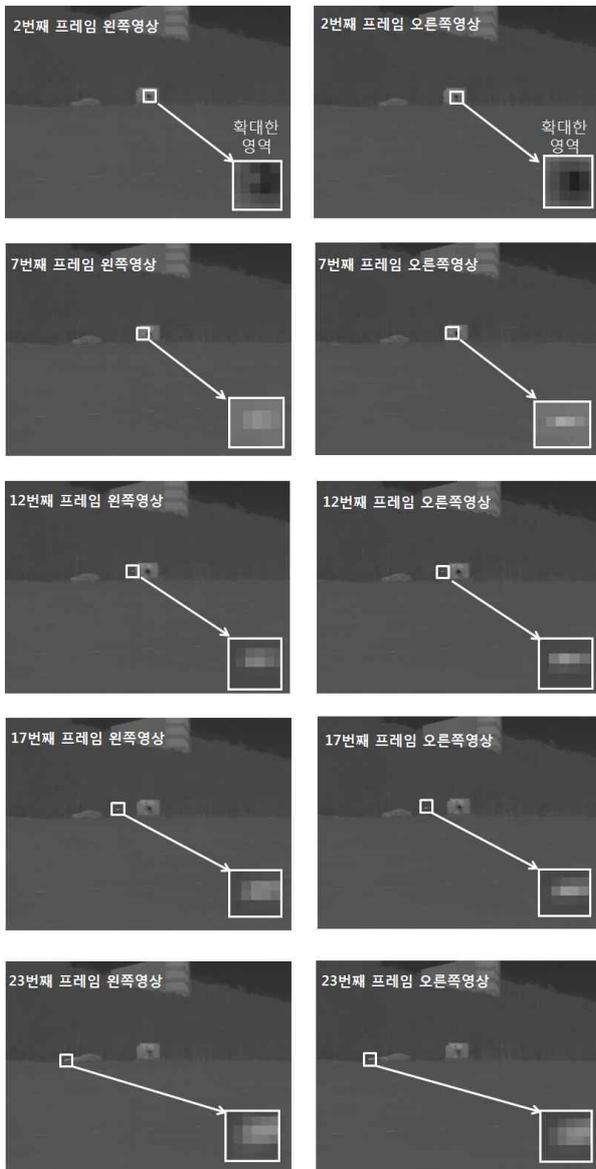


그림 3. 적외선 스테레오 카메라에서 표적 추적

4. 실험 결과

실험에 사용한 열화상 스테레오 카메라는 384x288 해상도, 초점 거리는 25mm, 화각은 $30^{\circ} \times 23^{\circ}$, 평균 63fps를 가진다. base line은 300mm로 설정하였다. 그림 8은 열화상 스테레오 카메라를 구축한 모습이다. 표적의 속도는 3차원 궤적(x,y,z) 측정기로 평균 172m/s 속도를 가진다.

열화상카메라의 좌측카메라를 기준으로 80m 거리에 떨어져있는 고속 소형 표적을 추적해서 왼쪽으로 5m가량 비껴나가는 비디오 데이터를 여러 차례 촬영하였다. 그림 4는 실험공간으로, 3차원 궤적(x,y,z) 측정기는 52m ~ 30m 구간을 측정하였으며 Z축의 기준을 열화상 좌측 카메라로 설정을 하였다. 즉 3차원측정기와 스테레오 정합 알고리즘은 동일한 기준을 가지고 있으므로 실제 표적의 Z축, X축의 좌표들만 비교하며, 관측데이터들의 회귀 직선을 구한다.

