

論文

DOI:10.5139/JKSAS.2010.38.7.693

스테레오 영상을 이용한 헬멧의 자세 및 위치 추정

신옥식*, 허세종**, 박찬국***

Attitude and Position Estimation of a Helmet Using Stereo Vision

Okshik Shin*, Sejong Heo** and Chan Gook Park***

ABSTRACT

In this paper, it is proposed that an attitude and position estimation algorithm based on a stereo camera system for a helmet tracker. Stereo camera system consists of two CCD camera, a helmet, infrared LEDs and a frame grabber. Fifteen infrared LEDs are feature points which are used to determine the attitude and position of the helmet. These features are arranged in triangle pattern with different distance on the helmet. Vision-based the attitude and position algorithm consists of feature segmentation, projective reconstruction, model indexing and attitude estimation. In this paper, the attitude estimation algorithm using UQ (Unit Quaternion) is proposed. The UQ guarantee that the rotation matrix is a unitary matrix. The performance of presented algorithm is verified by simulation and experiment.

초 록

본 논문에서는 스테레오 카메라 시스템을 이용하여 헬멧의 자세 및 위치를 추정하는 알고리즘을 제안한다. 본 논문에서 구축한 시스템은 두 대의 CCD카메라와 헬멧 그리고 적외선 LED, 영상편집 보드로 구성된다. 이 중 15개의 적외선 LED는 헬멧에 서로 다른 길이로 삼각형 패턴으로 고정되어, 헬멧의 자세 및 위치를 결정하기 위한 특징점이 된다. 본 논문에서 제안한 알고리즘은 특징점 추출, 투영 재구성, 모델 인덱싱 과정으로 구성되며, 단위 쿼터니언(UQ, Unit Quaternion)을 이용하여 자세 및 위치를 추정한다. UQ를 이용하여 회전행렬을 구하면, 회전 행렬이 유니터리 행렬(Unitary Matrix)이 되는 것을 보장할 수 있다. 제안된 알고리즘은 시뮬레이션과 실제 실험 데이터를 이용하여 그 성능을 검증하였다.

Key Words : Stereo Vision(스테레오 영상), Head Tracker(헤드 트래커), Unit Quaternion(단위 쿼터니언)

1. 서 론

† 2010년 3월 10일 접수 ~ 2010년 6월 13일 심사완료

* 정회원, 서울대학교 기계항공공학부 대학원

** 정회원, 서울대학교 기계항공공학부 대학원, 현재 두산 DST 근무

*** 정회원, 서울대학교 기계항공공학부, 항공우주신기술 연구소

교신저자, E-mail : chanpark@snu.ac.kr

서울시 관악구 관악로 599번지

컴퓨터의 성능과 CCD, CMOS 소자의 발달로 인해 영상에 대한 연구가 여러 분야에서 연구 및 적용되어 왔다. 특히 최근에는 모바일 로봇이나 무인 자동차(Unmanned Ground Vehicle)등에도 그 영역이 확장되면서, 장애물 회피나 목표물의 추적뿐만 아니라 항체(vehicle)의 위치를 추정하기 위해 영상 정보가 사용되고 있다.

항공우주 분야에서는 위성의 자세 추정을 위하여 오래 전부터 영상을 이용하는 별센서가 사용되었고, 최근에는 항공전자 장비들 중에서 헤드 트래커 시스템에도 영상을 이용하기 시작했다. 헤드 트래커는 항공기의 발달과 함께 조종사가 다루어야 할 장비가 많아지면서 조종하는 조종사의 부담을 줄이기 위한 장비로써, 조종사 머리의 자세와 위치를 추정한다. 이렇게 추정된 값을 이용해 헬멧 장착식 표시 장치(HMD)에 영상을 표현하거나 표적을 쉽게 조준할 수 있다. 하지만 국내에서는 광학 방식의 헤드 트래커에 대한 연구가 미비한 상태이다. 그러므로 본 논문에서는 광학방식 헤드 트래커에 적용 가능한 통합 알고리즘을 제안한다.

스테레오 카메라 시스템 기반의 광학방식 헤드 트래커에서, 지금까지 제안된 자세 추정 기법은 다음과 같다. 우선, 마커를 이용하지 않는 방법으로, SIFT(Scale-invariant feature transform)를 이용하여 안면에서 특징점을 추출하여 UKF(Unscented Kalman Filter)로 자세를 추정하는 방법이 있다[1]. 그리고 안면에서 특징점을 추출할 때, 템플릿 영상(template image)을 이용하고 반복법(iteration method)으로 자세를 구하는 기법이 있다[2]. 하지만, 전투기 조종사와 같이 얼굴을 가리는 장비가 있거나, 잡음이나 배경으로 인해 특징점이 안정적으로 잡히지 않을 수 있다. 그래서 특징점을 안정적으로 추출하기 위해 마커를 이용하는 방법이 있으며, 이 때 자세를 추정하는 방법으로 EKF(Extended Kalman Filter)나 [3][4], 최소자승제곱법을 이용할 수 있다[5][6]. 또한 인공신경망 기법을 이용하여 2차원 평면을 움직이는 헬멧에 대해 적용할 수 있는 기법이 제안되었다[7]. 최근에는 두 좌표계에 표현된 동일한 점을 통해 좌표계간의 관계를 결정하는 절대 표정 문제(absolute orientation problem)를 통해 헬멧의 자세를 계산하였다[8]. 하지만 특이값 분해(SVD, singular value decomposition)를 이용하여 회전행렬을 직접 구하였기 때문에, 노이즈가 크거나 특징점이 같은 평면상에 있을 때 회전행렬의 행렬식이 1이 되는 것을 보장하지 못하는 단점이 있다[12]. 그래서 본 논문에서는 이러한 단점을 보완할 수 있는 UQ를 이용한 자세계산 알고리즘을 제시한다.

