

시선각 측정기반 비전항법시스템에서 랜드마크의 기하학적 배치에 대한 2차원 항법오차

논 문
61-3-20

Two-Dimensional Navigation Error for Geometry of Landmark in Line-Of-Sight Measurement Based Vision Navigation System

김 영 선* · 지 현 민** · 황 동 환†
(Youngsun Kim · Hyun-min Ji · Dong-Hwan Hwang)

Abstract - Geometric effect of landmarks to the navigation error is investigated in the two-dimensional line-of-sight measurement based vision navigation system. DOP is derived between line-of-sight measurement error and navigation solution error. For cases of three landmarks in an area, variations of the DOP were observed through computer simulations. Vision navigation system experiments were performed for the cases. Simulation and experimental results show that navigation solution errors have similar trend to DOP values of the simulation.

Key Words : Vision navigation, Dilution of precision, Line-of-sight, Landmark, Geometry, 2D navigation error

1. 서 론

대표적인 TOA(Time-Of-Arrival) 측정치 기반 항법시스템인 GPS(Global Positioning System)에서 항법오차는 의사거리 측정오차와 위성의 배치에 영향을 받으며, 측정오차가 항법오차로 증폭되는 정도를 아래의 식(1)과 같이 GDOP(Geometric Dilution Of Precision)로 정의한다[1-4].

$$\sqrt{\sigma_{x_u}^2 + \sigma_{y_u}^2 + \sigma_{z_u}^2 + \sigma_{ct_b}^2} \equiv GDOP \cdot \sigma_{VERE} \quad (1)$$

여기서 σ_{VERE} 는 위성과 항체간의 의사거리오차의 표준편차, $\sigma_{x_u}, \sigma_{y_u}, \sigma_{z_u}$ 는 각각 위치오차의 x, y, z 축에 대한 표준편차, σ_{ct_b} 는 거리오차로 변환한 시각오차의 표준편차를 나타낸다. GDOP는 아래의 식(2)와 같다.

$$GDOP = \sqrt{\text{trace}(H^T H)^{-1}} \quad (2)$$

여기서 trace는 행렬의 대각요소의 합을 나타내며, H는 다음 식(3)과 같이 나타난다.

$$H = \begin{bmatrix} \frac{x_u - x_1}{r_1} & \frac{y_u - y_1}{r_1} & \frac{z_u - z_1}{r_1} & 1 \\ \frac{x_u - x_2}{r_2} & \frac{y_u - y_2}{r_2} & \frac{z_u - z_2}{r_2} & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & 1 \\ \frac{x_u - x_n}{r_n} & \frac{y_u - y_n}{r_n} & \frac{z_u - z_n}{r_n} & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

* 정 회 원 : 한국항공우주연구원 선임연구원
** 준 회 원 : 충남대학교 전자공학과 석사과정
† 교신저자, 정회원 : 충남대학교 전자공학과 교수
E-mail : dhhwang@cnu.ac.kr
접수일자 : 2011년 11월 29일
최종완료 : 2012년 2월 6일

여기서, (x_u, y_u, z_u) 는 항체의 위치, $(x_i, y_i, z_i)(i=1,2,\dots,n)$ 는 위성의 위치를 나타내고, $r_i(i=1,2,\dots,n)$ 은 항체와 위성과의 거리를 나타낸다.

한편, Dempster는 AOA(Angle-Of-Arrival) 측정치 기반 항법시스템에서 아래 식(4)와 같이 DOP를 도출하였다[5].

$$\sqrt{\sigma_{x_u}^2 + \sigma_{y_u}^2} \equiv DOP \cdot \sigma_{\theta} \quad (4)$$

여기서, σ_{x_u} 와 σ_{y_u} 는 각각 위치오차의 x 축과 y 축에 대한 표준편차, σ_{θ} 는 기지국에서 측정한 항체의 방향각 오차의 표준편차이다.

AOA 측정치 기반 항법시스템의 H 행렬은 식(5)와 같다.

$$H = \begin{bmatrix} -\frac{(y_u - y_1)}{r_1^2} & \frac{(x_u - x_1)}{r_1^2} \\ -\frac{(y_u - y_2)}{r_2^2} & \frac{(x_u - x_2)}{r_2^2} \end{bmatrix} \quad (5)$$

여기서, (x_u, y_u) 는 항체의 위치, $(x_i, y_i)(i=1,2)$ 는 기지국 위치, $r_i(i=1,2)$ 는 기지국과 항체의 거리를 나타낸다.

