

논문 2012-49SC-3-8

적외선 스테레오 카메라를 이용한 소형 이동체의 거리 측정

(Distance Measurement of Small Moving Object using Infrared Stereo Camera)

오 준 호*, 이 상 화**, 이 부 환***, 박 종 일****

(Jun Ho Oh, Sang Hwa Lee, Boo Hwan Lee, and Jong-Il Park)

요 약

본 논문에서는 스테레오 적외선 카메라를 이용하여 소형 및 고온으로 날아가는 이동체의 거리를 실시간으로 측정하는 시스템을 제안한다. 이동체와 주변 환경의 온도 차이를 측정하고 고속으로 이동하는 소형 이동체의 거리를 자동으로 측정하기 위하여 적외선 스테레오 카메라 시스템을 구축하였다. 우선 적외선 카메라를 이용하여 취득한 고온의 이동체 영상으로부터 주변의 온도분포와 이동체간의 온도차를 이용하여 이동체영역을 검출하고, 이동체의 움직임 정보와 적외선 카메라 영상의 밝기정보를 결합하여 이동체를 추적한다. 좌우 적외선 카메라 영상에 대하여 각각 추출된 이동체 영역을 중심으로 스테레오 정합을 수행하여 시차정보를 추정하고, 카메라 파라미터와 시차정보를 이용하여 실시간으로 이동하는 이동체의 거리를 추정한다. 본 논문에서 제안하는 적외선 스테레오 카메라 시스템을 검증하기 위하여 고온의 이동체를 촬영할 때, 3차원 궤적(x,y,z) 측정기를 함께 가동하여 이동체가 이동하는 거리를 측정하여 이를 기준 거리(ground truth)로 설정하였다. 3차례의 비디오 데이터로부터 실험한 결과, 적외선 스테레오 카메라를 이용한 고온/소형 이동체의 거리오차 측정 결과는 평균적으로 9.68%로 추정되었다. 스테레오 적외선 카메라의 타이밍 문제(jitter)를 고려하면, 실제로 추정 오차는 줄어든 것으로 판단되기 때문에, 향후 적외선 카메라를 이용하는 다양한 이동체의 거리 및 위치를 측정하는데 응용할 수 있을 것으로 기대된다.

Abstract

This paper proposes a real-time distance measurement system of high temperature and high speed target using infrared stereo camera. We construct an infrared stereo camera system that measure the difference between target and background temperatures for automatic target measurement. First, the proposed method detects target region based on target motion and intensity variation of local region using difference between target and background temperatures. Second, stereo matching by left and right target information is used to estimate disparity about real-time distance of target. In the proposed method using infrared stereo camera system, we compare distances in three dimension trajectory measuring instrument and in infrared stereo camera measurement. In this experiment from three video data, the result shows an average 9.68% distance error rate. The proposed method is suitable for distance and position measurement of varied targets using infrared stereo system.

Keywords : Infrared camera, Thermal Image, Small Target, Stereo matching, Target Detection

* 학생회원, **** 정회원-교신저자, 한양대학교 전자컴퓨터 통신공학과
(Dept. Electronics and Computer Engineering, Hanyang University)

** 정회원, 서울대학교 전자컴퓨터공학부
(Dept. Electronics Engineering and Computer Science, Seoul National University)

*** 정회원, 국방과학연구소
(Agency for Defense Development)

※ 이 논문은 국방과학연구소 생존성 기술 특화연구센터의 사업으로 지원받아 연구되었음(계약번호 UD090090GD)
접수일자: 2011년7월7일, 수정완료일: 2012년5월7일

I. 서 론

최근 많은 국가들에서 군 작전상 중요한 관찰범위에 인간의 눈으로 보이지 않는 장거리에서 다가오는 적들이나 이동체(표적)를 관측, 탐지하는데 레이더나 적외선 카메라를 개발 운용하고 있다. 적외선 영상은 물체 표면에서부터 직접적으로 방사되는 눈에 보이지 않는 적외선 복사에너지에너지를 이용한다. 이동체의 외부온도가 높을수록 그 이동체는 복사에너지의 방출량이 많기 때문에 영상에서 이동체의 밝게 표현되며 이들 복사 에너지 강도는 그레이 스케일로 표현된다. 주변 환경보다 적외선 복사에너지의 방출량이 많은 이동체는 일반적으로 널리 쓰이는 컬러기반의 카메라보다 이동체를 찾기에 용이하다. 이러한 장점은 멀리 있는 이동체도 추적 가능하고 야간, 안개 및 포화 등의 가시광선이 없는 상태에서도 이동체의 위치를 보여 줄 수 있는 장점이 있다. 이러한 기술을 이용하여 이동체에 대응 하는 시스템을 개발 할 수 있으며 이동체의 다양한 모델링이 연구되고 있다.

