

Helmet Mounted Display 장비를 사용한 공대지 표적의 위치정보 획득

방극열*, 하석운**

Location Information Extraction of An Air-to-Ground Target using Helmet Mounted Display Device

Kuk Ryul Bang*, Seok Wun Ha**

요 약

무장 전투기와 같은 공격용 항공기는 정밀한 공대공 또는 공대지 공격을 위해 표적의 정확한 위치 정보를 필요로 한다. 본 논문에서는 레이더나 FLIR과 같은 표적추적센서 없이 공대공 유도탄의 seeker head를 조종사의 머리가 가리키는 방향으로 유도하는 장비인 HMD만을 사용하여 공대지 표적의 위치정보를 획득하는 방법을 제시한다. 시뮬레이션 실험을 행한 결과 HMD를 수동 센서로 사용할 경우 다른 표적추적센서와의 연동 없이 HMD 만으로도 높은 정밀도의 표적 위치 정보를 획득할 수 있음을 발견하였다.

▶ Keyword : HMD, 공대지 표적, 위치정보

Abstract

An attack aircraft such as a fighter needs an accurate location information of a target for the exact air-to-air or air-to-ground attack. In this paper a method is proposed that generates a location information of an air-to-ground target just in use of HMD without the target tracking sensors such as the radar and the FLIR. HMD is an embedded device to induce the seeker header to indicate the direction of a pilot's head. As a simulation result, it is founded that the target location information is able to be generated with a high degree of precision by using of HMD as a passive sensor.

▶ Keyword : HMD, Air-to-Ground Target, Location Information

• 제1저자 : 방극열 교신저자 : 하석운

• 투고일 : 2010. 10. 20, 심사일 : 2010. 11. 24, 게재확정일 : 2010. 12. 02.

* (주)한국항공공우주산업(Korea Aerospace Industries)

** 경상대학교 정보과학과(Dept. of Informatics, Gyeongsang National university)

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음(NIPA-2010-(C1090-1031-0007))

I. 서론

기술의 진보와 더불어 전쟁의 참혹함을 피하고 효과적으로 목적을 달성하기 위해 현대전에서는 정밀한 공격이 요구된다. 정밀한 공격을 위해서는 표적의 정확한 위치정보가 필수적이며 이를 위해 주로 레이더나 FLIR (Forward-Looking Infra-Red)와 같은 광학추적장치가 표적정보 획득용 센서로써 이용되고 있다[1-2]. 이들 센서들은 손으로 조종하여 표적에 위치시키고 추적시켜 표적정보를 얻는 방법을 사용하고 있다.

최근에는 공대공 유도탄의 seeker head를 조종사의 머리가 가리키는 표적 방향으로 유도하는 용도로 사용하기 시작한 HMD(Helmet Mounted Display)를 사용하기 시작하면서 조종사가 표적이 있는 쪽을 바라보면 같은 방향으로 레이더나 FLIR과 같은 센서가 연동되어 훨씬 직관적으로 신속, 정확하게 표적 정보를 획득할 수 있게 되었다[3-6].

그러나 이들 센서들의 장착으로 인해 설치에 따른 중량 및 드래그의 증가를 유발하고 있어 임무를 위한 다른 장비들에 관해 임무 효율성에 대한 trade-off를 요구하는 불편한 점이 상존하고 있다.

그러므로 본 논문에서는 이들 센서들을 사용하지 않고 HMD만으로 표적 정보를 획득할 수 있는 방법을 연구하였으며, 시뮬레이션 실험 결과 그 가능성을 확인하였다.

II. 관련연구

최근 게임 등과 같은 가상환경에서는 표적 추적을 위해 HMD를 널리 사용하고 있다. 미 공군연구소의 W. T. Nelson 등은 HMD를 사용하여 다중작업환경에서의 표적 추적 기능성에 대한 실험을 한 바 있으며[8] 단일 및 이중 작업 환경에서의 사용 가능성과 반응에 있어서 시간지연 문제를 제기한 바 있다. 그리고 G. Baratoff 등은 추적 도구로서의 HMD 사용의 적정성을 연구하였으며 주변광이나 적외선이 추적 성능에 영향을 줄 수 있음을 지적하였다[9]. 그러나 항공기로부터의 정보와 HMD로부터의 정보를 활용하여 융합함으로써 목표물을 추적하는 연구 결과는 찾아보기 어렵다.

