

# 자이로스코프를 이용한 영상/DR 통합 항법 시스템의 자세보정

## Attitude Compensation of Vision/DR Integrated Navigation System Using Gyroscope

박슬기, 구문석, 황동환\*  
(Sul Gee Park<sup>1</sup>, Moon Suk Koo<sup>2</sup>, and Dong-Hwan Hwang<sup>2</sup>)

<sup>1</sup>Korea Ocean Research & Development Institute

<sup>2</sup>Chungnam National University

**Abstract:** This paper proposes a vision/DR integrated navigation system using distance between wheels of the vehicle and a gyroscope. In order to show the validity of the proposed vision/DR integrated navigation system, experiments were performed for a trajectory of a mobile robot. Experimental results show that the proposed vision/DR integrated navigation system gives better navigation performance than a vision/DR integrated navigation system using only distance between wheels of the vehicle.

**Keywords:** vision, DR, encoder, gyro, integrated navigation, distance between wheels of the vehicle

### I. 서론

항법이란 항체의 위치, 속도, 자세정보를 알아내는 것으로 크게 추측 항법 시스템(DR: Dead Reckoning System)과 위치고정 시스템(position fixing system)으로 나눌 수 있다[1]. DR 시스템은 연속적으로 항법 결과를 제공하고 외부 환경의 영향을 받지 않는 장점이 있지만, 시간이 지남에 따라 적분에 의한 오차가 커지는 단점을 가지고 있다[2]. 반면에 위성항법장치의 경우에는 가벽 대비 성능이 우수하고 오차가 누적되지는 않지만 전파간섭이나 신호두절이 발생할 경우에는 항법이 불가능하거나 잘못된 정보를 제공할 수 있게 되는 단점이 있다. 이러한 이유로 많은 항법장치에서 GPS 이외의 안정적인 보조 정보를 이용하는 항법 시스템이 요구되고 있다. 이러한 외부 센서로는 지자기 센서, 별 추적기(star trackers), 항공기 기상 레이더(airborne weather radar), 영상센서, 무선 항법 조력(radio navigation aids), 속도계 등이 있다[3,4].

최근에 영상센서 및 영상처리 알고리즘의 발전에 따라 영상센서를 위치 고정 시스템의 센서로 활용하려는 연구가 로봇이나 무인기 등에서 활발히 전개되고 있다[5,6]. 특히 영상센서는 무게가 가볍고 소형화가 가능하므로 초소형 비행체(MAV: Micro Air Vehicle)의 항법장치로도 검토되고 있다[7]. 영상 이미지로부터 항법에 필요한 정보를 추출하려는 노력이 꾸준히 시도되고 있는데, Ettinger는 영상내의 수평선을 검출하고 그 결과로부터 하늘과 지상을 구분하여 자세를 제어하는 알고리즘을 구현한 바 있다[8]. 토마호크순항 미사일에 서는 TERCOM/DSMAC (Terrain Contour Matching/Digital Scene Matching Area Correction)이라는 대상지역의 지형정보와 영상 정보를 이용한 항법을 수행하고 있다[9].

\* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수: 2010. 4. 16., 수정: 2010. 6. 4., 채택확정: 2010. 6. 10.

박슬기: 한국 해양 연구원(parksg85@moeri.re.kr)

구문석, 황동환: 충남대학교 전자공학과

(koomoonsuk@cnu.ac.kr/dhhwang@cnu.ac.kr)

※ 이 연구는 2009년도 충남대학교 학술연구비에 의해 지원되었음.

※ 본 논문은 2010년도 ICROS 학술대회에서 초안이 발표되었습니다.

영상센서를 이용하는 항법 시스템으로 여러 가지 형태의 영상/DR 통합 항법 시스템을 볼 수 있는데, 바퀴간의 거리를 이용하면 우수한 성능을 얻을 수 있음을 보인바 있다 [10,11][13]. 그런데 이러한 구조에서도 위치측정은 정확하였지만 방향각은 비교적 큰 오차를 보였다. 따라서 본 논문에서는 방향각 오차를 줄이기 위한 방법으로 자이로스코프(Gyroscope)를 사용하는 방법을 제안하고, 로봇을 대상으로 실험을 수행하고, 성능을 평가한 결과를 제시하고자 한다.

앞으로 II 장에서는 대상 항체에 대하여 서술하고, III 장에서 본 논문에서 제안하는 항체의 바퀴간의 거리와 자이로를 이용한 영상/DR 통합 항법 시스템에 대하여 서술한다. IV 장에서는 이동로봇을 대상으로 제안하는 시스템의 성능 평가 결과를 보였으며, V 장에서는 결론을 맺고 추후 연구과제를 제시한다.

