

## 技術論文

J. of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences 41(5), 422-428(2013)

DOI:<http://dx.doi.org/10.5139/JKSAS.2013.41.5.422>

## 레이저포인터와 단일카메라를 이용한 거리측정 시스템

전영산, 박정근, 강태삼, 이정욱\*

## A Distance Measurement System Using a Laser Pointer and a Monocular Vision Sensor

Yeongsan Jeon, Jungkeun Park, Taesam Kang and Jeong-Oog Lee\*

Dept. of Aerospace Information Engineering, Konkuk University

## ABSTRACT

Recently, many unmanned aerial vehicle (UAV) studies have focused on small UAVs, because they are cost effective and suitable in dangerous indoor environments where human entry is limited. Map building through distance measurement is a key technology for the autonomous flight of small UAVs. In many researches for unmanned systems, distance could be measured by using laser range finders or stereo vision sensors. Even though a laser range finder provides accurate distance measurements, it has a disadvantage of high cost. Calculating the distance using a stereo vision sensor is straightforward. However, the sensor is large and heavy, which is not suitable for small UAVs with limited payload.

This paper suggests a low-cost distance measurement system using a laser pointer and a monocular vision sensor. A method to measure distance using the suggested system is explained and some experiments on map building are conducted with these distance measurements. The experimental results are compared to the actual data and the reliability of the suggested system is verified.

## 초 록

최근에 소형무인기(small UAV)에 대한 관심이 증대되고 있는데, 이는 소형무인기가 비용 대비 효율적이고 사람의 접근이 어려운 재난 환경 등에 적합하기 때문이다. 이러한 소형무인기에서 거리측정을 통한 매핑(mapping)은 필수적인 기술이다. 기존의 무인시스템 연구에서 거리 측정 센서는 주로 레이저 센서와 스테레오 비전 센서를 많이 사용하였다. 레이저 센서는 정확도와 신뢰성이 우수하지만 대부분 고가의 장비이고 스테레오 비전 센서는 구현이 용이하지만 무게 측면에서 소형무인기에 탑재하여 사용하기에는 적합하지 않다.

본 논문에서는 레이저 포인터와 단일 카메라를 사용하여 저가의 거리측정기를 구성하는 방안을 소개한다. 제안한 시스템을 이용하여 거리를 측정하고 이로부터 맵을 구성하는 실험을 수행하였고 실제 데이터와 비교 분석하여 시스템의 신뢰성을 검증하였다.

**Key Words** : Small UAV(소형무인기), Monocular Vision Sensor(단일비전센서), Mapping, Low-cost Distance Measurement System(저가형 거리측정 시스템)

† Received: February 14, 2013 Accepted: April 25, 2013

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

\* Corresponding author, E-mail : ljo7@konkuk.ac.kr

pISSN 1225-1348 / eISSN 2287-6871

## I. 서론

무인기(UAV)는 일반적으로 조종사 없이 반자동 또는 자동으로 원격조정이 가능하며, 여러 종류 임무 탑재체 장착이 가능하다. 시작은 군사적인 목적으로 개발되었으나 오늘날에는 통신, 해안 경비, 마약, 불법이민 관리 등의 민간분야에까지 그 활용범위를 넓혀나가고 있으며 실외뿐만 아니라 실내에서도 임무수행이 가능하게 되었다.

특히, 소형무인기(small UAV)는 사무용 빌딩과 상업용 센터와 같은 복잡한 환경에서 공중 감시용으로 사용될 수 있는 장점이 있다. 또한, 소형무인기는 지진, 폭발, 그리고 자연 재난과 같은 상황이 발생하였을 때, 탐색과 구조 임무를 지원할 수 있다. 좁은 공간을 비행하고 붕괴된 건물의 열려진 틈으로 들어가고 기둥과 파괴된 벽 구조물 주변을 비행할 수 있는 소형무인기는 사고 희생자를 신속하게 수색하거나 사람의 개입 없이 재난 지역을 조사할 수 있다. 또한, 위치 확인 기능이 있는 소형무인기는 구조자에게 희생자의 위치를 제공하고, 구조 임무를 완료하도록 도와줄 수 있다. 이와 같은 이유로 소형무인기는 국내외적으로 활발하게 연구 개발 되고 있다.