기존의 방법들은 적외선 영상에서 장거리의 느리게 움직이는 소형 이동체를 찾는데 초점을 맞추고 있다. 최대 평균(max-mean) 및 최대 중간(max-median) 필터를 사용한 방법은 구름 및 주변 환경의 윤곽선을 보존하고 반 중앙 및 반 평균값 연산(anti-mean and anti-median operations)이 클러터와 다른 특성을 가지는 이동체 검출에 유용하다는 사실을 이용한다. 최대 평균 및 최대 중간 필터로 얻은 영상은 이동체들을 검출하기 위하여 원본 프레임과 차영상을 이용한다. 그리고 이때 문턱치(threshold)가 이동체가 될 수 있는 화소들의 수를 제안하기 위하여 추가되었다. 하지만 이 방법은 저 대비(low contrast) 적외선 영상과 원거리에서 점으로 표현되는 이동체 검출에는 효과적이지 못하다^[1]. 일반적으로 형태학적 필터(Morphological filter)를 사용한 방법은 적외선 영상 프레임에서 움직이는 점으로 표현되는 이동체의 검출 및 추적을 위한 새로운 탐지 기법을 제안하였다. 이 방법은 top-hat 연산자를 이용하여 원 영상을 전처리한 후, 3차원 시공간적 탐지 기법을 2차원 공간 탐지 차원으로 축소시켜 이동체를 검출한다. 이때 이동체는 일정한 오경보율(Constant false alarm rate detector)을 가지면서 찾게 된다. 이 방법은 다양한 속도를 갖는 소형 이동체에 유용하지만, 이동체 주변의 환경들로 인하여 높은 오경보율을 보여

준다^[2~3]. 적외선 영상에서 시간적 화소 프로파일에 연속 웨이블릿 변환(continuous wavelet transform, CWT)을 이용한 시간적 필터 방법은 이동체와 배경 클러터를 구분하기 위해 Mexican hat CWT을 이용하여 일정한 휘도 값을 가지면서 일정 시간동안 화소가 유지되면 배경으로 인식하여 이동체가 될 수 있는 영역에서 제거한다. 이 방법은 비교적 정확한 이동체 추적이 가능하나, 여전히 클러터에 대한 높은 오경보율을 보여준다^[4]. 현재 적외선 카메라를 이용한 고온의 소형 이동체를 탐지하고 추적하는 논문들은 단일 적외선 카메라를 이용하는 방법들을 제안하였다^[5].

본 논문에서는 적외선 카메라를 스테레오 시스템으로 구축하고 검출된 이동체에 대하여 스테레오 정합을 수행하여 이동체의 실제 거리를 측정하는 방법을 제안한다. 현재 적외선 카메라의 하드웨어 성능 및 속도의 향상으로 고해상도 및 고속 촬영이 가능하게 되어 적외선 영상으로부터 고속으로 이동하는 소형 이동체의 검출이 가능하게 되었다. 이러한 적외선 스테레오 카메라로 스테레오 정합 알고리즘을 사용하여 이동체의 직접적인 거리를 측정한다.

스테레오 정합 알고리즘은 오랫동안 컴퓨터 비전 분야에서 연구되어 왔다. 이 분야에서 중요한 항목은 3차원 공간에서 이동체를 인지하여 추적하는 것과 이동체까지의 거리를 측정 하는 것이다^[6~7]. 이동체를 인지하고 거리를 측정함으로써 자율주행이 가능한 시스템이나 다양한 분야에서 이동체의 감시와 이에 대응 할 수 있는 시스템을 구현 할 수 있게 된다. 특히 군사 분야에서 유용하게 쓰일 것이다.

영상처리에서 소형 이동체를 추출하기 위한 방법으로는 전, 후 프레임의 비교에 의한 차영상 방법이 많이 적용 된다^[8]. 일반적으로 이동하는 이동체 영역을 추출하고자 할 때, 움직이는 이동체성분은 화면사이의 상대적 위치변화가 발생한 것이라 할 수 있다. 따라서 거리 정보를 구하기 위해서는 좌, 우 영상의 이동이동체가 평행한 스테레오 카메라에서 삼각측량법 등을 이용하여 거리 정보를 측정하게 된다.

본 논문에서는 적외선 스테레오 카메라 시스템을 구현하여 좌, 우 적외선카메라에서 소형 이동체를 찾고 스테레오 정합알고리즘을 적용하여 jitter가 발생하는 적외선카메라에서도 거리측정이 가능함을 보였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 적외선카메라의 왜곡 보정과 스테레오 정합알고리즘을 소개하고

III장에서는 적외선카메라의 이동체추적과 jitter에 대해 언급한다. IV장에서는 거리측정 가능함을 보이는 실험 결과를 제시한다. 그리고 V장에서는 본 논문에 대한 결론과 향후 개선할 점을 언급한다.

II. 스테레오 카메라 시스템

스테레오 영상은 사람의 눈과 비슷한 구조를 가지고 있으며, 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 다음과 같은 3단계를 거쳐서 구축되었다.