### II. 대상 항체의 구조

본 논문에서 대상으로 하는 항체의 구조는 그림 1과 같다. 항체의 두 바퀴에는 각각 엔코더가 장착되어 있고, 바퀴간의 거리는  $D$ 라고 한다. 항체에는 카메라와 자이로가 장착되

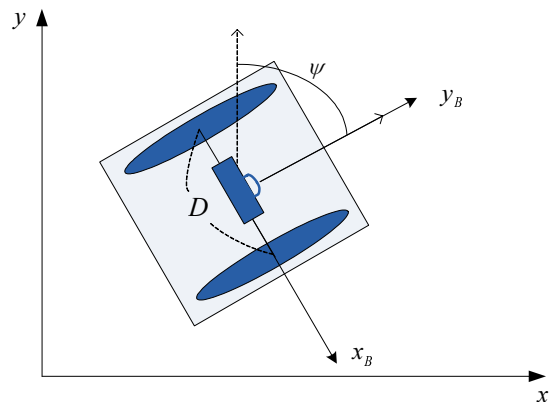


그림 1. 항체의 구조.

Fig. 1. Structure of the vehicle.

어 있다. 방향각 ( $\psi$ ) 은 기준좌표계인 항법좌표계(navigation coordinate system) ( $x, y$ ) 와 항체의 좌표계인 동체좌표계(body coordinate system)가 이루는 각이다. 항체가 움직이는 바다면은 평탄하며 항체의 미끄러짐은 없다고 한다. 카메라와 자이로 등의 모든 센서는 항체의 무게중심에 부착되어 있다고 하자, 즉, 영상센서와 자이로센서는 동체좌표계에 고정되어 있다.

### III. 항체의 바퀴간의 거리와 자이로를 이용한 영상/DR 통합 항법 시스템

#### 1. 항법 시스템 구조

본 논문에서 제안하는 항체의 바퀴간의 거리와 자이로를 이용한 영상/DR 통합 항법 시스템의 구조는 그림 2에 나타내었다. 엔코더 출력과 항체의 구조적 특징인 두 바퀴 사이의 거리를 이용하여 DR 시스템은 위치와 방향각을 계산한다. DR 시스템에서 계산한 위치와 방향각을 보정하기 위하여 위치 표시의 영상정보로부터 측정된 시선각 벡터와 DR로부터 계산한 시선각 벡터의 차이 및 엔코더 출력으로부터 계산한 항체의 방향각과 자이로 출력으로부터 계산한 방향각의 차이를 칼만필터의 입력으로 사용한다.

#### 2. 영상처리

본 논문에서는 이미 알고 있는 위치에 표시를 두어서 이에 대하여 취득한 영상으로부터 시선각 벡터를 추출하여 항법에 이용한다. 먼저 카메라에서 획득한 영상데이터에 대하여 위치표식의 에지(edge)를 검출하고, 라벨링(labeling)을 수행한다. 그리고 위치표식 영상의 중심좌표를 구하여 항체와 위치표식간의 시선각 벡터를 구한다. 이 때 렌즈 노이즈에 의한 왜곡이나 영상 왜곡은 없다고 가정하여 보상은 하지 않았다 [12].

#### 3. DR 항법 알고리즘 및 Kalman 필터 시스템 모델

전술한 바와 같이 DR 시스템에서는 두 바퀴에 부착된 엔코더 출력으로부터 방향각과 위치를 계산하며, 추정된 항체의 위치와 방향각은 다음 식 (1)~식 (3)과 같이 자이로 출력으로부터 계산한 방향각은 다음 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\hat{x}(t) = \hat{x}(t_0) + \int_{t_0}^t \hat{l}(t) \sin \hat{\psi}_E(t) dt \tag{1}$$

$$= f_x(\hat{x}, \hat{y}, \hat{\psi}_E, \hat{S}_R, \hat{S}_L, \hat{D}, \hat{\psi}_G, \hat{S}_G, \hat{B}_G)$$

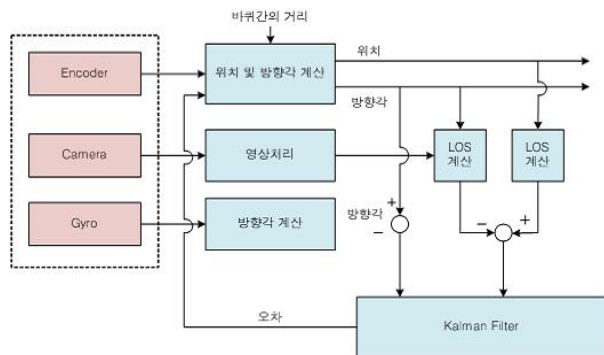


그림 2. 항체 바퀴간의 거리와 자이로를 이용한 영상/DR 통합 항법 시스템.