무인항공기가 임무를 수행함에 있어서 가장 핵심이 되는 기술중 하나는 비행체의 위치인식 및 비행환경에 대한 지도 작성이다. SLAM (Simultaneous Localization And Mapping)은 로봇과 무인운행체가 미지 환경에서 맵 생성과 위치인식을 동시에 수행하게 해주는 기술이다. 그동안 실외비행의 경우 위성항법 시스템과 지리정보시스템을 사용하여 쉽고 정확한 SLAM의 구현이 가능하였다. 하지만 실내 환경의 경우 두 시스템의 사용이 불가능하므로 이를 대체할 새로운 SLAM기법을 필요로 하게 되었다.

기존의 실내 환경을 위한 SLAM 기법들은 Laser Scan Sensor와 Stereo Camera 등의 센서를 사용하여 맵 생성을 가능하게 하였다. 그러나, payload에 제약이 있는 소형무인기의 경우에는 이러한 무거운 센서들을 탑재하는데 어려움이 있기 때문에 소형무인기에 탑재할 수 있는 저렴하고 가벼운 센서의 필요성이 대두되었다.

최근에 단일 비전 센서(Monocular vision sensor) 와 Laser range finder 를 이용한 UAV SLAM 연구가 많이 진행되고 있다[1][2]. 단일 비전 센서는 스테레오 비전 센서에 비해 저렴하고 무게가 가벼워 payload가 크지 않은 소형무인기에 적합하다. 단일 비전 센서는 Localization과 Mapping, 사물 인식, 그리고 움직이는 물체 추

적 등 영상처리에 많이 사용되고 있다[3][4].

Laser range finder는 거리 측정을 정확하게 할 수 있고 무인기가 GPS 통신 신호를 받을 수 없는 실내에서 환경을 스캔하여 2D Local Mapping 이 가능하다[5][6]. 또한, 장애물 탐지, 위치 인식 내비게이션, 장애물 회피 등 많은 응용에서 사용되고 있다. 최근에는 Laser range finder와 단일 카메라 센서, 초음파, 그리고 kinect 등 여러 가지 센서를 이용하여 3D local Mapping을 수행하는 연구가 많이 진행되고 있다[7][8][9].

Laser range finder는 정확도와 신뢰성이 우수하지만 대부분 고가의 장비이고 일부를 제외하고는 무게 측면에서 소형무인기에 탑재하여 사용하기에는 적합하지 않다.

본 논문에서는 레이저 포인터와 영상처리 알고리즘을 사용하여 Laser range finder의 정확도와 신뢰성에 근접하는 성능으로 거리측정이 가능하고 이를 토대로 매핑을 수행하는 시스템을 제안한다. 제안하는 시스템은 무게가 가볍고 저렴하기 때문에 소형무인기에 장착하기가 용이하다. 제안한 시스템을 이용하여 거리를 측정하고 이로부터 맵을 구성하는 실험을 수행하였고 실제 데이터와 비교 분석하여 시스템의 신뢰성을 검증하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2.1장에서 레이저 포인터를 사용하여 거리를 계산하는 알고리즘을 설명하고 2.2장에서 레이저 포인터와 단일 카메라를 이용한 거리측정 센서 시스템 구성에 대하여 소개한다. 2.3장에서 실험 및 분석 결과를 보여주고 결론을 맺는다.

## II. 본론

### 2.1 레이저 포인터 거리계산 알고리즘

벽과 같은 장애물까지의 거리를 측정하고 이로부터 비행환경의 지도를 생성하기 위해서 Fig. 1과 같은 Projection geometry를 사용하여 카메라로부터 레이저 포인트  $P_F(x_F, y_F, z_F)$ 까지의 거리를 산출할 수 있다.

$P_p$ 는 레이저 포인트  $P_F$ 의 영상면(image plane)으로의 투영이고 영상 좌표계( $\vec{P}_x, \vec{P}_y$ )에서  $x_p$ 와  $y_p$ 로 표현된다. ( $\vec{n}_x, \vec{n}_y, \vec{n}_z$ )는 카메라 좌표계이고  $\vec{n}_x$ 는 투영면(projection plane)의 법선 벡터(카메라 방향)이다.  $R$ 은 projection reference point,  $f$ 는 focal length,  $L$ 은 레이저 포인터, 그

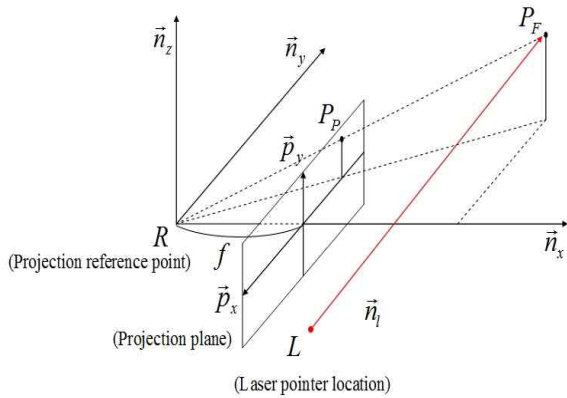


Fig. 1. Projection geometry

리고  $\vec{n}_l$ 은 레이저 포인터 방향으로의 단위 벡터이다.