본 논문에서의 2.1절에서는 전체 알고리즘의 순서도와 좌표계를 정의한다. 2.2절부터 2.4절까지 특징점 추출, 투영 재구성과 모델 정합 과정의 알고리즘을 설명하며, 2.5절에서는 UQ를 이

용한 자세계산 알고리즘에 대해 설명한다. 3절에서는 시뮬레이션 결과와 실제 실험 결과를 통해 그 성능을 확인하고, 결론을 맺는다.

II. 본 론

2.1 알고리즘 순서 및 좌표계 정의

전체 알고리즘은 Fig 1과 같이 특징점 추출, 투영 재구성, 모델 정합 과정으로 이루어진다. 각 단계는 2.2절부터 설명한다. 그리고 헬멧의 자세를 구하기 위해 다음과 같은 좌표계를 정의한다.

- 관성 좌표계(E): 헬멧의 위치와 자세를 표현하는 기준좌표계이다.
- 카메라 좌표계(C): 스테레오 카메라 중 좌측 카메라에 고정되어 있다. 원점은 카메라의 광학 중심에 위치하며, z 축은 광학축 방향이며, x 축은 원점에서 광학축을 바라볼 때 카메라의 우측 방향이다. y 축은 x 축과 z 축에 따라 정의된다.
- 동체 좌표계(B): 헬멧에 고정된 좌표계로 본 논문에서 사용된 좌표계의 x 축은 얼굴 정면 방향, y 축은 헬멧의 왼쪽 방향이며 z 축은 정수리 방향이다. 이 좌표계에 대한 LED 위치는 3차원 스캔을 통해 Table 1과 같이 삼각형 패턴과 LED의 고유번호로 분류된 맵 데이터로 저장된다. 헬멧에 부착된 LED는 총 15개이며 서로 다른 길이를 가지는 5개의 삼각형 패턴을 구성한다.
- 영상 좌표계(I): 카메라로부터 획득한 영상에서 좌상단의 점을 원점으로 두며, x 축은 영상의 횡방향이고 y 축은 종방향이다.

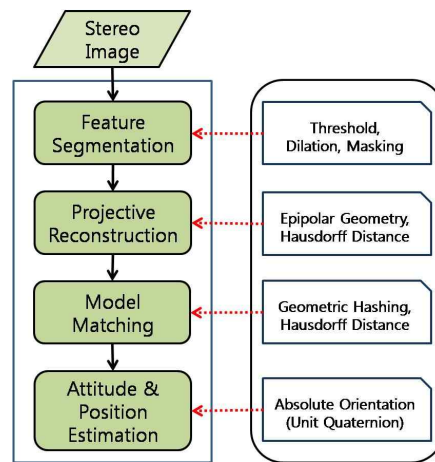


Fig. 1. Flowchart of Algorithm

Table 1. Map Data of Feature Point

Pattern No.	LED No.	x[mm]	y[mm]	z[mm]
1	1	-39.40	20.44	114.71
	2	-58.91	33.44	104.97
	3	-55.01	-31.65	107.01
2	4	-56.07	108.25	48.73
	5	-34.97	126.14	13.02
	6	-54.21	126.27	-3.20
3	7	-130.23	79.08	-32.53
	8	-110.19	76.10	-95.01
	9	-137.36	59.54	-61.87
4	10	-132.27	-76.62	-13.17
	11	-145.45	-46.10	-56.95
	12	-119.21	-77.38	-77.16
5	13	-44.48	-104.12	60.79
	14	-55.52	-125.72	-0.15
	15	-18.86	-118.63	41.36

2.2 특징점 추출

영상으로부터 헬멧을 표현하는 점을 추출하는 과정이 특징점 추출 과정이다. 이 과정을 거치면 특징점을 영상 좌표계(I) 기준의 2D 위치 값을 얻을 수 있다. 헬멧의 특징점인 적외선 LED가 카메라에 찍히게 되면, Fig. 2처럼 배경보다 명암 차이가 큰 여러 개의 픽셀 집합으로 나타난다. 하지만 잡음이나 적외선 빛의 반사로 인해 Fig. 2처럼 하나의 LED가 두 개의 특징점으로 나타나거나 원, 타원 모양이 아닌 찌그러진 형태로 나타날 수 있다. 그러므로 배경과 특징점을 문턱치 처리(thresholding)하여 이진화한 후, 확장 연산을 수행하여 특징점을 구분하고, 가우시안 마스크 기법을 이용하여 특징점의 중심을 추정한다 [4][5].