비전센서를 이용하는 비전항법시스템은 계산이 많고, 조도의 영향을 받는 단점이 있지만, 가볍고, 소모전력이 적으며 가격이 저렴한 장점 때문에 소형/무인 항공기, 차량, 이동 로봇 등에 많이 사용되고 있다[6-8]. 비전항법시스템은 크게 랜드마크 기반 방식과 맵(map) 기반 방식으로 구분하며, 랜드마크 기반 방식은 맵 기반방식에 비해 알고리즘이 간단한 장점을 가지고 있다[9]. 또한, 랜드마크 기반 방식은 단일카메라로부터 랜드마크의 시선각을 측정하여 항법해를 계산하는 방법과 스테레오 카메라로부터 랜드마크의 거리 측정치를 이용하는 방법 등으로 구분할 수 있다[9-15].

본 논문에서는 랜드마크의 시선각 측정치 기반의 2차원 비전항법시스템에서 랜드마크의 기하학적 배치가 항법오차

의 어떠한 영향을 미치는지 살펴보고자 한다. 이를 위하여, 우선 시선각 측정오차와 항법오차의 관계를 나타내는 *DOP*를 유도하였다. 그리고, 일정한 지역 내에 여러 가지의 랜드마크가 배치되어 있는 경우에 대하여 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 *DOP*의 변화를 살펴보았다. 또한 실험을 통하여 여러 가지 랜드마크 배치에 대한 항법오차를 관찰하였다.

2절에서 랜드마크의 시선각 측정치를 이용하여 항법해를 결정하는 방법을 기술하고 3절에서는 항법방정식으로부터 랜드마크의 배치와 항법오차와의 관계를 나타내고, 이를 기반으로 *DOP*를 유도하였다. 4절에서는 시뮬레이션과 실험을 통한 오차분석 결과를 보여주고, 5절에서 논문의 내용을 요약하였다.

2. 랜드마크 시선각 측정치 기반 비전항법시스템

2.1 시선각 측정치 기반 비전항법 및 좌표계

그림 1은 랜드마크의 시선각 측정치를 기반으로 하는 비전항법시스템을 보여준다. 항법시스템은 항체, 카메라, 랜드마크로 이루어져 있다. 항체에 설치한 카메라는 랜드마크의 영상을 제공하고, 카메라의 영상으로부터 항체에 대한 랜드마크의 시선각을 계산한다. 계산한 시선각과 이미 알고 있는 랜드마크의 위치정보를 이용하여 항법해인 항체의 위치, 속도, 자세를 구한다[11-13].

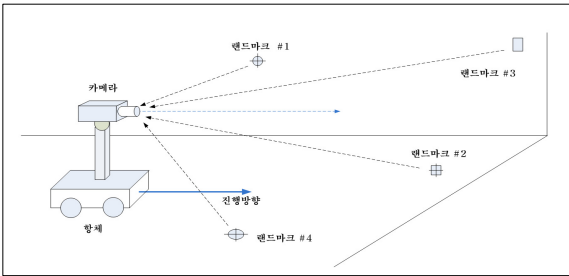


그림 1 비전항법시스템
Fig. 1 Vision navigation system

그림 2는 본 논문에서 사용하는 좌표계인 항법좌표계, 동체좌표계, 카메라좌표계를 보여준다. 항법좌표계와 동체좌표계는 일반적인 항법시스템과 같으며[3], 카메라좌표계의 원점은 카메라의 중심이며, *x*축은 카메라의 광축(optical axis)이며, *y*축은 광축을 바라보았을 때 우측 방향, *z*축은 오른손 좌표계에 따라 그림 2와 같이 정해진다.