$\vec{n}_x$ 가 투영면의 법선 벡터이므로  $\vec{P}_x = -\vec{n}_y$ 이고  $\vec{P}_y = -\vec{n}_z$ 임을 알 수 있다. Triangle proportionality를 적용하면 식 (1)과 같이 쉽게  $P_P$ 를 도출해낼 수 있다.

$$P_p(x_p, y_p) = \frac{f}{n_x \cdot RP_F} (-\vec{n}_y \cdot \vec{RP}_F, \vec{n}_z \cdot \vec{RP}_F) \quad (1)$$

또한, 레이저 포인트 위치  $\vec{RP}_F$ 는 식 (2)와 같다.

$$\vec{RP}_F = \vec{RL} + d\vec{n}_l \quad (2)$$

식 (2)를 식 (1)에 적용하면 다음과 같이 식 (3)과 (4)를 얻는다.

$$x_p = \frac{-f \cdot \vec{n}_y \cdot \vec{RP}_F}{n_x \cdot \vec{RP}_F} = \frac{-f \cdot \vec{n}_y \cdot (\vec{RL} + d\vec{n}_l)}{n_x \cdot (\vec{RL} + d\vec{n}_l)} \quad (3)$$

$$y_p = \frac{f \cdot \vec{n}_z \cdot \vec{RP}_F}{n_x \cdot \vec{RP}_F} = \frac{f \cdot \vec{n}_z \cdot (\vec{RL} + d\vec{n}_l)}{n_x \cdot (\vec{RL} + d\vec{n}_l)} \quad (4)$$

그러나  $P_F$ 를 구하기 위해서는 더 많은 식이 필요하다. 알고리즘을 단순화하기 위하여 다음과 같이 가정한다.

- 레이저 포인터는 카메라 방향과 같은 방향으로 보정된다. 즉,  $\vec{n}_l = \vec{n}_x$ 이고  $P_F(x_F, y_F, z_F)$ 의  $z_F$ 는 일정하다.

-  $\vec{RL}$ 은 투영면에 평행하고(즉,  $\vec{n}_z$ 에 평행), 그 크기  $|\vec{RL}|$ 는 주어진다.

이러한 가정 하에, 식 (4)로부터 식 (5)와 같이 레이저 포인터가 카메라 방향과 같은 방향으로 보정되었을 때의  $d$ 값을 쉽게 구할 수 있다.

$$d = \frac{-y_p \vec{n}_x \cdot \vec{RL} - f \vec{n}_z \cdot \vec{RL}}{y_p \vec{n}_x \cdot \vec{n}_l - f \vec{n}_z \cdot \vec{n}_l} = \frac{f |\vec{RL}|}{y_p} \quad (5)$$

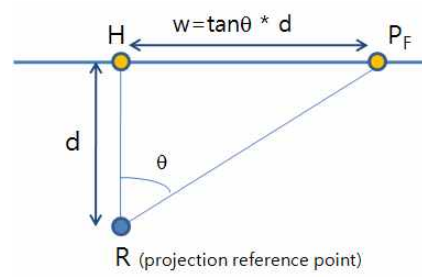


Fig. 2. Distance measurement using a step motor

여기서  $f$ ,  $y_p$ , 그리고  $|\vec{RL}|$ 는 측정되어 주어지고  $d$ 는 카메라로부터 레이저 포인트가 가리키는 장애물까지의 거리 추정치가 된다. 스텝모터를 사용하여 레이저 포인터의 방향을 제어하면 임의의 다양한 위치에 대한 거리 측정이 가능하다. Fig. 2는  $d$ 와  $\theta$ 가 주어지면 H로부터 레이저 포인트 위치  $P_F$ 까지의 거리  $w$ 가 쉽게 구해지는 것을 보여준다.