Mask Operation Range

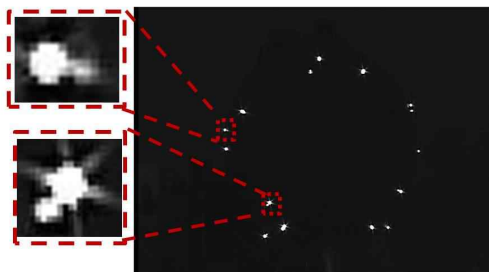


Fig. 2. Feature Point in the image

2.3 투영 재구성

특징점 추출을 통해 획득된 좌, 우 카메라의 특징점 2D 좌표를 선형 삼각 측량 방법(linear triangulation method)을 통해 카메라 좌표계에 대한 3D 좌표로 변환하는 과정이 투영 재구성 과정이다. 이 과정에서 가장 중요한 관건은 한 쪽 카메라의 영상에 나타난 특징점과 같은 특징점을 다른 쪽 카메라의 영상에서 선별하는 것이다. 이 문제를 풀기 위해 1차 정합으로 에피폴라 제약조건(epipolar constraint)을 이용하여 다른 영상에 나타난 특징점 들 중에서 정합될 후보를 구하고, 2차 정합으로 하우스도프 척도(hausdorff distance)를 적용하여 정합될 점을 찾는다[9][11].

Fig. 3은 스테레오 카메라의 기하학적 관계를 보여준다. Fig. 3에서 C_L 과 C_R 은 각각 좌, 우 카메라의 광학 중심이다. e_L 과 e_R 은 에피폴라(epipole)로써 영상평면(image plane)과 두 카메라 중심을 연결한 베이스라인(baseline)의 교차점이다. 에피폴라 평면(epipolar plane)은 베이스라인과 투영되는 점이 만드는 평면이다. 만약 3D 상의 점 U를 스테레오 카메라로 찍는다면, 점 U는 좌측 영상과 우측 영상에서 점 V, W로 각각 나타난다. 이 때, 에피폴라 평면과 영상평면이 교차하는 선을 에피폴라 선(epipolar line)이라고 하며, 에피폴라를 지나가게 된다. 즉, 한 영상의 점은 다른 영상에서 에피폴라 선으로 대응이 되며, 이러한 선형 변환 관계를 대수적으로 표현한 것이 기본 행렬(fundamental matrix) F이다. 이러한 에피폴라 선을 이용하여 두 특징점 사이의 연관 관계를 찾는 것을 에피폴라 제약조건이라 한다. 기본 행렬 F는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$P_L = K_L [I | 0] \tag{1}$$

$$P_R = K_R [R | t] \tag{2}$$

$$F = [P_R C]_x P_R P_L^+ = [K_L t]_x K_R R K_L^{-1} = K_R^{-T} [t]_x R K_L^{-1} = K_R^{-T} R K_L^T [K_L R^T t]_x \tag{3}$$

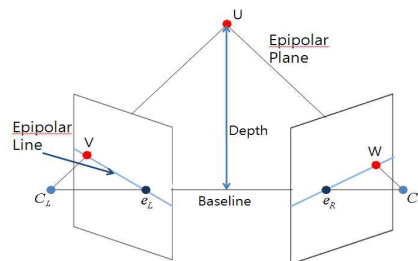


Fig. 3. Epipolar Geometry

여기서 P_L, P_R 은 좌, 우 카메라의 투영 행렬 (projection matrix), K_L 과 K_R 은 캘리브레이션 행렬(calibration Matrix)이며, R 과 t 은 좌측 카메라 프레임 기준에서의 우측 카메라 프레임의 회전 행렬 및 병진 벡터이다. $[\bullet]_x$ 는 반대칭 행렬을 의미한다. 캘리브레이션 행렬은 J. Bouguet의 Camera Calibration Tool Box for Matlab을 이용하여 실험 전에 미리 계산하였다. 또한, 계산된 기본 행렬은 다음 식을 만족해야 한다.

$$\bar{x}^T F x = 0 \quad (4)$$

여기서 \bar{x}, x 는 동일한 3차원 특징점이 좌, 우 카메라의 영상 평면에 투영된 좌표이다. 하지만 영상 및 캘리브레이션 오차로 인해 식 (4)를 정확히 만족하지 않는다. 그래서 문턱치 처리를 통해, 에피폴라 선에 가까이 있는 점을 정합될 후보로 선정하고 2차 정합 과정에 들어간다.

2차 정합은 개선된 하우스도프 척도(MHD, Modified Hausdorff Distance)를 이용한다. MHD는 기준이 되는 모델과 영상의 객체를 표현하는 특징점 집합들 사이의 거리를 평균-최소 거리로 비교하여 유사도를 결정하는 척도이며, 잡음에 강인한 특성을 지닌다.

2.4 삼각형 패턴 기반 모델 정합

영상에서 특징점으로 나타나는 적외선 LED는 각 변의 길이가 서로 다른 삼각형 5개를 구성하도록 총 15개가 부착되어 있다. 투영 재구성으로 획득된 영상의 3차원 특징점은 삼각형 패턴을 이용하여 동체 좌표계로 표현된 특징점으로 구분할 수 있다. 그래서 모델 정합 과정은 후보 삼각형을 결정하는 과정과 MHD를 적용한 기하학적 해싱 과정으로 구성된다[8][10].