1. 카메라 왜곡 보정(camera calibration)

이상적인 카메라의 모델은 핀홀 카메라 모델(pinhole camera model)이다. 핀홀은 중앙에 작은 구멍이 있는 가상의 평면을 의미하며, 이 작은 구멍을 통해서만 빛이 통과 될 수 있다. 영상평면을 투영 평면으로 나타내면 수식 (1)과 같다.

$$x = f \frac{X}{Z} \tag{1}$$

f 는 핀홀 카메라의 초점거리이고, Z 는 카메라와 객체 사이의 거리를 나타내며, X 와 x 는 각각 실제 객체와 영상 객체 크기를 나타낸다. 하지만 핀홀 카메라는 충분한 빛을 모으기에 적합하지 않기 때문에 이를 이용하여 영상을 획득하지 않고 렌즈를 사용하는 보통의 카메라를 사용한다. 그러나 렌즈를 사용하는 방법에도 문제점이 존재하는데 핀홀 카메라 보다 구조가 매우 복잡해지고, 렌즈 자체의 왜곡 때문에 영상이 손상될 수 있다. 방사 왜곡(radial distortion)은 렌즈의 모양에 의해 발생하며, 접선 왜곡(tangential distortion)은 전체적으로 카메라를 조립하는 과정에서 발생한다. 실제 카메라의 렌즈들은 영상 센서의 가장자리 부근에서 픽셀의 위치가 왜곡되는 현상을 발생시킨다. 이러한 볼록 현상은 barrel 또는 어안렌즈 효과의 원인이 된다. 그림 1은 방사 왜곡이 생기는 이유를 알려준다. 렌즈의 중심에서 먼 곳을 지나는 광선은 좀 더 가까운 곳을 지나는 광선보다 더 많이 휘어져 지나간다.

실제로 방사 왜곡은 중심인 $r=0$ 주변에서는 적게 발

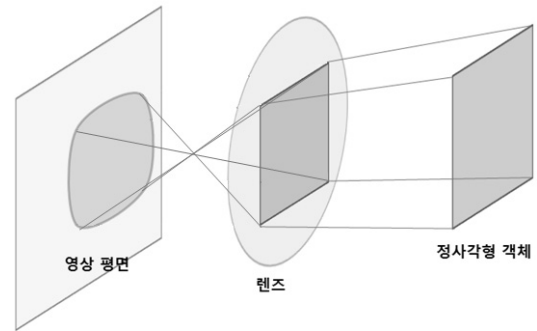


그림 1. 방사 왜곡

Fig. 1. Radial distortion.

생하며 이는 테일러 급수(taylor series)를 이용하여 표현할 수 있다. 왜곡률이 심함에 따라 k 의 계수항들이 증가하고 식 (2)로 표현된다. (x, y) 는 왜곡된 점의 원래 위치를 나타내고 $(x_{corrected}, y_{corrected})$ 는 보정된 새로운 위치를 나타낸다.

$$\begin{aligned} x_{corrected} &= x(1 + k_1r^2 + k_2r^4 + k_3r^6) \\ y_{corrected} &= y(1 + k_1r^2 + k_2r^4 + k_3r^6) \end{aligned} \tag{2}$$

이러한 왜곡들은 체스판을 이용하여 내부 파라미터와 왜곡파라미터를 구하는 Zhang 방법을 이용하여 카메라 내부행렬과 왜곡 계수, 회전벡터, 이동벡터를 구해준다^[9]. 다양한 시점에서 촬영한 체스보드 영상으로부터 각각의 호모그래피 H 를 구한다. H 는 카메라 내부행렬 M 과 회전 및 이동을 나타내는 r_1, r_2, t 로 구성된 행렬에 스케일 인자 s 를 곱한 형태로 구성된다. 회전벡터들은 서로 직교하며 정규직교특성도 가지므로 두 벡터의 크기가 서로 동일하고 내적이 0이라는 것을 의미한다. 이러한 식들을 전개하여 카메라 내부 파라미터들을 식 (3)으로 표현된다.

$$\begin{aligned} f_x &= \sqrt{\lambda/B_{11}} \\ f_y &= \sqrt{\lambda B_{11}/(B_{11}B_{22} - B_{12}^2)} \\ c_x &= -B_{13}f_x^2/\lambda \\ c_x &= (B_{12}B_{13} - B_{11}B_{23})/(B_{11}B_{22} - B_{12}^2) \end{aligned} \tag{3}$$

식 (3)에서 B 는 내부행렬 M 을 사용하여 $B = M^{-T}M^{-1}$ 표현된다. 실제 계산할 때에는 특이값 분해(SVD)를 이용한다. 왜곡이 없다는 전제조건에서 구하였기 때문에 식 (2)를 참조하여 왜곡 계수를 구할 수 있다.

2. 스테레오 조정(stereo rectification)

스테레오 시스템을 구성할 때, 각 카메라의 초점거리, 픽셀 규격 등과 같은 내부 파라미터(intrinsic parameter)와 카메라들 간의 공간적인 변환상태를 정의해 주는 외부 파라미터(extrinsic parameter)를 알게 되면, 스테레오 영상에 투영된 3차원 공간좌표가 각 스테레오 영상의 어느 위치로 투영되었는지를 기하학적으로 예측하는 것이 가능하다. 이러한 스테레오 영상간의 기하학적인 대응 관계를 에피폴라 구조(epipolar geometry) 라고 한다. 그림 2는 두 대의 카메라로 이루어진 스테레오 영상 간에 형성되는 에피폴라 기하구조를 보여주고 있다. 그림 2에서 볼 수 있듯이 에피폴라 기하구조는 하나의 3차원 공간좌표가 좌우 스테레오 영상의 어디에 각각 투영되는가를 기하학적으로 정의한다.