본 논문에서는 특별한 추적도구를 탑재하지 않고 있는 항공기에 대해 표적에 조준점을 맞출 수 있도록 개발된 HMD를 사용할 경우 HMD만으로 표적 추적이 가능함을 보이기 위한 연구를 수행하고자 한다.

III. HMD를 이용한 표적 위치정보 생성

항공기와 HMD의 자세정보를 활용하면, HMD만을 사용하여 지상의 표적 위치정보를 생성할 수 있다. 항공기로부터는 attitude(heading, pitch, roll), 속도, 고도, 좌표값(latitude, longitude) 등의 정보를, HMD로부터는 azimuth와 elevation 정보를 이용한다.

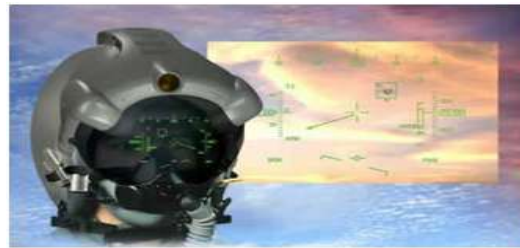


그림 1. F-35 항공기의 HMD 시스템
Fig. 1. HMD system of the F-35 fighter

지상에 있는 표적의 위치정보는 2차원 평면 좌표와 지표고도로 이루어진다.

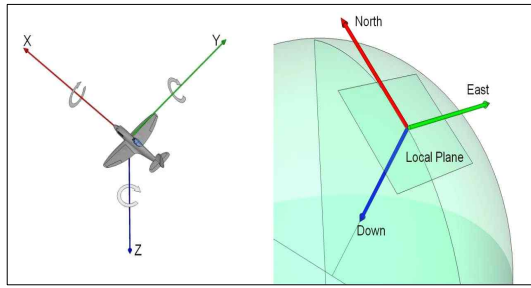
1. 좌표계

공간상의 한 물체의 위치는 상황에 따라 적합한 좌표계를 통해 표시된다. 특히 항공기에 사용되는 좌표계는 여러 가지 좌표계가 상호 연관되어 쓰이고 있다.

HMD를 통해 지상의 한 표적정보를 얻으려면 다음과 같은 좌표계간 변환을 거치게 된다[7].

- HMD 좌표계
- 항공기 Body 좌표계
- 관성항법장치 좌표계
- 지구좌표계

HMD 좌표계는 그림 2(a)과 같이 항공기 Body 좌표계와 일치하는 것으로 가정한다. 항공기의 위치, 속도, 및 자세 정보를 제공하는 관성항법장치의 좌표계는 그림 2(b)과 같이 항공기의 현재 위치를 중심으로 하는 지역평면 기준의 NED (North-East-Down) 좌표계를 가정한다.



(a) HMD좌표계 (b) NED좌표계
 그림 2. HMD(항공기 Body)좌표계와 NED좌표계
 Fig. 2. HMD(Aircraft Body) coordinate and NED coordinate:(a) HMD coordinate and (b) NED coordinate

또한 지구좌표계는 그림 3과 같이 항행계산의 편의상 지구 중심의 직각좌표계인 ECEF(Earth Centric Earth Fixed) 좌표계가 쓰이며 좌표변환을 통해 측지좌표계로 변환하여 사용한다.

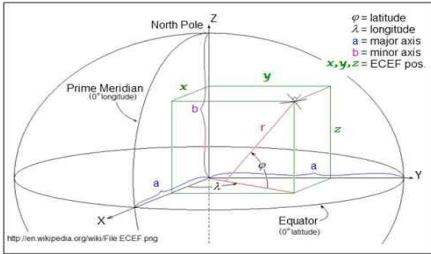


그림 3. ECEF 좌표계
 Fig. 3. ECEF coordinate

2. 표적의 좌표 정보 생성

표적의 좌표정보를 생성하기 위해서 2차원 평면기준 삼각측정법을 적용한다. 삼각측정법에 사용되는 데이터는 항공기가 단위시간동안 이동한 거리와 항공기 이동 전후 위치에서의 표적과의 각도 등이다.