Fig. 2. Vision/DR integrated navigation system using kinematic characteristic of vehicle and gyroscope.

$$\hat{y}(t) = \hat{y}(t_0) + \int_{t_0}^t \hat{l}(t) \cos \hat{\psi}_E(t) dt \tag{2}$$

$$= f_y(\hat{x}, \hat{y}, \hat{\psi}_E, \hat{S}_R, \hat{S}_L, \hat{D}, \hat{\psi}_G, \hat{S}_G, \hat{B}_G)$$

$$\hat{\psi}_E(t) = \hat{\psi}_E(t_0) + \int_{t_0}^t \left( \frac{\hat{l}_L(t) - \hat{l}_R(t)}{\hat{D}} \right) dt \tag{3}$$

$$= f_{\psi_E}(\hat{x}, \hat{y}, \hat{\psi}_E, \hat{S}_R, \hat{S}_L, \hat{D}, \hat{\psi}_G, \hat{S}_G, \hat{B}_G)$$

$$\hat{\psi}_G(t) = \hat{\psi}_G(t_0) + \int_{t_0}^t \hat{S}_G (V_G(t) - \hat{B}_G) dt \tag{4}$$

여기서 아래첨자  $R, L$ 과  $G$ 은 오른쪽 및 왼쪽 바퀴와 자이로를 나타내며,  $l$  은 이동거리,  $\dot{l}$  은 속력,  $\psi_E$  는 방향각,  $t_0$  는 초기시간,  $S$ 는 환산계수(scale factor),  $B$ 는 바이어스,  $V$ 는 자이로의 출력전압을 나타낸다.  $\hat{x}, \hat{y}, \hat{l}, \hat{\psi}_E$  는 위치의  $x$  좌표 계산치, 위치의  $y$ 좌표 계산치, 속력의 계산치 및 방향각의 계산치를 나타내며,  $\hat{\psi}_G, \hat{S}_G, \hat{B}_G$  는 방향각의 계산치, 계산에서 사용한 자이로 환산계수, 계산에서 사용한 자이로 바이어스를 나타낸다.

칼만필터에서 구성할 오차 모델을 구하기 위하여 식(1)~식 (4)에서 나타낸 항체의 위치 및 방향각에 관한 계산식을 엔코더 출력으로부터 계산한 위치의  $x$ 좌표, 엔코더 출력으로부터 계산한 위치의  $y$ 좌표, 엔코더 출력으로부터 계산한 방향각, 오른쪽바퀴 엔코더의 환산계수, 왼쪽바퀴 엔코더의 환산계수, 두바퀴 사이의 거리, 자이로의 방향각, 자이로 환산계수, 자이로 바이어스에 대하여 테일러 급수로 전개하고 2차 항 이상을 무시하면, 즉, 전술한 변수에 대하여 선형화하면 다음 식 (5)~식 (8)을 얻을 수 있다.

$$\hat{\dot{x}}(t) = f_x(x, y, \psi_E, S_R, S_L, D, \psi_G, S_G, B_G) + \frac{\dot{U}_R(t)S_R(t) + \dot{U}_L(t)S_L(t)}{2} \cdot \cos \psi_E(t) \cdot \delta \psi_E \tag{5}$$

$$+ \frac{\dot{U}_R(t)}{2} \cdot \sin \psi_E(t) \cdot \delta S_R + \frac{\dot{U}_L(t)}{2} \cdot \sin \psi_E(t) \cdot \delta S_L$$

$$\hat{\dot{y}}(t) = f_y(x, y, \psi_E, S_R, S_L, D, \psi_G, S_G, B_G) - \frac{\dot{U}_R(t)S_R(t) + \dot{U}_L(t)S_L(t)}{2} \cdot \sin \psi_E(t) \cdot \delta \psi_E \tag{6}$$

$$+ \frac{\dot{U}_R(t)}{2} \cdot \cos \psi_E(t) \cdot \delta S_R + \frac{\dot{U}_L(t)}{2} \cdot \cos \psi_E(t) \cdot \delta S_L$$

$$\hat{\dot{\psi}}_E = f_{\psi_E}(x, y, \psi_E, S_R, S_L, D, \psi_G, S_G, B_G) - \frac{\dot{U}_R(t)}{D} \cdot \delta S_R \tag{7}$$

$$+ \frac{\dot{U}_L(t)}{2} \cdot \delta S_L + \frac{\dot{U}_R(t)S_R(t) - \dot{U}_L(t)S_L(t)}{D^2} \cdot \delta D$$

$$\hat{\dot{\psi}}_G = f_{\psi_G}(x, y, \psi_E, S_R, S_L, D, \psi_G, S_G, B_G) + (V_G - B_B) \cdot \delta S_G - S_G \cdot \delta B_B \tag{8}$$