이러한 에피폴라 기하구조는 스테레오 카메라들이 공간적으로 어떻게 배치되어 있는가에 따라서 달라진다. 가장 일반적인 카메라 배치는 두 대의 카메라가 물체로부터 동일한 거리와 높이에 놓여 있으면서 서로 수직방향 정면으로 평행하게 바라보는 형태이다. 이를 평행식 카메라 배열이라고 한다. 평행식 배열의 경우, 카메라의 위치는 좌우 방향으로만 어긋나 있기 때문에, 투영되는 상의 위치도 좌우 수평방향으로만 차이가 난다. 그러므로 에피폴라 기하구조는 각 영상에 대하여 수평선이 된다. 특별히 별도의 언급을 하지 않는 스테레오 시스템에서는 일반적으로 이 평행식 카메라 배열

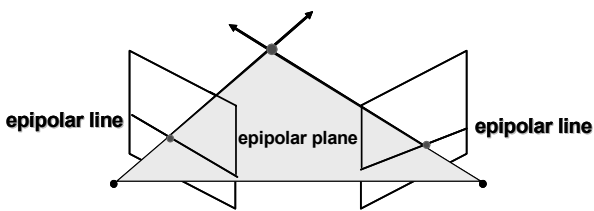


그림 2. 스테레오 영상의 에피폴라 기하학적 구조
Fig. 2. Epipolar geometry of stereo images.

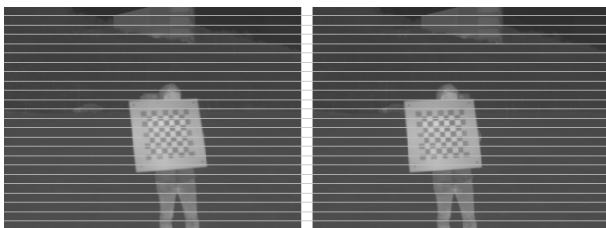


그림 3. 적외선 스테레오 조정
Fig. 3. Infrared stereo rectification.

을 가정한다. 스테레오 카메라 간의 배치가 평행식이 아닌 경우에는, 사전에 카메라 보정 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 3은 적외선 스테레오 카메라를 사용하여 조정된 영상을 보여주고 있다.

3. 스테레오 정합(stereo matching)

앞에서 언급한 에피폴라 기하구조는 좌우 스테레오 영상간의 대응관계가 존재하는 기하학적인 관계식을 정의한 것으로서, 대응관계가 존재하는 스테레오 영상의 위치를 규정하는 것이다. 스테레오 정합은 이러한 에피폴라 기하구조를 바탕으로 좌우 스테레오 영상의 대응점을 찾는 과정을 의미한다. 평행식 카메라 배열을 갖는 스테레오 시스템에서는 스테레오 정합을 통하여 추정된 좌우 스테레오 영상간의 대응 관계를 대응점간의 픽셀 위치의 차이로 표현하기 때문에, 스테레오 정합을 시차추정(disparity estimation)이라고도 부른다. 시차추정에서 깊이정보(depth information)를 변환하기 위해서는 1 pixel의 실제 크기를 측정하면 된다. 카메라의 CCD 크기, focal length, 카메라 영상의 화각과 해상도를 알 수 있으면 삼각함수를 이용하여 1 pixel 크기를 계산할 수 있다. 본 논문에서 사용된 적외선 카메라의 실제 1 pixel의 크기는 0.035mm 이다.

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 4에서 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 4는 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 시차값을 이용하면, 간단한 비례식을 이용하여 카메라로부터 물체까지의 거리를 측정할 수 있음을 보여준다.

그림 4에서 닳은꼴을 이용한 비례식을 서술하면, 다

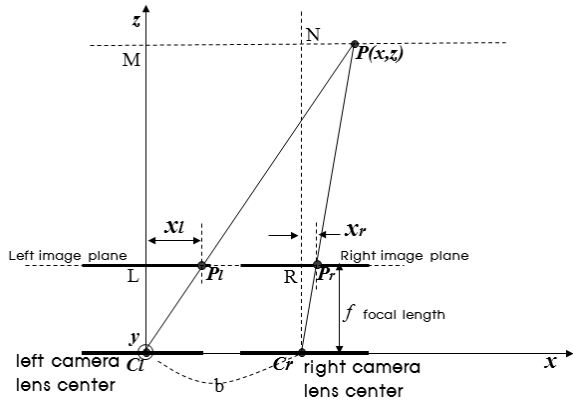


그림 4. 시차에 의한 깊이 추출
Fig. 4 Depth extraction by binocular disparity.