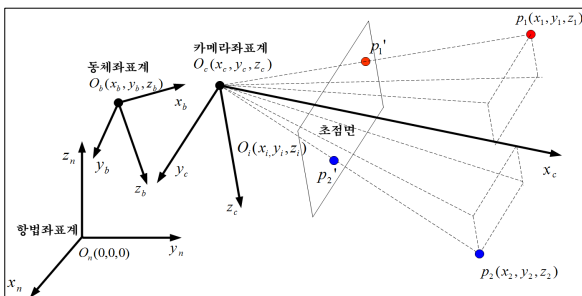


그림 2 비전항법시스템의 좌표계
Fig. 2 Coordinate system in the vision navigation system

2.2 랜드마크 시선각 측정

그림 3과 같이 카메라좌표계에서 (x_i^c, y_i^c, z_i^c) 에 위치하는 랜드마크 p_i 는 카메라 초점면 위의 한 점인 (f, u_i, v_i) 에 상이 맺히며 이로부터 식(6)과 같이 랜드마크의 요각과 피치각을 계산할 수 있다.

$$\tan \psi_i = \frac{u_i}{f} \tag{6}$$

$$\tan \theta_i = \frac{v_i}{\sqrt{f^2 + u_i^2}}$$

여기서 ψ_i, θ_i 는 대상체인 랜드마크의 요각 및 피치각, (u_i, v_i) 는 카메라좌표계에서 대상체인 랜드마크의 초점면상의 좌표값, f 는 센서의 초점거리이다.

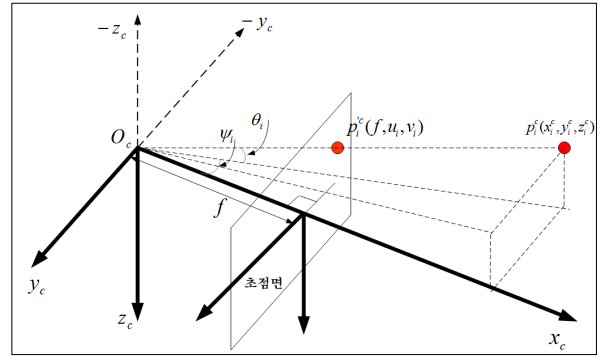


그림 3 랜드마크의 카메라 초점면 투영
Fig. 3 Projection of landmark on focal plane of the camera

비전센서에서 측정된 랜드마크의 요각과 피치각은 랜드마크의 단위시선각 벡터와 다음 식(7)의 관계를 갖는다.

$$LOS_i = \left(\frac{f}{\sqrt{f^2 + u_i^2 + v_i^2}}, \frac{u_i}{\sqrt{f^2 + u_i^2 + v_i^2}}, \frac{v_i}{\sqrt{f^2 + u_i^2 + v_i^2}} \right) \tag{7}$$

$$= (\cos \theta_i \cos \psi_i, \cos \theta_i \sin \psi_i, \sin \theta_i)$$

한편, 2차원 항법시스템에서는 랜드마크의 높이가 변하지 않아도 항법해를 구할 수 있으며, 즉, v_i 가 항상 일정한 값이 되어도 관계없다. 이것은 피치각의 변화가 없는 것과 동일한 조건이다. 앞으로 서술을 간단히 하기 위하여 카메라의 높이와 랜드마크의 높이가 같다고 한다. 그러면, $v_i = 0, \theta_i = 0$ 이 되고 2차원에서의 시선벡터와 요각과의 관계는 식(8)이 된다.

$$LOS_i = \left(\frac{f}{\sqrt{f^2 + u_i^2}}, \frac{u_i}{\sqrt{f^2 + u_i^2}} \right) \tag{8}$$

$$= (\cos \psi_i, \sin \psi_i)$$

서술을 간단히 하기 위하여, 앞으로의 서술에서는 시선각 측정치로부터 계산한 요각 및 요각 오차를 시선각 측정치 및

시선각 측정치 오차라고 하기로 한다.

2.3 2차원 비전항법방정식

항법방정식을 세우기에 앞서, 서술을 간단히 하기 위하여, 카메라좌표계와 동체좌표계가 일치하며 카메라의 초점면은 지표면에 대하여 평행하다고 하자. 그림 4는 동체좌표계에서 측정한 랜드마크의 시선각 측정치로부터 항법해를 계산하는 방법을 보여준다. 그림에서 $\psi_i(i=1,2,3)$ 는 랜드마크의 시선각 측정치이고, P 는 항체의 위치, $P_i(i=1,2,3)$ 는 랜드마크의 위치이다. 2차원 항법방정식은 식(9)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{y_i - y_u}{x_i - x_u} = \tan(\psi_i + \alpha_u) \quad (9)$$

여기서, (x_u, y_u) 와 α_u 는 항법해인 위치 및 자세이고, (x_i, y_i) 는 항법좌표계에서 나타난 i -번째 랜드마크의 위치이다. 식(9)에서 구하고자 하는 항법해 변수가 3개이므로 이를 위해서 3개 이상의 시선각 측정치가 필요함을 알 수 있다.