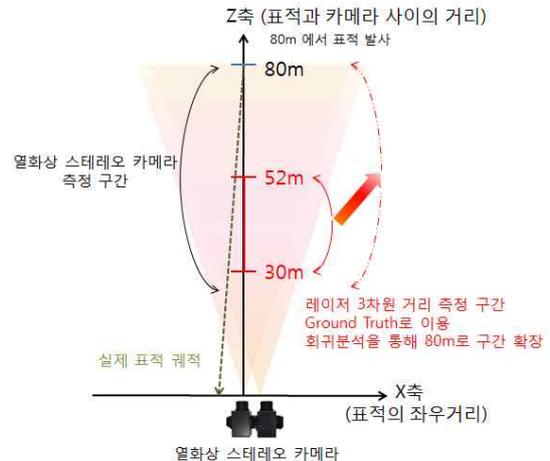


그림 4. 적외선 스테레오 카메라 측정구간과 3차원 궤적(x,y,z) 측정기 확장구간

그림 5는 실험한 관측데이터의 회귀 직선들이다. X축은 표적의 좌우거리이고 Z축은 표적과 카메라 사이의 거리이다. Ground truth로 사용할 3차원 궤적(x,y,z) 측정기는 52m ~ 30m 이며 회귀직선을 통해 80m ~ 10 구간으로 확장하였다. 여러 차례의 실험을 통해 측정한 적외선 스테레오 정합 좌표들의 회귀분석을 통해 회귀직선을 구하였다. 표 1은 두 회귀직선들의 기울기와 절편을 나타내었다.

표1. 회귀직선의 기울기와 절편

	기울기(α)	y절편(β)	각도($^{\circ}$)
3차원궤적(x,y,z)측정기	18.933	82968	86.97 $^{\circ}$
적외선스테레오정합좌표	15.204	85045	86.23 $^{\circ}$

실험을 통해 적외선 스테레오 표적 좌표들을 누적인 회귀직선과 실제 탄두의 궤적(3차원 궤적(x,y,z) 측정기좌표들의 회귀직선)과 비슷함을 보였다. 두 회귀직선간 각도의 차이는 0.74 $^{\circ}$ 이지만 회귀분석을 통해 다음차례에 들어오는 스테레오정합 좌표들을 보다 정확한 실제 좌표로 추정할 수 있다.

실험을 통하여 본 논문에서 제안한 적외선 스테레오 카메라를 이용한 고속 표적의 좌표측정 기술은 그 가능성을 보여주었다. 두 회귀직선의 각도차이인 0.74 $^{\circ}$ 는 실험과정에서 포함된 몇 가지 기계적인 오류가 누적된 것으로 분석할 수 있다. 열화상 카메라의 특성상 아날로그적인 부분으로 적외선 복사열을 스캔하므로 jitter가 발생하게 된다. 이는 trigger신호를 사용하여 좌우 카메라의 프레임을 맞추더라도 고속 촬영시 크게 영향을 미친다. 이 때문에, 전기적으로 동기(synchronization)가 이루어지지 않은 적외선 스테레오 카메라와 3차원 궤적(x,y,z) 측정기의 공간거리들이 서로 다른 시간일 수 있게 된다. 170m/s 속도의 표적은 10msec에 수 미터를 이동하기 때문에 정확한 실험 결과를 도출하려면 적외선 카메라의 jitter에 대한 확률적 모델을 활용해야 할 것이다.

향후 연구에서 이러한 연구들을 통해 매우 빠르고 작은 고속 표적에 대한 검출 기술 및 추적 기술을 개발하고, 적외선 카메라에 대한 스테레오 정합 알고리즘을 최적화할 필요가 있다.