음과 같이 거리 정보를 측정할 수 있다. x_l 과 x_r 은 픽셀크기에 1픽셀의 실제크기를 곱한 수치이다.

$$f \cdot b = z \cdot (x_l - x_r)$$

$$z = \frac{b \cdot f}{x_l - x_r} \tag{4}$$

식 (4)에서는 픽셀 좌표에서 추정된 시차정보를 물리적 거리 (mm) 단위로 환산한 것이다. 그림 4에서 스테레오 영상에 물체가 X축에 위치한 식을 구하려면 식 (5)와 (6)으로 전개된다.

$$2 \cdot f \cdot x - f \cdot b = z \cdot (x_r + x_l)$$

$$f = \frac{z \cdot (x_l - x_r)}{b} \tag{5}$$

$$x = \frac{b(x_l + x_r)}{2(x_l - x_r)} + \frac{b}{2}$$

$$y = \frac{b(y_l + y_r)}{2(x_l - x_r)} \tag{6}$$

III. 적외선 스테레오 카메라

입력된 적외선 스테레오 카메라로부터 멀리 있는 소형 이동체를 추출하고 이동 객체까지 거리를 측정할 수 있도록 한다는 것은 쉬운 일이 아니다. 3.1절에서 적외선 카메라의 이동체추적을 소개하고 새로운 적외선 카메라를 이용하여 영상촬영을 하였기에 특성에 맞는 새로운 문턱치 들을 적용하였다. 3.2절은 적외선 카메라의 jitter를 설명한다.

1. 적외선 카메라의 이동체 추적

일반적으로 이동체는 적외선 복사에너지의 방출량이

많기 때문에 프레임간의 차영상을 이용하여 검출하게 된다. 기존에 소형 이동체를 찾는 알고리즘을 제안하였다^[8]. 2가지 패턴이 있었으나 이번 실험체는 B형 이동체에 해당되므로 B형의 알고리즘을 사용하여 이동체를 추적하게 된다. 새로운 적외선카메라의 환경을 가지므로 적외선 복사에너지의 방출량에 따른 그레이스케일 영상변환의 수치들이 달라지므로 새로운 문턱치 값들이 적용되었다.

일반적으로 적외선 영상에서는 3가지의 구성요소들이 있으며 식은 (7)과 같다.

$$f(x, y) = T(x, y) + B(x, y) + N(x, y) \tag{7}$$

$f(x, y)$ 는 적외선 영상 픽셀(x, y)의 그레이스케일(gray scale)이다. $T(x, y)$ 는 이동체영역이고 $B(x, y)$ 는 배경영역이다. $N(x, y)$ 는 랜덤노이즈(random noise)이다.

다음은 B형의 모델링이다. 식 (8)은 차연산에 th_{b1} 을 만족하고 이동체가 먼 거리에 있으므로 $f_k(x, y)$ 중에서 th_{b2} 를 만족하는 $b(x, y)$ 를 구한다.

$$b(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{if } \{f_k(x, y) - f_{k-1}(x, y) > th_{b1}\} \wedge \{f_k(x, y) > th_{b2}\} \\ 0, & \text{그외의 경우} \end{cases} \tag{8}$$

그림 5에서 $l_b(x, y)$ 는 25x25영역을 가지는 $b(x, y)$ 의 추적영역이다. 식 (9)는 $f_{k+i}(x, y) - f_{k-1}(x, y)$ 에서 i 는 0부터 N_b 프레임까지 $l_b(x, y)$ 를 추적한다. $f_k(x, y) - f_{k-1}(x, y)$ 의 $b(x, y)$ 점이 추적되면서 새로운 시작점 $b_{k+1}'(x, y)$ 이 $l_b(x, y)$ 영역에 있으면 $b(x, y)$ 이므로 $b_{k+1}'(x, y)$ 은 제거한다. $b_i(x, y) = 1$ 이면 b_i 를 누적한다. B형의 이동체 모델은 간단히 말해서 25x25이 내인 영역에서 이동체를 따라가며 추적한다. 만약 영역 내에서 새로운 문턱치 보다 높은 값이 나타나면 기존 이동체로 인식한다.

$$\begin{cases} b_i(x, y) = b_{i-1}(x, y) + 1, & \text{if } \{l_b(x, y) > th_{b1}'\} \wedge \{f_{k+i}(x, y) > th_{b2}'\} \\ b_i(x, y) = b_{i-1}(x, y), & \text{그외의 경우} \quad 1 \leq i \leq N_b \end{cases} \tag{9}$$

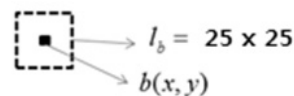
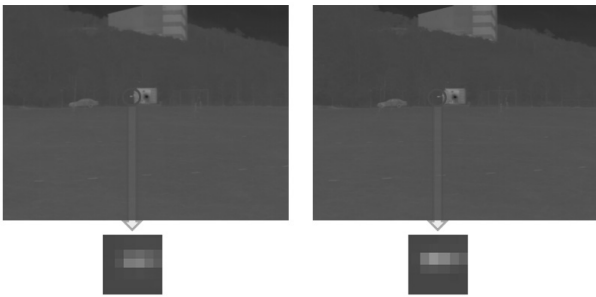


그림 5. l_b 의 크기

Fig. 5. l_b size.