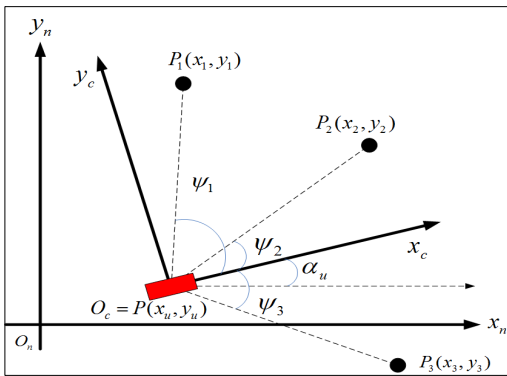


그림 4 랜드마크 시선각 측정치로부터 항법해 결정
Fig. 4 Navigation solution determination from LOS measurement of landmark

3. 랜드마크 시선각 측정오차와 항법오차

3.1 측정오차와 항법오차와의 관계

측정오차와 항법오차의 관계를 살펴보기 위하여, 랜드마크의 시선각 측정치, 항법방정식으로부터 구한 항법해를 참값을 중심으로 섭동시킨 형태로 표현하면 식(10)과 같다.

$$\begin{aligned} \hat{\psi}_i &= \psi_i + \delta\psi_i \\ \hat{x}_u &= x_u + \delta x_u \\ \hat{y}_u &= y_u + \delta y_u \\ \hat{\alpha}_u &= \alpha_u + \delta\alpha_u \end{aligned} \quad (10)$$

식(9)에 식(10)을 대입하고, Taylor 시리즈를 이용하여 다음

식(11)을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} &\tan(\psi_i + \delta\psi_i + \alpha_u + \delta\alpha_u) \\ &\approx \frac{\tan(\psi_i + \alpha_u) + (\delta\psi_i + \delta\alpha_u)}{1 - (\delta\psi_i + \delta\alpha_u)\tan(\psi_i + \alpha_u)} = \frac{y_i - y_u - \delta y_u}{x_i - x_u - \delta x_u} \end{aligned} \quad (11)$$

식(11)을 정리하고, 오차의 제곱항을 제거하면 다음 식(12)가 얻어진다.

$$\begin{aligned} &\tan(\psi_i + \alpha_u)\delta x_u - \delta y_u \\ &= (\delta\psi_i + \delta\alpha_u)\{\tan(\psi_i + \alpha_u)(y_i - y_u - \delta y_u) + (x_i - x_u - \delta x_u)\} \\ &\approx (\delta\psi_i + \delta\alpha_u)\{\tan(\psi_i + \alpha_u)(y_i - y_u) + (x_i - x_u)\} \end{aligned} \quad (12)$$

식(12)를 정리하면, 식(13)을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} \frac{y_i - y_u}{x_i - x_u} \delta x_u - \delta y_u &= (\delta\psi_i + \delta\alpha_u) \left\{ \frac{(x_i - x_u)^2 + (y_i - y_u)^2}{x_i - x_u} \right\} \\ &= (\delta\psi_i + \delta\alpha_u) \frac{r_i^2}{x_i - x_u} \end{aligned} \quad (13)$$

여기서 r_i 는 항체와 i -번째 랜드마크간의 거리를 나타낸다. 식(13)으로부터 랜드마크의 시선각 측정오차와 항법오차의 관계를 식(14)와 같이 정리할 수 있다.

$$\begin{aligned} \delta\psi_i &= \frac{1}{r_i^2} \{(y_i - y_u)^2 \delta x_u - (x_i - x_u)^2 \delta y_u\} - \delta\alpha_u \\ &= \frac{1}{r_i} \sin(\psi_i + \alpha_u) \delta x_u - \frac{1}{r_i} \cos(\psi_i + \alpha_u) \delta y_u - \delta\alpha_u \end{aligned} \quad (14)$$

식(14)는 항체와 랜드마크간의 거리, 랜드마크의 시선각은 항체의 위치오차 및 자세오차와 관련이 있음을 보여준다.