후보 삼각형 결정 과정은 영상에 나타난 특징점들 중에서 맵 데이터의 삼각형 패턴을 유사하게 구성하는 특징점 집합을 고르는 과정이다. 우선, 각 특징점 간의 길이를 계산하여 거리 행렬을 만든다. 그리고 이 거리 행렬을 이용하여 삼각형 패턴과 정합될 수 있는 후보 삼각형을 결정한다. 이 후보 삼각형은 Fig. 4와 같은 삼각형 확률 모델과 비교되어 결정된다. Fig. 4의 삼각형 확률 모델은 맵 데이터에 저장된 삼각형 패턴의 각 변의 길이가 가우스 분포라고 가정하여 만든 모델이다.

이렇게 결정된 후보 삼각형 패턴들 중에서 최종적으로 정합될 삼각형 패턴을 결정하기 위해 MHD를 적용한 기하학적 해싱을 이용한다. 기하학적 해싱(GH, Geometric Hashing)은 객체를 표

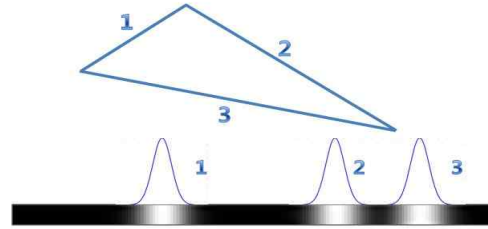


Fig. 4. Triangle Probability Model

현하는 특징점에 대한 정보를 데이터베이스로 미리 저장해 두어, 특징점의 일부가 영상에 없더라도 데이터베이스와 비교하여 객체를 인식하거나 정합하는 기법이다. 기하학적 해싱은 크게 전처리 단계와 인식 단계로 구분할 수 있다. 전처리 단계에서는 데이터베이스를 만드는 단계이며, 인식 단계는 실제 영상에 나타난 특징점과 데이터베이스를 비교하는 단계이다. 본 논문의 전처리 단계에서는 맵 데이터를 이용해 데이터베이스를 만들었으며, 인식단계에서는 맵 데이터에 저장된 특징점에 대한 투표 과정에서 MHD를 이용하였다. 이렇게 삼각형 패턴을 이용하여 기하학적 해싱 기법을 수행하게 되면 연산 시간을 줄일 수 있는 장점이 있다. 또한 기하학적 해싱 기법에 MHD를 적용하면 투영 재구성을 거쳐 재구성한 특징점에 잡음이 생겨도 안정적으로 맵 데이터와 정합할 수 있는 이점을 얻을 수 있다[10].

2.5 UQ를 이용한 자세 및 위치 계산

어떤 점이 두 좌표계로 표현될 때, 두 좌표계 간의 회전 및 병진 관계를 결정하는 것을 절대표정문제(absolute orientation problem)라고 한다. 본 논문에서는 동체 좌표계로 표현된 맵 데이터와 카메라 좌표계로 표현된 특징점 좌표를 가지고 있으므로, 이 두 좌표계간의 변환을 가지고 헬멧의 자세 및 위치를 구한다[8][12].

두 좌표계 간의 기본 식은 식 (5)와 같다.

$$d_i = C_b^c m_i + T_c + V_i \quad (5)$$

여기서 $\{m_i\}$ 는 동체 좌표계 기준의 특징점 집합이며, $\{d_i\}$ 는 카메라 좌표계 기준의 특징점 집합이다. C_b^c 과 T_c 는 두 좌표계 사이의 회전 변환 행렬 및 카메라 좌표계 기준에서의 병진 변환 벡터이며, V_i 는 잡음 벡터이다. 최적 변환 행렬과 병진 변환 벡터를 \hat{C}_b^c, \hat{T}_c 라고 하면, 식 (6)과 같은 최소 자승 오차식으로 표현할 수 있다.

$$\sum_{i=1}^n \|e_i\|^2 = \sum_{i=1}^n \|d_i - \hat{C}_B^C m_i - \hat{T}_C\|^2 \quad (6)$$

두 특징점 집합 $\{m_i\}$, $\{d_i\}$ 는 같은 객체를 표현한 것이므로, 특징점 집합을 도심 \bar{m} , \bar{d} 에 대해 표현하면 식 (7)과 같이 된다.

$$\begin{aligned} \bar{m} &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N m_i, & \bar{d} &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N d_i \\ m_{c_i} &= m_i - \bar{m}, & d_{c_i} &= d_i - \bar{d} \end{aligned} \quad (7)$$

그러므로 식 (6)은 식 (8)로 전개된다.