(a)좌측 적외선카메라 이동체 (b)우측 적외선카메라 이동체

그림 6. 적외선 스테레오 카메라에서의 이동체 추적
Fig. 6. Target tracking of infrared stereo camera.

b_i 의 누적횟수(연속 N_i 프레임)가 $0.7N_i$ 이상이면 B형 이동체의 시작점으로 인식하여 동작한다. 그림 6은 적외선 스테레오 카메라를 시스템을 구현하여 카메라 calibration과 스테레오 조정하고 최종적으로 이동체를 찾는 영상을 보여 준다^[8].

2. 적외선 카메라의 Jitter

적외선 카메라가 적외선 복사량을 검출하여 전기신호로 변환하는 과정을 개념도로 나타내면 그림 7과 같다.

적외선은 스캔부, 집광부를 통하여 검파기에 모아진다. 여기서 적외선 에너지는 전기적 신호로 변환되고 증폭되어 모니터에 신호의 크기에 따라 흑백 또는 칼라의 적외선으로 표시된다. 장치내부에는 기준 온도 신호가 있어 대상물체로부터 입사되는 신호를 이것과 비교하여 온도로 변환한다. 스캔부는 일반 카메라와 달리 적외선 카메라에만 필요한 메커니즘의 하나이다.

일반적으로 적외선 카메라의 센서인 적외선 검파기는 단소자로 구성되어 있으며 정지한 광학계를 거쳐서 얻어진 상은 사진 필름의 1화소에 해당하는 것으로 대상물체의 어느 미소한 점의 정보에 불과하다. 따라서 적외선 카메라는 2차원의 폭을 갖는 화면을 형성하기

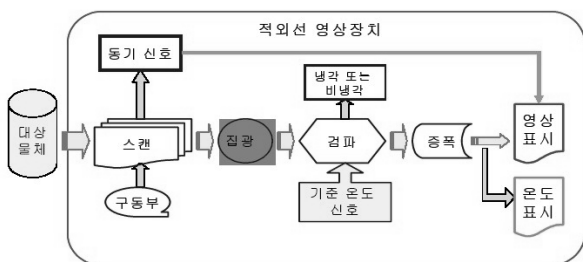


그림 7. 적외선 카메라 개념도
Fig. 7. Concept map of infrared camera.

위한 광학적 스캔 과정을 여분으로 필요로 한다. 일반적으로 스캔은 반사경의 회전 및 진동에 따라 기계적으로 실시되므로 스캔부의 크기 및 영상을 만들어 내는 시간에 따라 달라진다. 즉, 동일한 시퀀스로 프레임이 출력이 되는 것이 아니라 jitter를 가지게 된다^[10].

본 논문에서 jitter를 고려하지 않는 스테레오정합 알고리즘을 적용하여 오차율이 얼마나 되는지 실험을 하였다.

IV. 실험

실험에 사용한 적외선 스테레오 카메라는 7um - 14 um 파장영역을 검출하며 384x288해상도, 초점거리는 25mm, 화각은 30°×23°, 50hz를 가진다. Base line은 300mm로 설정하였다. 그림 8은 적외선 스테레오 카메라를 구축한 모습이다. 이동체의 속도는 3차원 궤적(x,y,z) 측정기로 평균 172m/s 속도를 가진다.

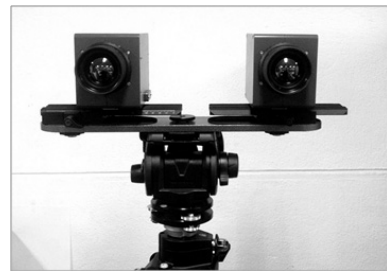


그림 8. 적외선 스테레오 카메라
Fig. 8. Infrared stereo camera.

1. 실험 결과

적외선카메라의 좌측카메라를 기준으로 83m거리에 떨어져있는 소형 이동체를 추적해서 왼쪽으로 5m가량 비껴나가는 비디오 데이터를 여러 차례 촬영하였다. 그림 9는 실험공간으로. 3차원 궤적(x, y, z) 측정기는 52m~30m 구간을 측정하였으며 기준을 적외선 좌측 카메라로 설정을 하였다. 즉 3차원측정기와 스테레오 정합 알고리즘은 동일한 기준을 가지고 있으므로 실제 물체의 거리의 Z축만 비교하여도 오차율을 구할 수 있다.

그림 10은 실험한 관측데이터를 그래프를 사용하여 나타내었다. 3차원 궤적(x, y, z) 측정기는 약 52m~30m 구간을 2msec단위로 측량하였고 적외선 카메라는 52m ~ 30m 구간은 8프레임이 그 안에 포함이 되었다.