여기서  $\dot{U}$  는 엔코더 펄스(pulse)의 변화율을 나타낸다. 왼쪽 바퀴 및 오른쪽 바퀴 엔코더의 환산계수 오차, 바퀴 사이의 거리 오차, 자이로의 환산계수 오차와 바이어스 오차는 다음 식 (9)~ 식 (13)과 같이 랜덤워크로 둔다.

$$\delta \dot{S}_R = w_{S_R}(t) \tag{9}$$

$$\delta \dot{S}_L = w_{S_L}(t) \tag{10}$$

$$\begin{bmatrix} \delta X(k+1) \\ \delta Y(k+1) \\ \delta \psi_E(k+1) \\ \delta S_R(k+1) \\ \delta S_L(k+1) \\ \delta D(k+1) \\ \delta \psi_G(k+1) \\ \delta S_G(k+1) \\ \delta B_G(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \cos\psi_E \frac{\dot{E}_R S_R + \dot{E}_L S_L}{2} h & \sin\psi_E \frac{\dot{E}_R}{2} h & \sin\psi_E \frac{\dot{E}_L}{2} h & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -\sin\psi_E \frac{\dot{E}_R S_R + \dot{E}_L S_L}{2} h & \cos\psi_E \frac{\dot{E}_R}{2} h & \cos\psi_E \frac{\dot{E}_L}{2} h & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -\frac{\dot{E}_R}{D} h & \frac{\dot{E}_L}{D} h & \frac{\dot{E}_R S_R - \dot{E}_L S_L}{D^2} h & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & (V_G - B_G)h & -S_G \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta X(k) \\ \delta Y(k) \\ \delta \psi_E(k) \\ \delta S_R(k) \\ \delta S_L(k) \\ \delta D(k) \\ \delta \psi_G(k) \\ \delta S_G(k) \\ \delta B_G(k) \end{bmatrix} + \mathbf{w}(k) \tag{14}$$

$$\delta \dot{D} = w_D(t) \tag{11}$$

$$\delta \dot{S}_G = w_{S_G}(t) \tag{12}$$

$$\delta \dot{B}_G = w_{B_G}(t) \tag{13}$$

식 (5)~식 (8)을 오차에 대해 정리하고 이산화하면 식 (14)와 같다. 식(14)에서  $\dot{E}$ 는 이산화한 엔코더 출력을 나타내며,  $h$ 는 샘플링 시간(sampling time)을 나타낸다.

4. 칼만필터의 측정식

그림 2의 구조에서는 위치 표식의 영상정보로부터 측정된 시선각 벡터와 DR로부터 계산한 시선각 벡터의 차이 및 엔코더 출력으로부터 계산한 항체의 방향각과 자이로 출력으로부터 계산한 방향각의 차이를 칼만필터의 입력으로 사용한다. 따라서 다음 식 (15)와 같은 측정식을 얻을 수 있다.

$$Z = \begin{bmatrix} \hat{L}OS_{DR} - \hat{L}OS_{camera} \\ \hat{\psi}_E - \hat{\psi}_G \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \delta LOS_{DR} - \delta LOS_{camera} \\ \delta \psi_E - \delta \psi_G \end{bmatrix} + v \tag{15}$$

여기서  $\hat{L}OS_{DR}$ 은 DR 센서로부터 계산한 단위 시선각 벡터이고,  $\hat{L}OS_{camera}$ 는 영상으로부터 측정된 단위 시선각 벡터를 나타낸다.  $v$ 는 측정잡음으로 화이트 가우시안(white gaussian)을 나타낸다. 위치표식의 영상으로부터의 시선각 벡터는 그림 3에 나타내었으며, 아래첨자  $i$ 는 영상이 맺히는 화면인 영상좌표계를 나타내고,  $c$ 는 카메라 좌표계를 나타내며  $o$ 는 원점을 나타낸다. 그림 3에서 카메라 좌표계의 원점과 영상좌표계의 위치표식 중심좌표까지의 시선각 벡터는 카메라

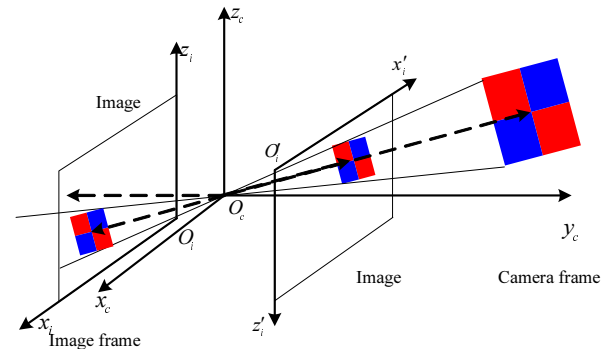


그림 3. 영상에서 위치표식까지의 시선각 벡터.  
Fig. 3. The line of sight vector to the land mark in the image.