$d$ 가 주어지면,  $d$ 에서의 LOP(Length of One Pixel)는 식 6과 같이 얻어진다.

$$LOP(d) = \frac{w}{x_{diff}} = \frac{d \times \tan \theta}{x_{diff}} \quad (6)$$

여기서,  $x_{diff}$ 는 영상면 주점(principal point)으로부터 영상내 레이저 포인트 위치까지의 너비차이다.  $d(=x_F)$ 와  $w(=y_F)$ 를 이용하여 카메라 좌표계상의 레이저 포인트의 위치  $P_F$ 를 구한다.

## 2.2 레이저포인터와 비전센서를 이용한 시스템 구성

실험에 사용한 실험 장치 구성은 Fig. 3과 같다. 카메라는 보정이 용이하도록 왜곡이 적은 카메라로 point-Grey 회사의 모델 Chameleon CMLN을 선택하였다.

640X480 해상도의 이미지를 사용하였고 레이저 포인터는 스텝모터에 부착되어 제어된다. 스텝



(a) front view



(b) top view

Fig. 3. An experimental Setup

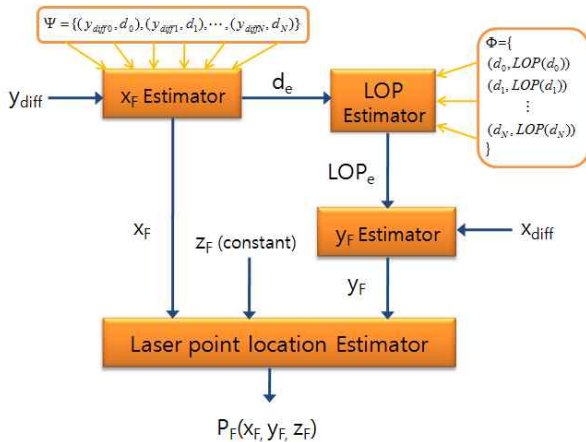


Fig. 4. Laser point location estimator

모터는 지정한 일정한 각도 간격으로 제어가 가능하다. 스텝모터를 사용함으로써, 무인기가 방향을 전환하지 않더라도 다양한 위치에 레이저 포인터를 비추어 거리 측정이 가능하다. 이는 레이저 스캐너와 유사한 개념이다.

식 (5)에서  $|RL|$  은 카메라와 레이저 포인터 사이의 거리이다. 카메라와 레이저 포인터가 정확히 평행하다고 가정하고 식을 적용할 수 있지만, 실제로는 카메라와 레이저 포인터가 완전히 평행하도록 장치를 설치하는 것은 어렵다. 실제 실험에서는 다음과 같이 거리를 추정하였다.  $\Psi = \{(y_{diff0}, d_0), (y_{diff1}, d_1), \dots, (y_{diffN}, d_N)\}$  을 측정에 의해 높이와 거리를 미리 알고 있는 데이터라고 하자.  $y_{diffi} \in Y$  는 영상면 주점(principal point)으로부터 영상내 레이저 포인트 위치까지의 높이차이고  $d_i \in D$  는 카메라로부터 레이저 포인트까지의 거리를 의미한다.  $x_F$  Estimator는  $\Psi$ 로부터 최소제곱(least-square)에 의한 Polynomial curve fitting을 이용하여 생성된다. 그러하면 임의의  $y_{diff}$ 가 주어졌을 때 거리  $d_e (=x_F)$ 는  $x_F$  Estimator로부터 추정된다(Fig. 4).

$LOP(d)$ 는 카메라로부터 레이저 포인트까지의 거리가  $d$ 인 지점에서 촬영한 영상에서 한 픽셀의 실제 거리 (Length of One Pixel)를 의미한다.  $W_i = \{(x_{diff0}, \theta_0), (x_{diff1}, \theta_1), \dots, (x_{diffN}, \theta_N)\}$  는 거리  $d_i$ 에서 측정한 너비와 각도 데이터라고 하자.  $x_{diffj} \in X$  는 영상면 주점(principal point)으로부터 영상내 레이저 포인트 위치까지의 너비차이고  $\theta_j \in \Theta$  는 Fig. 2에서와 같이 스텝모터의 각도이다.  $LOP(d_i)$ 는  $W_i$ 를 식 6에 적용하여 구한다.