3.2 비전기반 항법시스템의 DOP(Dilution Of Precision)

측정치가 n 개라고 하면 식(14)와 같은 형태의 식이 n 개 얻어지며, 이를 행렬식으로 다음 식(15)와 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} \delta\psi_1 \\ \delta\psi_2 \\ \delta\psi_3 \\ \vdots \\ \delta\psi_n \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} \frac{\sin(\psi_1 + \alpha_u)}{r_1} & \frac{\cos(\psi_1 + \alpha_u)}{r_1} & -1 \\ \frac{\sin(\psi_2 + \alpha_u)}{r_2} & \frac{\cos(\psi_2 + \alpha_u)}{r_2} & -1 \\ \frac{\sin(\psi_3 + \alpha_u)}{r_3} & \frac{\cos(\psi_3 + \alpha_u)}{r_3} & -1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\sin(\psi_n + \alpha_u)}{r_n} & \frac{\cos(\psi_n + \alpha_u)}{r_n} & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta x_u \\ \delta y_u \\ \delta\alpha_u \end{bmatrix} \\ &\equiv H \begin{bmatrix} \delta x_u \\ \delta y_u \\ \delta\alpha_u \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (15)$$

항법오차에 미치는 측정오차의 증폭도를 의미하는 DOP는 전술한 랜드마크의 시선각 측정기반 항법시스템에서 다음 식(16)과 같이 나타난다.

$$\sqrt{\sigma_{x_u}^2 + \sigma_{y_u}^2 + \sigma_{\alpha_u}^2} \equiv DOP \cdot \sigma_{\psi} \quad (16)$$

여기서 σ_{ψ} 는 시선각 측정오차의 표준편차, σ_{x_u} 와 σ_{y_u} 는 각각 위치오차의 x 성분과 y 성분의 표준편차이다. 따라서, 비전항법시스템의 DOP 는 식(17)과 같다.

$$DOP = \sqrt{\text{trace}(H^T H)^{-1}} = \sqrt{\text{trace} \begin{bmatrix} D_{11} & D_{12} & D_{13} \\ D_{21} & D_{22} & D_{23} \\ D_{31} & D_{32} & D_{33} \end{bmatrix}} \quad (17)$$

$$= \sqrt{(D_{11} + D_{22} + D_{33})}$$

식(17)의 DOP 를 $PDOP$ (Position DOP)와 $ADOP$ (Attitude DOP)로 나누어 표현할 수 있으며, 다음 식(18)은 시선각 측정치 오차와 위치오차의 관계를 나타낸다.

$$\sqrt{\sigma_{x_u}^2 + \sigma_{y_u}^2} \equiv PDOP \cdot \sigma_{\psi} \quad (18)$$

여기서 $PDOP$ 는 $\sqrt{(D_{11} + D_{22})}$ 이다. 다음 식(19)는 시선각 측정치 오차와 자세오차의 관계를 나타낸다.

$$\sqrt{\sigma_{\alpha_u}^2} \equiv ADOP \cdot \sigma_{\psi} \quad (19)$$

여기서 $ADOP$ 는 $\sqrt{D_{33}}$ 이다.

시선각 측정치 기반 비전항법시스템의 DOP 인 식(17)을 [5]에서 도출한 AOA 측정치 기반 항법시스템의 DOP 와 비교해보면, 식(17)은 측정오차와 위치오차와의 관계 외에 추가적으로 측정오차와 자세오차와의 관계도 포함하고 있음을 알 수 있다.

4. 랜드마크의 위치에 따른 항법오차

여러 가지 랜드마크의 배치에 대하여 컴퓨터 시뮬레이션 을 통하여 3절에서 도출한 DOP 을 살펴보았으며, 이에 대하여 실험을 수행하고 항법 오차를 관찰하여 랜드마크 배치에 대한 항법 오차를 살펴보았다.

4.1 컴퓨터 시뮬레이션 통한 DOP 관찰

그림 5와 같이 3개의 랜드마크에 대하여 DOP 을 관찰하였다.