좌표계의 원점과 실제 위치표식까지의 시선각 벡터와 같음을 알 수 있다. 영상센서는 항체에 고정되어 있으므로 엔코더 출력으로부터 계산한 방향각을 사용하여, 항법좌표계로 변환하여야 한다. 따라서 단위 시선각 벡터는 다음 식 (16)와 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} \hat{L}OS_{camera} &= \begin{bmatrix} \cos\hat{\psi}_E & -\sin\hat{\psi}_E \\ \sin\hat{\psi}_E & \cos\hat{\psi}_E \end{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{x^2 + f^2}} \begin{bmatrix} x & f \end{bmatrix}^T \\ &= \begin{bmatrix} \cos(\psi_E + \delta\psi_E) & -\sin(\psi_E + \delta\psi_E) \\ \sin(\psi_E + \delta\psi_E) & \cos(\psi_E + \delta\psi_E) \end{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{x^2 + f^2}} \begin{bmatrix} x & f \end{bmatrix}^T \end{aligned} \tag{16}$$

여기서  $f$ 는 카메라 초점거리,  $x$ 는 카메라 영상에서의 위치표식의  $x$  축 좌표를 나타낸다. 식 (6)에서 시선각 벡터의 측정치  $\hat{L}OS_{camera}$ 에 포함된 오차는 다음 식 (17)과 같이 정리할 수 있다.

$$\delta LOS_{camera} = \frac{1}{\sqrt{x^2 + f^2}} \begin{bmatrix} x \cos\psi_E + f \sin\psi_E \\ -x \sin\psi_E + f \cos\psi_E \end{bmatrix} \delta\psi_E \tag{17}$$

측정식 (15)을 선형화하여 정리하면 다음 식 (18)을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} \mathbf{y} = & \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{x}{f(x,y)} \right) & \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{x}{f(x,y)} \right) & \frac{1}{\sqrt{x^2 + f^2}} (x \cos\psi_E + f \sin\psi_E) \\ \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{y}{f(x,y)} \right) & \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{y}{f(x,y)} \right) & \frac{1}{\sqrt{x^2 + f^2}} (-x \sin\psi_E + f \cos\psi_E) \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta x(k) \\ \delta y(k) \\ \delta \psi_E(k) \\ \delta S_R(k) \\ \delta S_L(k) \\ \delta D(k) \\ \delta \psi_G(k) \\ \delta S_G(k) \\ \delta B_G(k) \end{bmatrix} + \mathbf{v}(k) \tag{18} \\ & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

IV. 성능 검증

본 절에서는 제안한 항법 시스템의 유효성을 보이기 위한 실험 결과를 제시한다.

1. 실험 시스템의 구성 및 실험환경

제안한 항체의 바퀴간의 거리와 자이로를 이용한 영상/DR 통합 항법 시스템의 실험은 그림 4에 보인 것과 같이 (주)한울로보틱스의 제품인 이동로봇 Hanuri-RD4를 이용하였다. 이동로봇에 장착한 자이로 센서는 CruzCore사의 R1001E이고, 카메라는 Logitech사의 Quickcam pro4000이다. 성능 평가를 위한 통합 항법 시스템의 결과는 엔코더, 자이로, 카메라의 모든 원시(raw) 데이터를 후처리(post-processing)하여 얻었다. 모든 원시데이터를 수집하였으므로 실시간이 아닌 후처리로 결과를 처리하였지만, 실시간 실험시스템의 구성은 가능하다. 데이터 수집시에 각 센서의 샘플링 시간은 항법 시스템의 센서동작 특성과 칼만필터의 측정치 보정주기에 따라 엔코더 0.02ms, 자이로 10ms, 카메라 1s로 설정하였으며, 데이터 처리 및 알고리즘 구동시간을 확인한 결과 실시간으로 항법 시스템을 동작하는 것이 가능함을 확인하였다.

실험 환경은 그림 4와 같으며, 4m×4m의 공간에 총 10개의 위치 표식을 설치하였다. 그림 5에서 보인 경로에 대하여,



그림 4. 실험 환경.  
Fig. 4. Experiment environment.