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n \|e_i\|^2 &= \sum_{i=1}^n \|d_{c_i} - \hat{C}_B^C m_{c_i}\|^2 \\ &= \sum_{i=1}^n (d_{c_i}^T d_{c_i} + m_{c_i}^T m_{c_i} - 2d_{c_i}^T \hat{C}_B^C m_{c_i}) \end{aligned} \quad (8)$$

여기서 마지막 항의 값이 커야 오차가 작아진다. 그래서 마지막 항을 특이값 분해를 하여 \hat{C}_B^C 을 구할 수 있다. 하지만 잡음이 크거나 특징점이 같은 평면 상에 있을 경우에는 회전 행렬 \hat{C}_B^C 이 유니타리 행렬이어야 하는 조건을 만족시킬 수가 없다[12]. 그래서 본 논문에서는 이러한 단점이 없는 UQ를 이용해 자세를 구한다.

식 (8)의 마지막 항을 UQ, \hat{q} 으로 표현하면, 식 (9)처럼 표현되며 행렬 P 는 식 (10)과 같다. 식 (10)에서 S_{ab} 는 특징점 좌표 $\{m_i\}$ 의 a축 성분과 $\{d_i\}$ 의 b축 성분의 곱을 모든 특징점에 대해 더한 값이다.

$$\sum_{i=1}^n d_{c_i}^T \hat{C}_B^C m_{c_i} = \sum_{i=1}^n (\hat{q} \tilde{m}_{c_i} \hat{q}^*) \cdot \tilde{d}_{c_i} = \hat{q}^T P \hat{q} \quad (9)$$

여기서 \hat{q} 는 \hat{C}_B^C 를 표현하는 단위 쿼터니언이며,

$$P = \begin{bmatrix} S_{xx} + S_{yy} + S_{zz} & S_{yz} - S_{zy} & S_{zx} - S_{xz} & S_{xy} - S_{yx} \\ S_{yz} - S_{zy} & S_{xx} - S_{yy} - S_{zz} & S_{xy} + S_{yx} & S_{zx} + S_{xz} \\ S_{zx} - S_{xz} & S_{xy} + S_{yx} & S_{yy} - S_{xx} - S_{zz} & S_{yz} + S_{zy} \\ S_{xy} - S_{yx} & S_{zx} + S_{xz} & S_{yz} + S_{zy} & S_{zz} - S_{xx} - S_{yy} \end{bmatrix} \quad \text{where } S_{ab} = \sum_{i=1}^n m_{c_{i_a}} d_{c_{i_b}} \quad (10)$$

Table 2. Simulations

	Angular Velocity(degree/sec)			Velocity(mm/sec)		
	Roll(Φ)	Pitch(Θ)	Yaw(Ψ)	X-axis	Y-axis	Z-axis
Simulation1	-2	4	18	0	0	0
Simulation2	0	0	0	10	0	-13
Simulation3	-2	4	18	10	0	100

$\tilde{m}_{c_i}, \tilde{d}_{c_i}$ 는 특징점 좌표인 m_{c_i}, d_{c_i} 를 쿼터니언 형태로 표현한 것이다.

오차를 최소로 하는 \hat{q} 는 식 (11.a)와 같이 행렬 P 의 고유값(eigenvalue)들 중에서 최대 양 값에 해당하는 단위 고유벡터(eigenvector)가 된다. 쿼터니언과 회전 행렬과의 관계를 이용하면, 병진 변환 벡터는 식 (11.b)와 같이 구할 수 있다.

$$P \hat{q} = \lambda_{\max} \hat{q} \quad (11.a)$$

$$\hat{T}_C = \bar{d} - \hat{C}_B^C \bar{m} \quad (11.b)$$

식 (11)에서 구한 것은 카메라 좌표계에 대한 헬멧의 자세와 위치이다. 그러므로 지구 좌표계와 카메라 좌표계의 변환 관계를 이용하여 지구 좌표계에 대한 헬멧의 자세 및 위치를 결정해야 한다.

III. 실험 결과

3.1 시뮬레이션 결과

본 논문에서 제시한 알고리즘의 성능은 시뮬레이션을 통해 확인하였다. 총 시뮬레이션 시간은 5초로 1초에서 4초 사이에서만 헬멧이 운동하며, 영상 획득은 15Hz로 가정하였다. 헬멧의 자세 및 위치를 표현하기 위한 지구좌표계는 결과의 직관성을 위해 초기 동체 좌표계와 일치시켰다. 또한 영상좌표계에서 특징점 위치에 대한 잡음으로 식 (12)와 같이 고려하였다.

$$\sigma_{image} = \begin{bmatrix} \sigma_{xx} & \sigma_{xy} \\ \sigma_{yx} & \sigma_{yy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \text{pixel} \quad (12)$$