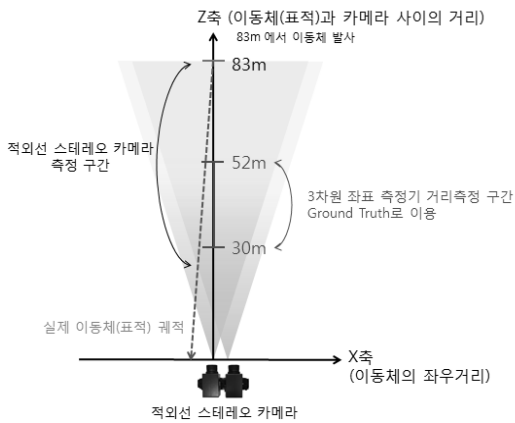
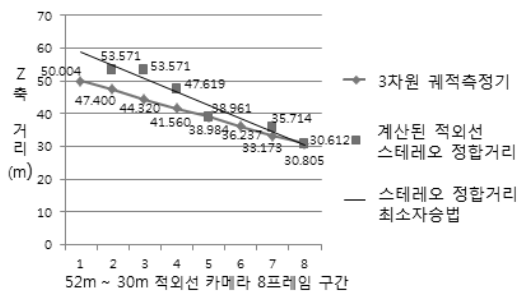
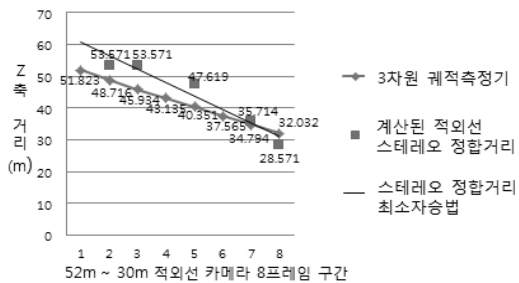


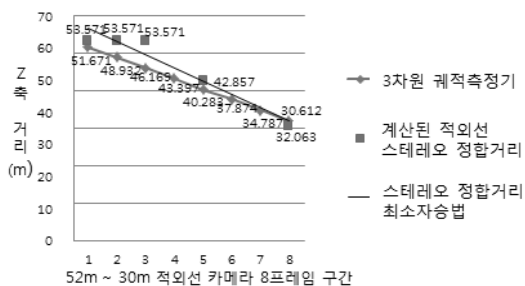
그림 9. 야외 실험
Fig. 9. Filed test.



(a) 실험1



(b) 실험2



(c) 실험3

그림 10. 3차원 궤적(x,y,z) 측정기와 적외선 스테레오 카메라 측정거리 비교

Fig. 10. Comparison of 3 dimension trajectory measuring instrument and infrared stereo camera measurement distance.

Y축은 이동체의 실제 거리를 나타내며 X축은 8프레임의 시간변화에 따라 나타내었다. 계산된 적외선 스테레오 정합거리의 그래프에서 중간에 삭제된 부분은 프레임 밀립현상으로 관측데이터가 소실된 부분이다.

3차원 궤적(x, y, z) 측정기는 프레임에 따라 일정한 직선 그래프로 ground truth 역할을 한다. 신뢰 구간에서 총 오차율은 9.68% 가지며 jitter가 발생하는 적외선 카메라에서도 거리측정이 가능함을 보였다. 스테레오 정합특성상 먼 거리 구간에서 오차가 더 발생하는 것을 보여준다.

2. 실험결과 분석 및 향후 할 일

여러 차례에 걸친 비디오 데이터를 이용한 실험을 통하여 본 논문에서 제안한 적외선 스테레오 카메라를 이용한 고온/소형 이동체의 거리 측정 기술은 그 가능성을 보여주었다. 9.68% 정도의 거리측정 오차는 실험과정에서 포함된 몇 가지 기계적인 오류가 누적된 것으로 분석할 수 있다. 우선, 좌우 스테레오 적외선 카메라를 취득하는 과정에서 적외선 카메라의 특성상 좌우 스테레오 카메라의 정확한 동기(synchronization)가 불가능하여 trigger 신호를 생성하여 좌우 카메라의 프레임을 맞추게 된다.

이로 인하여 연속된 모든 프레임에서 올바른 실험결과를 확인할 수 없었으며, 오류가 다소 커진 경향이 발생하였다. 또한 적외선 카메라의 고유의 문제로서 jittering이 고속 촬영시 크게 영향을 미친다는 점이다. 즉, 50분의 1초마다 정확하게 50 프레임을 1초 동안 촬영하는 것이 아니라, 프레임간의 시간 간격 및 프레임 개수가 10% 정도 차이가 발생한다. 이 때문에, 전기적으로 동기가 이루어지지 않은 3차원 궤적(x,y,z) 측정기의 공간 거리와 스테레오 정합에 의하여 측정된 공간거리가 다른 시간일 수 있게 된다. 특히 이러한 문제는 170 m/s 이상으로 날아가는 고속 이동체의 경우에 10 msec 차이에 대해서도 수 미터의 오류를 발생시키기 때문에, 정확한 실험결과를 도출하는데 어려움을 주고 있다.