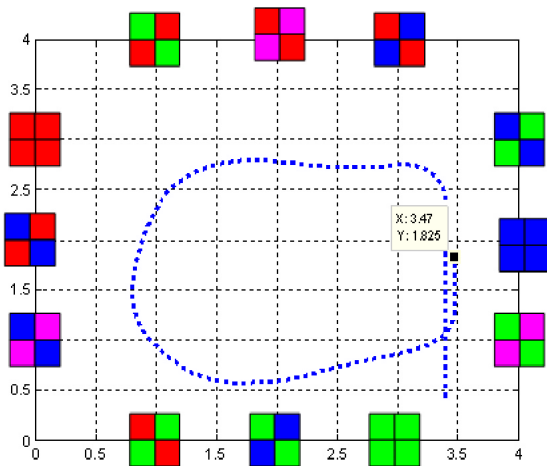


그림 5. 실험의 구성 및 경로.  
Fig. 5. Experimental configuration and trajectory.

총10회의 실험을 수행하였는데, 각 시행의 시간은 85초이며 그림 5에 표시한 지점에서 도착하였다. 기준 경로에 대하여, 제안한 항법 시스템의 성능을 보여야 하지만, 참 경로를 알 수 없으므로 도착지점의 오차를 기준으로 성능을 보였다.

2. 항체의 바퀴간의 거리만을 이용한 영상/DR 통합 항법 시스템의 실험결과

제안한 시스템의 성능을 비교하기 위하여 그림 6에 제시한 두 바퀴 사이의 거리차인 항체의 바퀴간의 거리만을 이용한 영상/DR 통합 항법 시스템에 대한 실험을 먼저 수행하였다. 실험 결과로 표 4에 최종위치의 오차를 나타내었고, 그림 7은 실험 결과의 궤적을 나타낸 것이고, 그림 8은 최종위치의 참값과 실험 결과의 최종위치를 나타낸 것이다.

실험 결과에서 x좌표는 20cm, y좌표는 30cm 정도의 오차를 볼 수 있다.

3. 제안한 영상/DR 통합 항법 시스템의 실험 결과

표 5, 그림 9와 그림 10에 제시하였다. 실험 결과로부터 제안한 영상/DR 통합 항법 시스템은 x축 및 y축 오차가 5cm 정도인 것을 볼 수 있다. 표 4 및 그림 7의 결과와 비교하여 제안한 시스템의 성능이 매우 우수한 것을 알 수 있다. 제안한 영상/DR 통합 항법 시스템의 실험 결과는 다음 표 5와

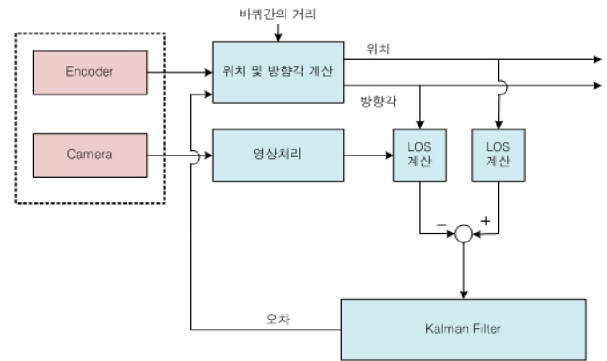


그림 6. 항체의 바퀴간의 거리만을 이용한 영상/DR 통합 항법 시스템.

Fig. 6. Vision/DR integrated navigation using only kinematic characteristic of vehicle.

표 4. 항체의 바퀴간의 거리만을 이용한 영상/DR 통합 항법 시스템 실험 결과.

Table 4. Experimental result of vision/DR integrated navigation system using only kinematic characteristic of vehicle.

실험 횟수	위치 오차	
	X[m]	Y[m]
1	0.1876	0.29
2	0.1861	0.2889
3	0.1872	0.2906
4	0.1877	0.2882
5	0.1867	0.2891
6	0.1886	0.2907
7	0.1976	0.288
8	0.2113	0.2882
9	0.1928	0.2936
10	0.2066	0.2844
평균	0.193	0.289

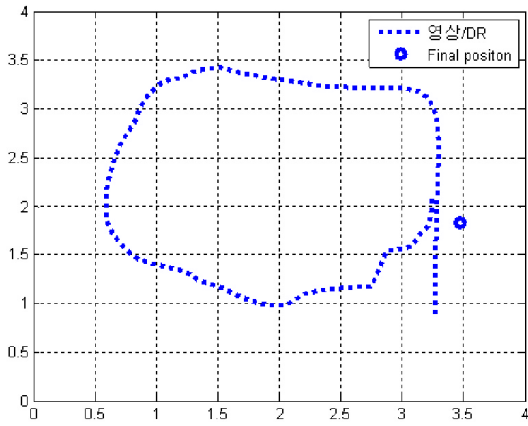


그림 7. 항체의 바퀴간의 거리만을 이용한 영상/DR 통합 항법 시스템 실험 결과 궤적.