$\Phi = \{(d_0, LOP(d_0)), (d_1, LOP(d_1)), \dots, (d_N, LOP(d_N))\}$ 를 카메라로부터 레이저 포인트까지의 거리  $d$ 와 이 거리에서의 LOP 라고 하자. LOP Estimator는  $\Phi$

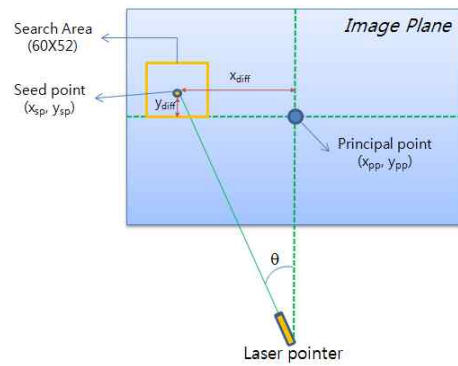


Fig. 5. Search area selection based on the angle  $\theta$

로부터 최소제곱에 의한 Polynomial curve fitting을 이용하여 생성된다. 그러하면 임의의 거리  $d$ 가 주어졌을 때의 한 픽셀의 길이  $LOP_e$ 는 LOP Estimator로부터 추정된다.  $y_F (=w_c)$ 는 식 (6)에서  $x_{diff} \times LOP_e(d)$ 에 의해 간단히 생성되는  $y_F$  Estimator로부터 추정된다.

소형무인기에 장착된 카메라를 통하여 획득된 이미지는 카메라 렌즈의 특성에 따라 왜곡이 발생한다. 왜곡된 이미지를 그대로 사용하면, 이미지내에서 레이저 포인터의 위치가 실제 위치와 차이가 나는 오류가 발생한다. 이를 해결하기 위하여, 획득된 이미지에 대하여 보정(calibration)작업이 필요하다. 본 논문에서는 OPENCV 컴퓨터 그래픽 라이브러리를 사용하여 이미지를 보정함으로써 렌즈 및 이미지 오차를 최소화하였다.

카메라로부터 레이저 포인터가 비추는 곳까지의 거리를 계산하려면, 이미지 내에 있는 레이저 포인트의 픽셀위치  $(x_p, y_p)$ 를 알아야 한다. 하지만, 이미지에서 레이저 포인트 spot은 여러 픽셀에 걸쳐서 나타나기 때문에 정확한 픽셀 위치를 지정하여야 한다. Fig. 5에서와 같이 레이저 포인트의 초기 위치는 스텝모터의 각도로부터 추정하고 이를 seed point로 하여 다음과 같이 레이저 포인트의 정확한 픽셀 위치를 결정한다. 탐색 영역의 크기는  $60 \times 52$  픽셀로 하였다.

1. 스텝모터 각도  $\theta$ 가 주어지면 식 (6)을 이용  $x_{diff}$ 를 계산한다. 즉,  $x_{diff} = 100 * \tan(\theta) / LOP(100)$ 와 같이 계산되어진다. 이 때,  $d$ 는 임의의 값(예 100cm)을 사용한다. 그러하면, seed point는  $(x_{sp}, y_{sp}) = (x_{pp} - x_{diff}, y_{pp} - 26)$ 와 같이 정한다. 여기서  $(x_{pp}, y_{pp})$ 는 주점(principal point)이다. seed point를 중심으로 크기가  $60 \times 52$ 인 탐색영역을 설정한다. 거리  $d$ 에 따른  $y_{diff}$ 의 변화량은 각도  $\theta$ 에 따른  $x_{diff}$  변화량에 비하면 매우 작기 때문

에,  $y_{diff}$  는 임의의 상수값(=26)을 선택하였다.

2. 탐색 영역에서 intensity가 가장 높은 픽셀 위치  $(x_h, y_h)$ 를 찾는다. 레이저 빔(laser beam)은 에너지 측정, 레이저 빔의 intensity 분포, 빔 발산 등의 파라미터를 기반으로 분석된다. 본 논문에서는 레이저 포인트의 각 픽셀에서의 intensity 분포를 분석하여 보다 정확한 레이저 포인트 픽셀 위치를 결정하였다. Fig. 6에서와 같이 레이저 포인트 spot의 intensity는 중심에서 가장 높고 가장자리로 갈수록 감소된다. 이상적인 빔은 Transverse Electromagnetic Mode (TEM)로 전파되고 TEM 모드에서 거리에 따른 irradiance 는 Gaussian function 이다[10]. 그러나, 많은 레이저가 TEM 모드에서 동작하는 것은 아니고 불규칙적인 intensity 변화량을 가질 수 있다. 본 논문에서는 intensity는 거리의 제곱에 반비례한다고 가정하고 다음 식 (7)과 같이 레이저 포인트의 픽셀 위치  $x_p$ 를 결정하였다.

$$x_p = \begin{cases} x_h - \frac{\sqrt{1/(I(x_h) - I(x_h+1))}}{D} & \text{if } I(x_h+1) \geq I(x_h-1) \\ x_h + \frac{\sqrt{1/(I(x_h) - I(x_h-1))}}{D} & \text{if } I(x_h+1) < I(x_h-1) \end{cases} \quad (7)$$

여기서,  $D = \sqrt{1/(I(x_h) - I(x_h+1))} + \sqrt{1/(I(x_h) - I(x_h-1))}$

여기서,  $x_h+1$  과  $x_h-1$ 은  $x_h$ 의 이웃 픽셀이고,  $I(x)$ 는 픽셀 x의 intensity value이다.  $y_p$ 도 같은 방법으로 계산한다.