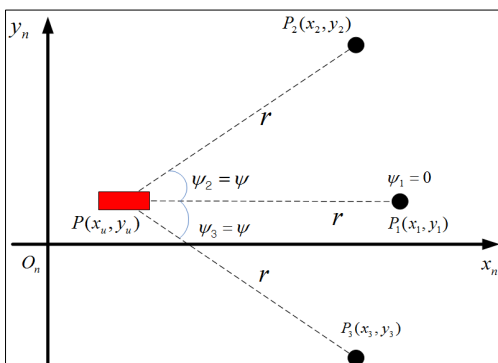


그림 5 시뮬레이션에서의 항체와 랜드마크의 배치
Fig. 5 Arrangement of vehicle and landmark in the simulation

먼저, 항체와의 거리를 1m로 두고, 랜드마크의 사이각, 즉 ψ 값을 변화시키면서 3절에서 도출한 DOP 을 계산하였다. 이 경우 카메라의 FOV(Field-Of-View)가 180도보다 작으므로 ψ 값은 0도부터 90도까지만 관찰하였다.

그림 6은 ψ 값이 20도부터 90도일 때의 DOP 계산 결과를 보여준다. 그림에서 ψ 값이 작을수록 $PDOP$ 와 $ADOP$ 가 증가하는 것을 알 수 있다.

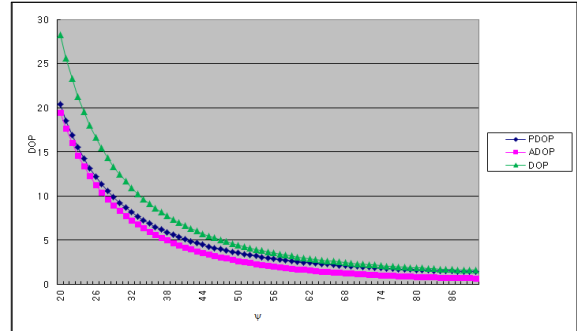


그림 6 ψ 값에 대한 DOP

Fig. 6 DOP vs. ψ

그림 5에서 ψ 를 60도로 고정하고, 항체와 랜드마크의 거리 r 를 변화시키면서 3절에서 도출한 DOP 을 계산하였다. 그림 7은 r 이 0.1m부터 10m 일 때의 DOP 계산결과를 보여준다. 그림에서 항체와 랜드마크 사이의 거리가 멀어질수록 $PDOP$ 는 증가함을 알 수 있다. 그리고 그림의 결과에서 $ADOP$ 는 거리에 무관함을 알 수 있다.

그림 6과 그림 7에서 $PDOP$ 에 관한 결과는 Dempster[5]가 도출한 AOA 측정치 기반 항법시스템의 결과와 일치하며, $ADOP$ 에 관한 결과는 시선각 측정치 기반 비전항법시스템에서 새롭게 얻을 수 있는 결과라고 볼 수 있다.

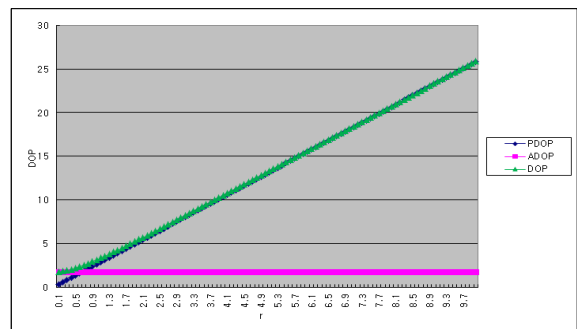


그림 7 거리에 대한 DOP

Fig. 7 DOP vs. distance

4.2 비전항법시스템 실험

항법오차를 관찰하기 위하여 그림 8과 같이 비전항법의 실험시스템을 구성하였다. 실험시스템은 카메라와 랩탑컴퓨터로 구성되어 있다. 표 1에 실험에서 사용한 센서인 카메라의 사양을 정리하였다. 항체가 정지한 상태에서 랜드마크의 영상을 수집하였으며, 사전에 정확히 측정된 지점에 비전 센서를 탑재한 항법시스템을 두고, 랜드마크도 미리 측정한

위치로 이동시키면서 실험을 수행하였다. 데이터를 수집한 이후 후처리를 통하여 항법 결과를 얻었다.