Fig. 7. Experimental result trajectory of vision/DR integrated navigation using only kinematic characteristic of vehicle.

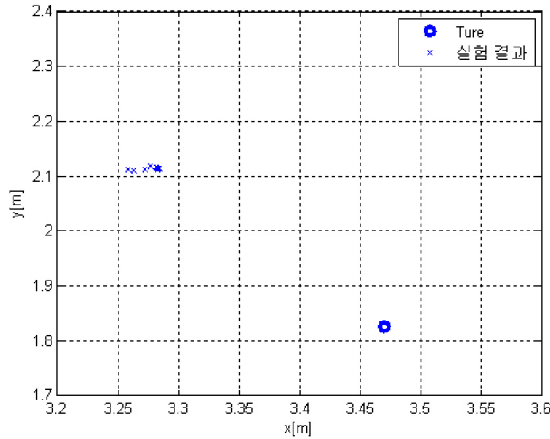


그림 8. 최종위치의 참값과 항체의 바퀴간의 거리만을 이용한 영상/DR 통합 항법 시스템에 대한 실험 결과의 최종위치.

Fig. 8. True value of the final position and final position of the experimental results for the Vision/DR integrated navigation system using only kinematic characteristic of vehicle.

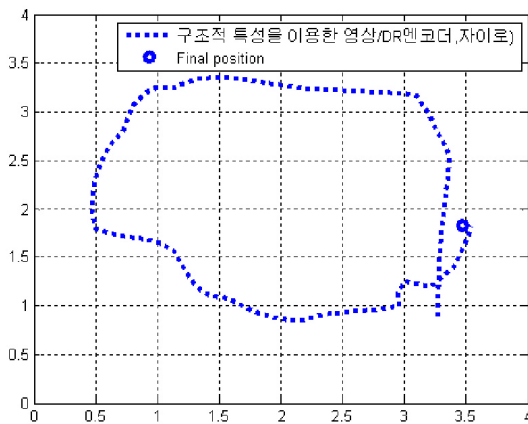


그림 9. 제안한 영상/DR 통합 항법 시스템 실험 결과 궤적.

Fig. 9. Experimental result trajectory of the proposed vision/DR integrated navigation system.

표 5. 제안한 영상/DR 통합 항법 시스템의 실험 결과.

Table 5. Experimental result of the proposed vision/DR integrated navigation system.

실험 횟수	위치 오차	
	X[m]	Y[m]
1	-0.0055	-0.1057
2	-0.0628	-0.0178
3	-0.0615	-0.016
4	-0.0623	-0.0165
5	-0.0613	-0.0197
6	-0.0067	-0.1056
7	-0.0503	-0.0207
8	-0.0356	-0.0224
9	-0.036	-0.0164
10	-0.0188	-0.1038
평균	-0.040	-0.044

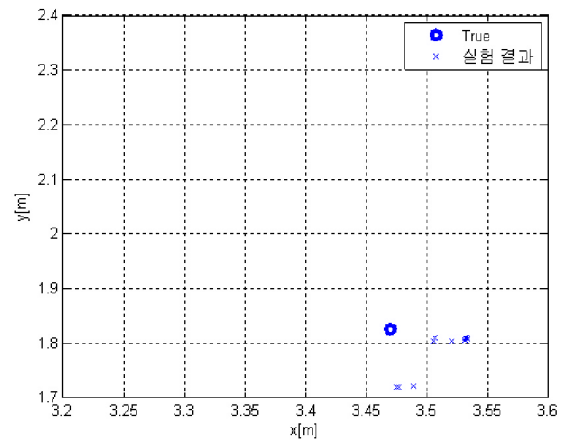


그림 10. 최종위치의 참값과 제안한 영상/DR 통합 항법 시스템에 대한 실험 결과의 최종위치.

Fig. 10. True value of the final position and final position of the experimental results for the proposed Vision/DR integrated navigation system.