레이저 포인트 위치를 식별하기 전에 밝은 영역이 넓게 분포되어 있는 배경 효과를 차단하기 위하여 Fig. 7(a)와 같은 적절한 mask를 사용하여 이미지 필터링을 수행한다.

레이저포인트와 카메라를 이용한 센서의 유효

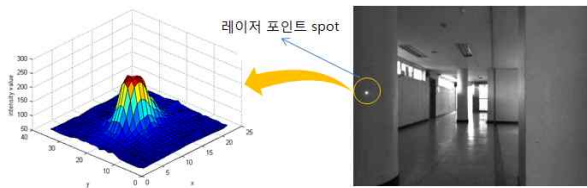


Fig. 6. The relation between distance and intensity values



(a) mask (b) original image (c) filtered image

Fig. 7. Image filtering of bright area in the background

성 검증은 장애물까지의 실제 측정 거리와, 센서로 측정하여 계산에 의해 얻어진 거리와의 오차값 분석을 통하여 이루어졌다. 이는 2.3장에서 소개된다.

### 2.3 실험 및 분석

Figure 3과 같이 장치를 구성하고 실험을 수행하였다. Code vision을 이용하여 스텝모터를 제어하는데 스텝모터는 0.9도 또는 9도 간격으로 제어가 가능하도록 만들었다. 레이저 포인트는 5-7 m 까지 측정하였다.

일반적으로, 비행체 자세는 오일러각(Euler angle: yaw, pitch, 그리고 roll)으로 표현된다. 카메라 좌표계(Camera coordinate system)로 표현된  $P_F(x_F, y_F, z_F)$ 는 전역 좌표계(World coordinate system)로 변환되어야 한다. 이는 다음 식 (8)에 의해 변환된다.

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} x_F \\ y_F \\ z_F \end{bmatrix} + C \quad (8)$$

여기서,  $P(x, y, z)$ 는 전역 좌표계로 표현된 레이저 포인트의 위치이고  $C(x_C, y_C, z_C)$ 는 전역 좌표계에서 카메라(무인기)의 위치를 나타낸다. R은 회전 행렬로 다음 식 (9)와 같다.

$$R = \begin{bmatrix} \cos\psi & \sin\psi & 0 \\ -\sin\psi & \cos\psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ 0 & 1 \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\phi & \sin\phi \\ 0 & -\sin\phi & \cos\phi \end{bmatrix} \quad (9)$$

여기서,  $\psi$ =yaw,  $\theta$ =pitch, 그리고  $\phi$ =roll 이다.

용이한 실험을 위하여, 무인기는 장애물 또는 벽면과 평행하게 비행하도록 가정하였다. Fig. 8에서와 같이 카메라 방향 또한 장애물 또는 벽면에 수직이 되는 위치가 되도록 가정하여 실험을 진행하였다. 무인기 초기 위치를 원점으로 하여