시뮬레이션은 Table 2와 같이 3가지의 경우에 대해 수행하였다. 첫 번째 시뮬레이션에서는 헬

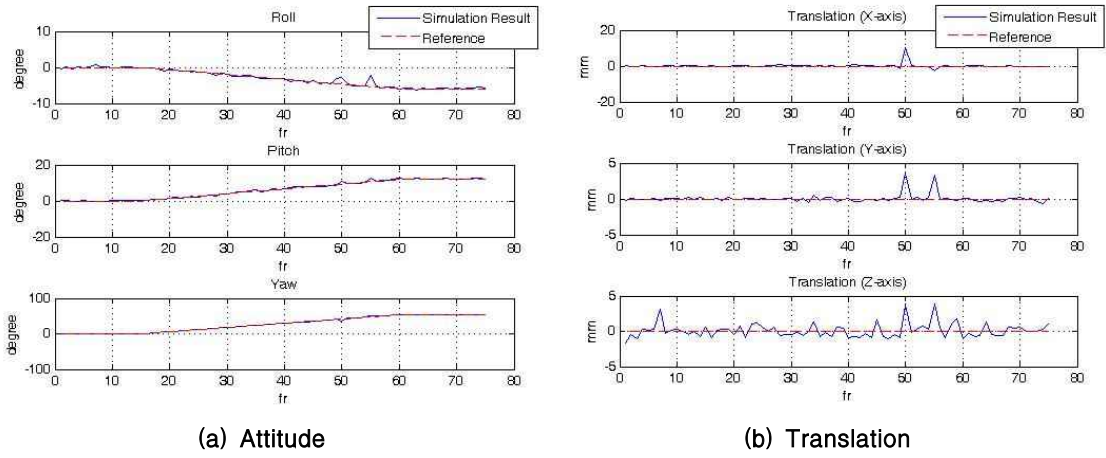


Fig. 5. Result of Simulation1 (Rotation Simulation)

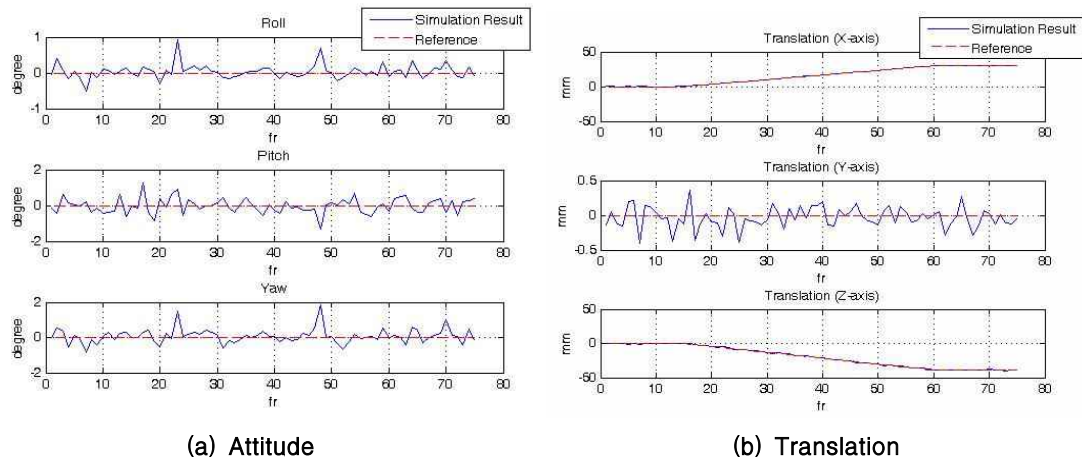


Fig. 6. Result of Simulation2 (Translation Simulation)

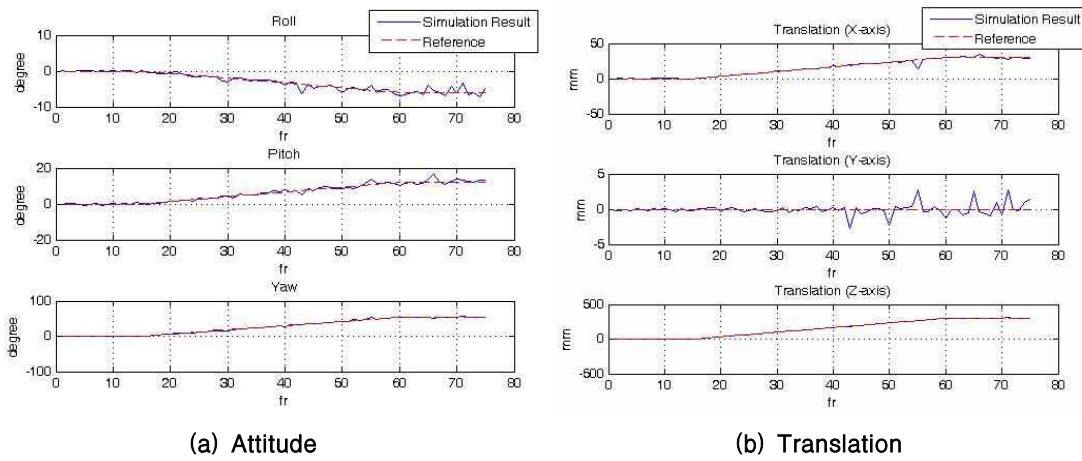


Fig. 7. Result of Simulation3 (Rotation and Translation Simulation)

Table 3. RMSE of Simulations

	Attitude(degree)			Translation(mm)		
	Roll	Pitch	Yaw	X-axis	Y-axis	Z-axis
Simulation1	0.5097	0.4600	0.9881	1.2909	0.6053	1.0027
Simulation2	0.195	0.4205	0.4173	0.1811	0.1579	0.5885
Simulation3	0.6972	0.9891	1.1827	1.6983	0.7891	1.7394

멧이 오일러 각의 시간변화율로 각각 -2, 4, 18 °/s의 일정한 각속도로 움직이는 회전 운동만 고려하였고, 두 번째에서는 지구 좌표계 기준으로 x축으로 10 mm/s, z축으로 -13 mm/s로 헬멧이 병진 운동만 하는 경우를 고려하였다. 마지막으로 세 번째 시뮬레이션에서는 회전 및 병진 운동을 동시에 할 경우를 고려하였다. 이 때, 지구좌표계에 대한 z축 운동은 100 mm/s로 두어, 헬멧이 카메라에서 멀어질 때를 고려하였다.