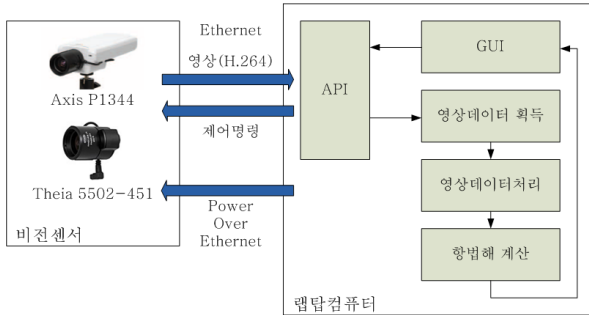


그림 8 비전항법 실험시스템
Fig. 8 Vision navigation experimental setup

표 1 비전 센서 사양

Table 1 Specifications of vision sensor

구성품	품명	사양	
카메라 본체	Axis P1344	영상소자	CMOS 컬러
		픽셀수	1280*800
		픽셀크기	3 μ m*3 μ m
		압축포맷	H.264
		프레임율	30 fps
렌즈	Theia 5502-451	초점거리	1.7mm
		FOV	99°
		F 번호	1.8
		왜곡	No barrel distortion

그림 5와 같이 비전항법 실험시스템과 3개의 랜드마크로 시스템을 구성하고 실험을 수행하였다.

항체와 랜드마크의 거리를 7.1m로 고정하고 ψ 를 5도, 15도, 30도, 40도인 경우에 대한 3번씩 수행한 실험결과를 표 2에 제시하였다. 실험결과에서 랜드마크의 사이각이 작을수록 위치오차 및 자세오차가 커짐을 알 수 있다. 이는 4.1절의 시물레이션을 통하여 관찰한 DOP의 경향과 일치함을 알 수 있다.

표 2 ψ 에 대한 비전항법 실험결과

Table 2 Experimental results of vision navigation vs. ψ

ψ	실험	위치오차(m)	자세오차(°)
5°	1st	1.61	11.47
	2nd	1.29	11.58
	3rd	1.57	11.31
15°	1st	0.53	2.72
	2nd	0.19	2.66
	3rd	0.18	2.70
30°	1st	0.42	1.86
	2nd	0.36	1.58
	3rd	0.36	1.58
40°	1st	0.33	1.06
	2nd	0.29	0.97
	3rd	0.29	0.96

실험결과에서 랜드마크의 사이각이 작을수록 위치오차 및 자세오차가 커짐을 알 수 있다. 이는 4.1절의 시물레이션을 통하여 관찰한 DOP의 경향과 일치한다.

실험에서 ψ 를 30도로 고정하고, 항체와 랜드마크의 거리를 7.1m, 10.0m, 15.0m, 20.0m, 30.0m인 경우 3번씩 수행한 실험결과를 표 3에 제시하였다. 실험결과에서 항체와 랜드마크의 거리가 멀수록 위치오차는 커지고, 자세오차는 거리에 관계가 없음을 알 수 있다. 이러한 경향도 4.1절의 시물레이션을 통하여 관찰한 DOP의 경향과 일치한다.

표 3 거리에 대한 비전항법 실험결과

Table 3 Experimental results of vision navigation vs. distance

r	실험	위치오차(m)	자세오차(°)
7.1m	1st	0.14	0.56
	2nd	0.20	0.80
	3rd	0.20	0.82
10.0m	1st	0.20	0.13
	2nd	0.18	0.14
	3rd	0.20	0.13
15.0m	1st	0.31	0.49
	2nd	0.21	1.01
	3rd	0.25	1.01
20.0m	1st	0.76	0.96
	2nd	0.33	0.14
	3rd	0.18	0.40
30.0m	1st	0.49	0.51
	2nd	0.39	0.79
	3rd	0.47	0.79

5. 결 론

본 논문에서는 랜드마크의 시선각 측정치 기반의 2차원 비전항법시스템에서 랜드마크의 기하학적 배치가 항법오차에 어떠한 영향을 미치는지 살펴보았다. 먼저, 시선각 측정치 오차와 항법오차의 관계를 나타내는 DOP를 유도하고, 일정한 지역 내에 여러 가지 랜드마크가 배치되어 있는 경우 컴퓨터 시물레이션을 통하여 DOP의 변화를 살펴보고, 비전항법시스템 실험을 수행하였다.