그림 8에 제시하였다. 실험 결과로부터 제안한 영상/DR 통합 항법 시스템은 x축 및 y축 오차가 5cm 정도인 것을 볼 수 있다. 제안한 구조는 그림 6의 구조에 비하여 자이로 센서를 추가하여 사용하며, 그 결과 칼만 필터 입력에 엔코더 출력으로부터 계산한 방향각과 자이로 출력으로부터 계산한 방향각의 차이를 부가할 수 있다. 따라서 제안한 구조가 엔코더 출력으로부터 계산한 방향각 오차를 더욱 더 잘 보상할 수 있기 때문에 우수한 결과를 얻을 수 있었다고 생각한다.

V. 결론

본 논문에서는 바퀴간의 거리와 자이로를 이용한 영상/DR 통합 항법 시스템을 제안하였다. 제안한 영상/DR 통합 항법 시스템의 유효성을 보이기 위하여, 이동로봇에 대하여 실험을 수행하였으며, 바퀴간의 거리만을 이용한 영상/DR 통합 항법 시스템의 실험 결과에 비하여 우수한 성능을 보임을 확인하였다.

추후에는 여러 가지 궤적에 대한 실시간 실험과 자연표식에 대한 영상기반 항법 시스템에 대한 연구를 수행해야 할 것이다.

## 참고문헌

- [1] D. H. Titterton and J. L. Weston, *Strapdown Inertial Navigation Technology*, Peter Peregrinus Ltd., pp. 363-382, 1997.
- [2] K. Komoriya and E. Oyama, "Position estimation of a mobile robots using OFG (Optical Fiber Gyroscope)," *Proc. of International Conf. Intelligent Robot and System(IROS'94)*, pp. 143-149, Sep. 1994.
- [3] A. K. Vadlamanai and M. Uijt de haag, "Use of laser range scanners for precise navigation in unknown environments," *Proc. of ION GNSS 2006*, Fort Worth, TX, pp. 1104-1114, Sep. 2006.
- [4] E. Hagen and E. Heyerdahl, "Navigation by images," *Modeling, Identification and Control*, vol. 14, no. 3, pp. 133-142, 1999.
- [5] P. Roberts, R. Walker, and P. O'Shea, "Tightly coupled GNSS and vision navigation for unmanned air vehicle applications," *Proc. of the Eleventh Australian International Aerospace Congress*, Melbourne Australia, 2005
- [6] G. Alenya, E. Martinez, and C. Torras, "Fusing visual and inertial sensing to recover robot ego-motion," *Journal of Robotic Systems*, vol. 21, no. 1, pp. 23-32, 2004.
- [7] P. Oh, W. Green, and G. Barrows, "Neural nets and optic flow for autonomous micro-air-vehicle navigation," *Proc. of International Mechanical Engineering Congress and Exposition*, vol. 2, Anaheim, California, pp. 1-7, 2004.
- [8] S. Ettinger, M. Nechyba, P. Ifju, and M. Waszak, "Vision guided flight stability and control for micro air vehicles," *IEEE Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems*, vol. 3, pp. 2134-2140, Oct. 2002.
- [9] <http://www.fas.org/man/dod-101/sys/smart/bgm-109.htm>
- [10] 박슬기, 황동환, "이동로봇용 영상센서/DR 통합 항법 시스템," 한국지능로봇 종합학술대회 논문집, pp. 396-397, 2009.
- [11] S. Sukkarieh, E. M. Nebot, and H. F. Durrant-Whyte, "A high integrity IMU/GPS Navigation loop for autonomous land vehicle applications," *IEEE Trans. on Robotics and Automation*, vol. 15, no. 3, pp. 572-578, June 1999.
- [12] Gonzalez and Rafael C, *Digital Image Processing Using MATLAB*, Prentice Hall, 2003.
- [13] S. G. Park, M. S. Koo, and D.-H. Hwangk, "Vision/DR Integrated Navigation System Using Kinematic Characteristic of Vehicle and Gyroscope," *Proc. of ICROS Annual Conference 2010*, Chuncheon, Korea, pp.750-751, May 2010.



## 박슬기

2008년 충남대학교 전자전파정보통신 전공 졸업. 2008년~2010년 충남대학교 대학원 석사. 2010년~현재 한국해양연구원 연구원. 관심분야는 GPS/INS 통합 항법 시스템, DR/Vision 통합 항법 시스템.



## 구문석

2010년 한밭대학교 제어계측공학과 졸업. 2010년~현재 충남대학교 대학원 석사과정. 관심분야는 GPS/INS 통합 항법 시스템.



## 황동환

1985년 서울대학교 전기공학과 학사 졸업. 1987년 KAIST 전기 및 전자공학과 석사 졸업. 1991년 동 대학원 박사 졸업. 1996년~현재 충남대학교 전자공학과 교수. 관심분야는 항법, 통합항법, GNSS 응용.