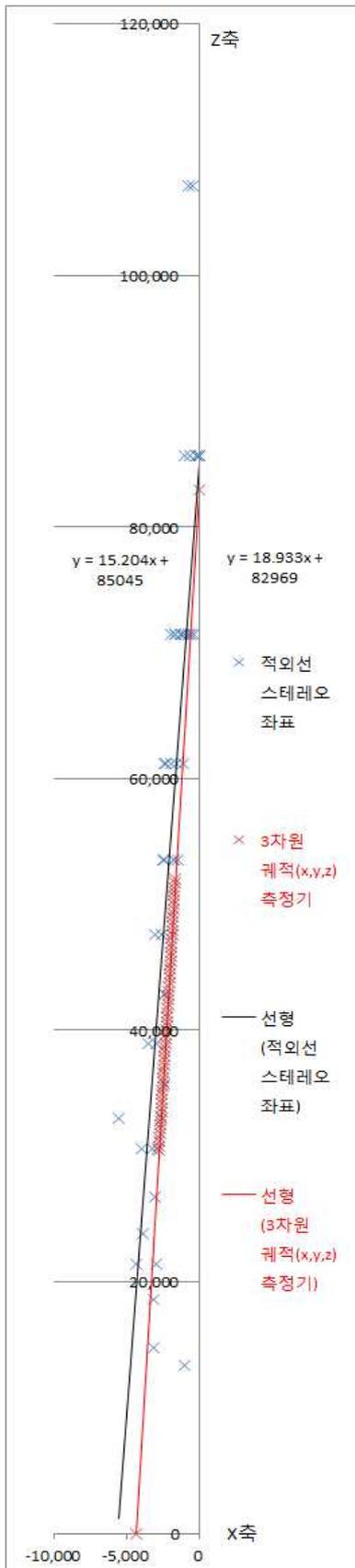


그림 5. 회귀분석을 통한 3차원 궤적(x,y,z) 측정기 좌표와 적외선 스테레오 카메라 측정좌표의 회귀 직선(단위mm)

5. 결론

본 논문에서는 적외선 스테레오 카메라를 이용하여 고속으로 날아가는 표적의 좌표를 회귀분석을 통해 오차 추정하는 시스템을 제안하였다. 적외선 카메라를 이용하여 취득한 고온의 표적영상으로부터 주변의 온도분포와 표적간의 온도차를 이용하여 표적 영역을 검출하고, 좌우 적외선 카메라 영상에 대하여 각각 추출된 표적 영역을 중심으로 스테레오 정합과 카메라 파라미터를 이용하여 실시간으로 이동하는 표적의 좌표를 추정하였다. 본 논문에서 제안하는 적외선 스테레오 카메라 시스템을 검증하기 위하여 3차원 궤적(x,y,z) 측정기를 함께 가동하여 표적이 이동하는 거리를 측정하여 이를 기준 거리로 설정하였다.

실험한 결과, 적외선 스테레오 카메라를 고속의 표적의 회귀직선 각도는 3차원 궤적(x,y,z) 측정기 각도 비교에서 0.74° 의 차이가 있음을 추정하였다. 적외선 카메라간의 jitter문제, 3차원 궤적(x,y,z) 측정기와 적외선 카메라간의 동기화 문제를 고려한다면, 각도를 이용한 추정 오차는 더욱 줄어들 것으로 판단된다. 향후 다양한 표적들의 오차를 모델화하여 고속표적들의 좌표 추정을 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소가 지원하는 생존성기술 특화연구센터사업의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] F. Zhang, C. Li, L. Shi, "Detecting and tracking dim moving point target in IR image sequence," *Infrared Physics & Technology*, 46, 323-328 (2005).
- [2] Y. Gu, C. Wang, B. Liu and Y. Zhan, "A Kernel-Based Nonparametric Regression Method for Clutter Removal in Infrared Small-Target Detection Applications," *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, vol.7, no.3, pp.469-473, July 2010
- [3] A. P. Tzannes, and D. H. Brooks, "Temporal filters for point target detection in IR imagery," *Proc. SPIE*. 3061, 508-520(1997).
- [4] Z. Zhang, "A flexible camera calibration by viewing a plane from unknown orientations," *proceedings of the 7th International Conference on Computer Vision* (pp.666-673), Corfu, September 2002.
- [5] D. Scharstein and R. Szeleiski, "A taxonomy and evaluation of dense two frame stereo correspondence algorithm," *International Journal of Computer Vision*, vol. 47, no.1/2/3, pp.7-42, 2002.
- [6] Sang Hwa Lee and Siddharth Sharma, "A real-time stereo matching using GPU programming," *Proc. of IPIU*, 제주도, 2011. 2월.
- [7] 오준호, 이상화, 이부환, 박종일, "표적 모델 기반 근거리 소형 표적

탐지” 대한전자공학회 추계학술대회, page(s): 409-410, 2010