향후 연구에서는 적외선 카메라의 jittering에 대한 확률적 모델을 활용하여 오류를 보정하면서 더욱 정확하게 거리를 측정하는 연구개발이 필요하다. 아울러, 매우 빠르고 고온/소형 이동체에 대한 검출 기술 및 추적 기술을 개발하고, 적외선 카메라에 대한 스테레오 정합 알고리즘을 최적화할 필요가 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 스테레오 적외선 카메라를 이용하여 고온/소형 이동체(표적)의 거리를 실시간으로 측정하는 시스템을 제안하였다. 고온의 이동체와 주변 환경의 온도 차이를 이용하여 이동체를 탐지하고, 소형 이동체의 거리를 자동으로 측정하기 위하여 적외선 스테레오 카메라 시스템 및 스테레오 정합 기술을 이용하였다. 우선 적외선 카메라를 이용하여 취득한 고온의 이동체 영상으로부터 주변의 온도분포와 이동체간의 온도차를 이용하여 이동체 영역을 검출하고, 이동체의 움직임 정보와 적외선 카메라 영상의 밝기정보를 결합하여 이동체를 추적하였다. 좌우 적외선 카메라 영상에 대하여 각각 추출된 이동체 영역을 중심으로 스테레오 정합을 수행하여 시차정보를 추정하고, 카메라 파라미터와 시차정보를 이용하여 실시간으로 이동하는 이동체의 거리를 추정하였다. 본 논문에서 제안하는 적외선 스테레오 카메라 시스템을 검증하기 위하여 고온의 이동체를 촬영할 때, 3차원 궤적(x,y,z) 측정기를 함께 가동하여 이동체가 이동하는 거리를 측정하여 이를 기준 거리로 설정하였다. 비디오 데이터로부터 실험한 결과, 적외선 스테레오 카메라를 이용한 고온/소형 이동체의 거리 측정 결과는 9.68% 이내로 추정됨을 확인하였다. 스테레오 적외선 카메라간의 동기화 및 타이밍 문제(jitter), 3차원 궤적(x,y,z) 측정기와 적외선 카메라간의 동기화 문제를 고려한다면, 추정 오차는 더욱 줄어들 것으로 판단된다. 향후 적외선카메라를 이용하는 다양한 이동체의 거리 및 위치를 측정하는데 응용할 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] S. D. Deshpande, M. H. Er, V. Ronda and P. Chan, "Max-Mean and Max-Median filters for detection of small-targets," *Proc. SPIE*, 3809, pp. 74-83, 1999.
- [2] F. Zhang, C. Li and L. Shi, "Detecting and tracking dim moving point target in IR image sequence," *Infrared Physics & Technology*, 46, pp. 323-328, 2005.
- [3] 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.
- [4] A. P. Tzannes and D. H. Brooks, "Temporal filters for point target detection in IR imagery," *Proc. SPIE*, 3061, pp. 508-520, 1997.
- [5] 선선구, "적외선영상에서 질감 특징과 신경회로망을 이용한 표적탐지," 대한전자공학회, 제47권, SC편, 제5호, 2010년.
- [6] 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.
- [7] Sang Hwa Lee and Siddharth Sharma, "A real-time stereo matching using GPU programming," *Proc. of IPIU*, 제주도, 2011년 2월.
- [8] 오준호, 이상화, 이부환, 박종일, "표적 모델 기반 근거리 소형 표적 탐지" *대한전자공학회 추계학술대회*, pp. 409-410, 2010.
- [9] 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 1999.
- [10] O. Riou, S. Berrebi, and P. Bremond, "Nonuniformity correction and thermal drift compensation of thermal infrared camera," *Proc. SPIE* 5405, pp. 294-302, 2004.

저 자 소 개



오 준 호(학생회원)
2006년 한양대학교 전자전기
공학과 학사 졸업.
2009년 한양대학교 메카트로닉스
공학과 석사 졸업.
2010년~현재 한양대학교 전자컴
퓨터통신공학과 박사 과정.

<주관심분야 : 적외선 영상처리, 컴퓨터 비전, 물
체인식>



이 상 화(정회원)
1994년 서울대학교 전자공학과
학사 졸업.
1996년 서울대학교 전자공학과
석사 졸업.
2000년 서울대학교 전기컴퓨터
공학부 박사 졸업.

2005년~2011년 서울대학교 BK21정보기술사업단
BK조교수

2011년~현재 서울대학교 연구조교수

<주관심분야 : 스테레오 및 3D 시스템, 비디오/영
상 신호처리, 패턴인식 및 자동화, 컴퓨터비전.>



이 부 환(정회원)
1991년 경북대학교 전자공학과
학사 졸업.
1993년 경북대학교 전자공학과
석사 졸업.
2006년 경북대학교 전자공학과
박사 졸업

1993년 3월~현재 국방과학연구소 책임연구원.
<주관심분야 : 표적 탐지/인식/추적, 컴퓨터 비전, 디지
털 영상처리>



박 종 일(정회원)-교신저자
1987년 서울대학교 전자공학과
학사 졸업.
1989년 서울대학교 전자공학과
석사 졸업.
1995년 서울대학교 전자공학과
박사 졸업.

1992년~1994년 일본 NHK방송기술연구소
객원연구원

1995년~1996년 한국방송개발원 선임연구원

1996년~1999년 일본 ATR지능영상통신연구소
연구원

1999년~현재 한양대학교 공과대학 컴퓨터공학부
교수

<주관심분야 : 가상현실, 컴퓨터그래픽스/비전, 3
차원 영상처리, 인간컴퓨터 상호작용>