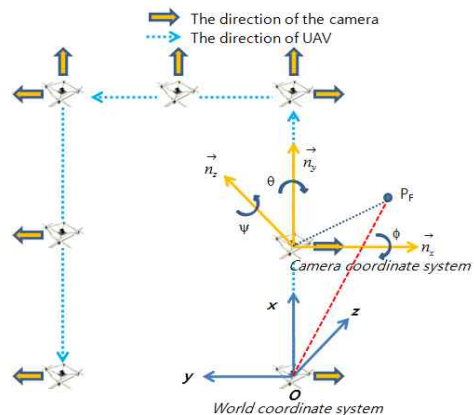


Fig. 8. World coordinate and camera coordinate





Fig. 9. An experimental environment

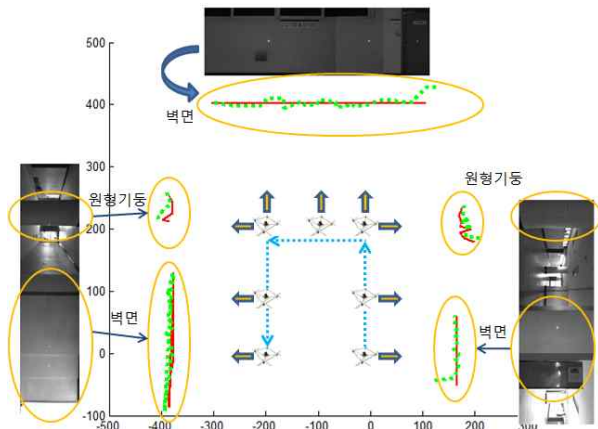


Fig. 10. Map building using a laser pointer and a monocular vision sensor

좌표축을 설정하였다.

실험은 본 대학교 공과대학 A동 4층에서 진행되었다. Fig. 9는 실험 과정의 일부를 보여준다.

무인기가 일정한 위치에서 호버링 상태에 있고 카메라는 일정한 방향으로 고정되어 있는 상태에서 스텝모터를 작동하여 다양한 위치에 레이저 포인터를 비추고 이를 카메라로 촬영한다. 무인기로부터 각 레이저 포인트까지의 거리 및 위치를 3장과 4장의 식에 의해 계산에 의해 구한다. 이때의 위치( $P_F$ )는 카메라 좌표계 상의 위치이다. 이를 전역 좌표계로 변환한다. 이는 현재의 무인기 위치와 카메라 자세 정보가 주어지면 식 (8)을 이용 변환된다. Fig. 10은 이러한 과정을 통하여 구축된 맵을 보여준다. 그림에서 실선은 실제 장애물까지의 거리이고 점선은 계산에 의한 장애물까지의 거리를 나타낸다.

Figure 10에서 장애물까지의 실제거리와 계산에 의한 거리와의 차이를 보여준다. 몇 가지 상

황에서 오차가 더 크게 발생하는데, 주된 요인은 레이저 포인터가 비추는 영역이 너무 밝은 경우에 계산에 영향을 미치게 된다. 이러한 경우를 제외하면 Fig. 11과 Fig. 12에서와 같이 계산에 의한 거리와 실제 거리의 차가 크지 않음을 알 수 있다. Fig. 11은 x축을 기준으로 그리고 Fig. 12는 y축을 기준으로 실제거리와 계산에 의한 거리를 표현한 것이다. 그림에서 distance의 단위는 cm이다.

각 레이저 포인트까지의 거리 측정 오차를 보면 10cm 보다 큰 오차도 일부 있지만 대부분 5cm 미만이었다. 실험을 진행한 결과 대체로 5-7m 정도의 거리에 있는 장애물까지 평균 3% 미만의 오차율로 탐지할 수 있었다. 7m 이상에서도 거리 측정은 가능하지만 영상처리의 어려움으로 상대적으로 오차가 크게 발생하기 때문에 데이터 신뢰성이 떨어진다.

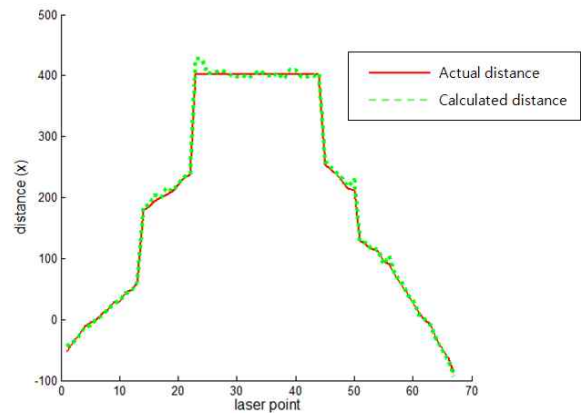


Fig. 11. Comparison between Actual distance and Calculated distance along the x axis

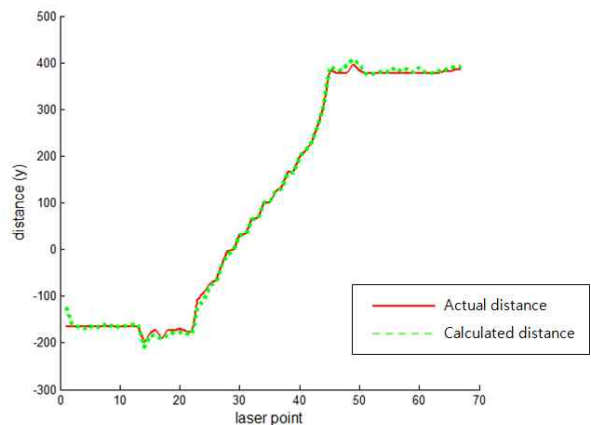


Fig. 12. Comparison between Actual distance and Calculated distance along the y axis