시뮬레이션 결과는 Fig. 5, Fig. 6, Fig. 7과 같으며, 실선은 잡음을 고려한 결과이고 점선은 잡음을 고려하지 않을 때의 결과이다. 각 자세 및 위치에서의 RMSE(Root Mean Square Error)는 Table 3과 같다. 회전만을 고려한 첫 번째 시뮬레이션 결과와 병진을 고려한 시뮬레이션 결과를 보면 자세 오차는 1°이내이고, 위치 오차는 1mm 내외임을 알 수 있다. 또한 세 번째 시뮬레이션 결과를 보면 앞 두 번의 시뮬레이션에 비해 오차가 조금 더 증가하는 것을 알 수 있다. 또한 40 프레임 이후에는 그 전에 비해 오차가 커지는 것을 볼 수 있다. 이는 재투영 과정에서 재구성한 특징점의 3차원 위치의 오차가 특징점이 카메라에서 멀어질수록 커지는 것을 반증한다.

3.2 실험 결과

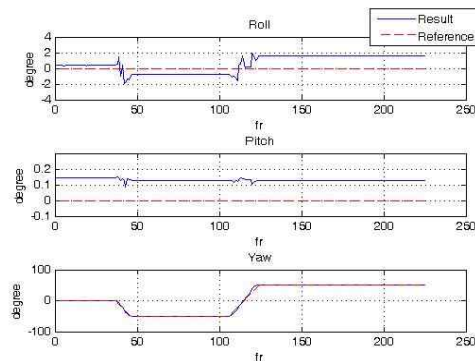
실험을 위한 시스템은 Fig. 8과 같이 구축하였다. 카메라는 VCC-S70E21R 적외선 CCD 카메라



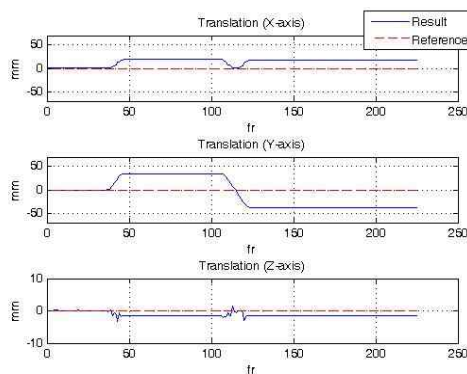
Fig. 8. Hardware System

이고, 렌즈는 SV-EXR5 제품이다. 영상 편집 보드 (frame grabber)로는 Matrox사의 Meteor2-MC/4를 사용하고, 빠른 움직임에도 자세를 추정하기 위해 15Hz로 영상을 출력하게 설정하였다.

구축한 실험 시스템으로 고속의 요측 회전 운동을 실험했다. 이 때 헬멧은 1축 레이트 테이블을 이용하여 요 방향으로 ±100°/sec 속도로 움직였다. 지구좌표계는 실험 결과의 직관성을 위해, 초기 헬멧 좌표계와 동일하게 설정하였다. 그 결과는 Fig. 9와 같으며, RMSE는 Table 4와 같다. 결과를 살펴보면, z축에 대한 위치의 오차는 시뮬레이션과 비슷한 값으로 약 2mm이내인 것



(a) Attitude



(b) Translation

Fig. 9. Result of Experiment Data

Table 4. RMSE of Experiment Data

Experiment Data	Attitude(degree)			Translation(mm)		
	Roll	Pitch	Yaw	X-axis	Y-axis	Z-axis
	1.1858	0.1294	1.8963	15.9117	32.0738	1.4280