시물레이션과 실험결과에서 랜드마크의 사이각이 작을수록 PDOP, ADOP, 위치오차 및 자세오차가 커짐을 알 수 있었고, 항체와 랜드마크의 거리가 멀수록 PDOP과 위치오차는 커지지만, ADOP과 자세오차는 관계가 없음을 알 수 있었다.

본 논문의 결과는 시선각 측정치 기반 비전항법시스템에서 인공 랜드마크를 배치할 때 매우 유용하게 이용할 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

[1] E. D. Kaplan, and C. J. Hegarty, Understanding GPS Principles and Applications, 2nd Edition, Boston: Artech House, 2006.

- [2] P. D. Groves, Principles of GNSS, Inertial, and Multi sensor Integrated Navigation Systems, Boston: Artech House, 2008.
- [3] G. M. Siouris, Aerospace Avionics System - A Modern Synthesis, San Diego: Academic Press, 1993.
- [4] 김일선의 2인, "GPS 위치결정 오차의 평가척도 사이의 관계", 3차 GPS 워크샵 논문집, pp.482-487, 1996. 9.
- [5] A. G. Demster, "Dilution of precision in angle-of-arrival positioning systems", Electronics Letters, vol. 42, no. 5, pp.291-292, March 2006.
- [6] U. Steinhoff, D. Omercevid, and R. Perko, "How computer vision can help in outdoor positioning", AMI2007-LNCS 4794, pp.124-141, 2007.
- [7] G. B. Chatterji, P.K. Menon, and B. Sridhar, "GPS/machine vision navigation systems for aircraft", IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems, vol. 33, no. 3, pp.1012-1025, July 1997.
- [8] M. Bryson, and S. Sukkarieh, "Building a robust implementation of bearing-only inertial SLAM for a UAV", Journal of Field Robotics, vol. 24, no. 1-2, pp.113-143, February 2007.
- [9] J. Borenstein. H. R. Everett, and L. Feng, Where am I? Sensors and Methods for Mobile Robot Positioning, The University of Michigan, 1996.
- [10] J. Betke, and L. Gurvits, "Mobile robot localization using landmarks", IEEE Trans. on Robotics and Automation, vol. 13, No. 2, pp.251-263, April 1997.
- [11] C. J. Cohen, and F. V. Koss, "A comprehensive study of three object triangulation", Proceedings of the 1993 SPIE Conference on Mobile Robots, pp.95-106, November 1993.
- [12] K. Sugihara, "Some location problems for robot navigation using a single camera", Computer Vision, Graphics and Image Processing, vol. 42, no. 1, pp.112-129, 1998.
- [13] E. Krotkov, "Mobile robot localization using a single image," Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.978-983, April 1991.
- [14] G. Hager, and S. Atiya, "Real-time vision-based robot localization", IEEE Tans. on Robotics and Automation, vol. 9, no. 6, pp.785-800, 1993.
- [15] S. D. Blostein, and T. S. Huang, "Error analysis in stereo determination of 3-D point positions", IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. PAMI-9, no. 6, pp.752-765, November 1987.

저 자 소 개



김 영 선 (金 永 善)

1999년 충남대학교 전자공학과 학사 졸업, 2001년 동 대학원 전자공학과 석사 졸업, 2001년-현재 한국항공우주연구원
Tel : (042) 935-8239
E-mail : yskim1203@kari.re.kr



지 현 민 (池 現 敏)

2011년 목원대학교 정보통신공학과 학사 졸업, 2011년 충남대학교 대학원 전자공학과 석사과정
Tel : (042) 822-7956
E-mail : hyun-min@cnu.ac.kr



황 동 환 (黃 東 渙)

1985년 서울대학교 전기공학과 학사 졸업, 1987년 KAIST 전기 및 전자공학과 석사 졸업, 1991년 동 대학원 박사 졸업, 1996년-현재 충남대학교 전자공학과 교수
Tel : (042) 821-5670
E-mail : dhhwang@cnu.ac.kr