레이저포인터와 단일 카메라를 이용한 거리 측정에는 레이저 포인터의 특성상 주변이 매우 밝은 경우에는 어느 정도의 오차는 있었지만, 이미 실내에서 레이저 포인트의 위치를 영상처리를 통하여 식별하였을 때, 매우 밝은 경우(예를 들면 실내의 경우 형광등과 같은 위치에 레이저 포인터가 비추었을 때)를 제외하고는 밝기에 의한 영향이 최소화됨을 알 수 있다. 레이저 포인터와 영상처리를 이용한 거리측정은 저렴한 가격에 신뢰성 있는 데이터를 취득할 수 있는 센서가 될 수 있다.

### III. 결 론

본 논문에서는 기존의 Laser range sensor나 스테레오 비전 시스템과 같은 고가의 센서를 사용하지 않고, 단일 카메라와 레이저 포인터만을 사용하여 거리를 측정할 수 있는 센서 시스템을 제안하였다. 실험 결과 7m 이내에 있는 장애물은 평균 3%미만의 오차율로 거리 측정이 가능하였다.

본 연구에서 제안하는 거리측정 방법은 레이저 포인터를 사용하기 때문에, 레이저 포인터의 밝기보다 훨씬 밝은 영역에서는 오차가 다른 영역에 비해 상대적으로 크지만, 초음파 센서 등을 보완적으로 사용한다면 저가의 신뢰성 있는 거리 측정 센서로 사용이 가능할 것이다. 또한, 저렴한 가격과 소형화된 센서는 소형무인기에 적합하므로 실내에서 동작하는 소형무인기에 적합한 센서 시스템이다. 추후에는 본 논문에서 제안한 센서 시스템을 기반으로 영상처리 알고리즘을 개발하여 3D-map을 구성하는 시스템에 대한 연구를 진행할 예정이다.

### 후 기

이 논문은 2011년도 건국대학교 학술진흥연구비 지원에 의한 논문임.

### References

1) F. Caballero, L. Merino, J. Ferruz, and A. Ollero, "Unmanned Aerial Vehicle Localization Based on Monocular Vision and Online Mosaicking", *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, Vol.55, Issue 4-5, pp 323-343, August

2009.

2) Shah, Syed Irtiza Ali, "Vision based 3D obstacle detection using a single camera for robots/UAVs", M.S. Thesis, Georgia Institute of Technology, July 2009.

3) S. Se, P. Firoozfam, N. Goldstein, L. Wu, M. Dutkiewicz, P. Pace, J.L.P. Naud, "Automated UAV-based mapping for airborne reconnaissance and video exploitation", *Proceedings of the SPIE*, Vol.7307, 2009.

4) T. Suzuki, Y. Amano, T. Hashizume, and S. Suzuki, "3D Terrain Reconstruction by Small Unmanned Aerial Vehicle Using SIFT-Based Monocular SLAM", *Journal of Robotics and Mechatronics*, Vol.23, No.2 pp. 292-301, 2011.

5) A.R. Corregedor, J. Meyer, and F. Du Plessis, "Design principles for 2D local mapping using a laser range finder", *Proceedings of the IEEE Africon 2011*, pp. 1-6, September 2011

6) M.K. Mohamed, S. Patra, and A. Lanzon, "Designing simple indoor navigation system for UAVs", *Proceedings of the 19th Mediterranean Conference on Control and Automation*, pp. 1223-1228, June 2011.

7) J.H. Joung, K.H. An, J.W. Kang, M.J. Chung, and W.P. Yu, "3D environment reconstruction using modified color ICP algorithm by fusion of a camera and a 3D laser range finder", *Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 3082-3088, October 2009.

8) N. M. Johnson, "Simultaneous Localization, Mapping and Object Tracking in an Urban Environment using Multiple 2D Laser Scanners", Ph.D. Thesis, University of Florida, 2010.

9) M. Bryson, M. Johnson-Roberson, and S. Sukkarieh, "Airborne smoothing and mapping using vision and inertial sensors", *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp. 2037-2042, May 2009.

10) Yas A. Alsultanny, "Laser Beam Analysis Using Image Processing", *Journal of Computer Science* Vol.2 No.1, pp. 109-113, 2006.