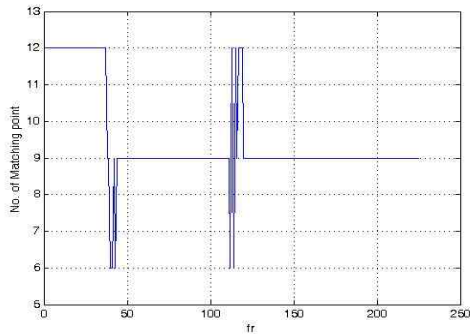


Fig. 10. Number of Matching Points

을 알 수 있다. 하지만, 헬멧의 자세와 x축, y축에 대한 위치 오차는 시뮬레이션에 비해 많이 흔들리는 것을 볼 수 있다. 이는 Fig. 10에서 보는 것처럼 맵 데이터의 특징점과 정합되는 특징점의 개수가 3개씩 급격하게 변하기 때문이다. 정합된 점의 개수가 3개씩 변하는 이유는 모델 정합 단계에서 특징점을 삼각형 단위로 비교 인식하기 때문이며, 인식된 삼각형의 개수가 달라지는 이유는 헬멧의 회전으로 인해 카메라에서 가려지는 LED가 존재하기 때문이다. 그리고 헬멧이 빠른 속도로 움직이면서 LED의 잔상이 영상에 남아, 특징점 중심의 오차가 커져버려 삼각형 패턴을 인식하지 못하는 이유도 있다. 또한 레이트 테이블의 회전 축과 몸통 좌표계의 z축 및 중심이 일치하지 않아, 헬멧이 움직일 경우에 롤과 피치 및 x축, y축의 위치 값이 선형적인 형태로 나타난 것으로 판단된다. 이렇듯 전체적으로 잡음이 크게 존재하더라도 UQ를 이용함으로써 헬멧의 자세 및 위치를 안정적으로 추정할 수 있음을 알 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 스테레오 영상을 이용하여 헬멧의 자세를 결정하는 알고리즘 및 UQ를 이용한 자세계산 기법을 제안하고 시뮬레이션과 실제 실험을 통해 그 성능을 확인하였다. 제시한 알고리즘은 특징점 추출, 투영 재구성, 모델 정합, 자

세 및 위치 결정 단계로 구성된다. 특징점 추출 단계에서는 LED의 중심점을 찾고, 투영 재구성 단계에서는 카메라 좌표계에 대한 LED의 3차원 좌표를 계산하였다. 그리고 모델 정합 단계에서는 맵 데이터를 기준삼아 삼각형 패턴 단위로 LED를 구분하였다. 특히 자세 및 위치 결정 단계에서는 UQ를 이용하여 잡음이 크게 존재해도 자세 및 위치를 안정적으로 추정할 수 있었다.

실험 결과를 보면 헬멧의 자세는 추정 오차가 최대 약 2°이며, 위치는 최대 오차 32mm 이내로 시뮬레이션 결과보다 안 좋은 것을 알 수 있다. 이는 모델 정합 단계에서 삼각형을 이루는 LED 중에서 한 LED라도 영상에 나타나지 않을 때 삼각형 패턴 자체를 인식하지 못하는 문제와 지구 좌표계 및 동체 좌표계의 정렬 문제로 인한 결과로 판단되므로, 이에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

후 기

본 연구는 한국과학재단을 통해 교육과학기술부의 우주기초원천기술개발사업(NSL, National Space Lab)으로부터 지원(과제번호:S10801000163-08A0100-16310)받아 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 1) W. P. Tun Ma, G. Hamarneh, G. Mori, K. Kinelle, V. Sossi, "Motion Estimation for Functional Medical Imaging Studies Using a Stereo Video Head Pose Tracking System", IEEE Nuclear Science Symposium Conf. Record, Dresden, Germany, 2008, pp. 4086~4090.
- 2) Y. Matsumoto, A. Zelinsky, "An Algorithm for Real-Time Stereo Vision Implementation of Head Pose and Gaze Direction Measurement", IEEE 4th Intl. Conf. on Automatic Face and Gesture Recognition, Grenoble, France, 2000, pp. 499~pp. 504.

- 3) B. Luo, Y. Wang, Y. Liu, "Sensor Fusion for Vision-based Indoor Head Pose Tracking", IEEE 5th Intl. Conf. on Image and Graphics, Xi'an, China, 2009, pp. 677~682.
- 4) 홍석기, 박찬국, "두 대의 적외선 카메라를 이용한 헤드 트래커 시스템", 한국항공우주학회지, 제34권, 제5호, 2006, pp. 81~87.
- 5) 이영준, 박찬국, "광학방식 헤드 트래커를 위한 맵 생성 알고리즘과 초기자세 추정기법", 한국항공우주학회지, 제36권, 제7호, 2008, pp. 680~687.
- 6) 김영일, 박찬국, "초기자세 획득을 위한 패턴 매칭을 이용한 광학 방식 헤드 트래커", 한국항공우주학회지, 제37권, 제5호, 2009, pp. 470~475.
- 7) 김종훈, 조겸래, 이대우, "인공표식의 면적을 이용하는 영상 기반 헤드 트래커 설계", 한국항공우주학회지, 제34권, 제7호, 2006, pp. 63~70.
- 8) 허세중, 신옥식, 박찬국, "기하학적 해싱을 이용한 모델 기반 자세 추정", 한국항공우주학회 춘계학술발표회 논문집, 2009, pp. 348~351.
- 9) 허세중, 신옥식, 박찬국, "기하학적 제약조건을 이용한 스테레오 영상 정합", 한국항공우주학회 춘계학술발표회 논문집, 2009, pp. 997~1000.
- 10) 신옥식, 허세중, 박찬국, "영상기반 헤드트래커 시스템에서 기하학적 해싱을 이용한 기하학적 패턴인식", 군사과학기술학회 종합학술발표회, 2009.
- 11) R. Hartley, A. Zisserman, Multiple View Geometry in Computer Vision, 2nd Edition, Cambridge University Press, 2003.
- 12) D. W. Eggert, A. Lorusso, R. B. Fisher, "Estimating 3D rigid body transformations: a comparison of four major algorithms", Machine Vision and Application, Vol.9, Issue5-6, 1997, pp. 272~290.