그림 4에 나타난 평면기준 삼각측정법에서 항공기의 이동 전 후의 표적까지의 거리 S_A 와 S_B 는 다음 식(1)과 같이 구해진다.

$$S_A = S_C \left(\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} \right) \dots\dots\dots (1)$$

$$S_B = S_C \left(\frac{\sin \gamma}{\sin \beta} \right)$$

여기서 S_C 는 항공기의 단위시간 이동거리, 그리고 α, β, γ 는 각각 이동 후 항공기의 HMD azimuth, 이동전과 후의 변이각도, 이동 전 HMD의 azimuth를 나타낸다.

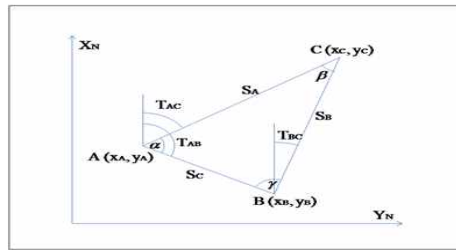


그림 4. 평면기준 삼각측정법
 Fig. 4. Plane-based triangulation measurement

항공기의 이동 후 표적각도 T_{AC} 와 이동 전 표적각도 T_{BC} , 그리고 항공기의 이동 후 좌표 $A(X_A, Y_A)$, 이동 전 좌표 $B(X_B, Y_B)$ 로부터 표적의 상대좌표 $C(X_C, Y_C)$ 를 구할 수 있으며, 다음의 식(2)와 식(3)과 같이 A로부터와 B로부터의 두 가지로 구할 수 있다.

A로부터 C의 상대좌표:

$$X_C = X_A + S_B \cos(T_{AC}) \dots\dots\dots (2)$$

$$Y_C = Y_A + S_B \sin(T_{AC})$$

B로부터 C의 상대좌표:

$$X_C = X_B + S_A \cos(T_{BC}) \dots\dots\dots (3)$$

$$Y_C = Y_B + S_A \sin(T_{BC})$$

평면기준 삼각측정법은 2차원 평면을 기준으로 하므로 NED 좌표계의 지역평면상에서 항공기의 이동전과 후의 두 지점만의 관측 값을 이용하여 비교적 용이하게 계산할 수 있다. 그러나 NED 좌표계의 중심이 항상 항공기 위치와 일치하여 이동하기 때문에 지속적인 삼각측정법을 적용하기에는 기준에 어려움이 발생한다. 그러므로 지구타원체에 고정된 좌표계인 측지좌표계로 변환하여 사용하면 이러한 문제를 해결할 수 있다.

HMD로부터 측정된 azimuth를 항공기 Body 좌표로부터 NED 좌표, 그리고 ECEF 좌표변환을 거쳐 측지좌표계의 진방위(true bearing) 값으로 변환하여 적용하면 지속적인 삼각측정법 수행이 가능하다.

그러므로 다음 그림 5와 같이 측지좌표계 기준 삼각측정법을 이용하면 최종적으로 표적의 좌표를 생성할 수 있다.

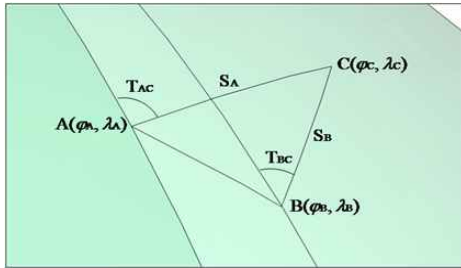


그림 5. 측지좌표계 기준 삼각측정법
Fig. 5. Triangulation measurement based on Geodetic coordinate system

그림 5에서 $A(\phi_A, \lambda_A)$, $B(\phi_B, \lambda_B)$, $C(\phi_C, \lambda_C)$ 는 각각 항공기 이동 후, 이동 전, 그리고 표적의 측지경도 및 측지위도를 나타낸다. 그리고 S_A , S_B 는 각각 이동 후와 전의 표적과의 거리를 나타내며, T_{AC} , T_{BC} 는 각각 항공기 이동 후와 전의 HMD azimuth의 진방위각을 나타낸다. 이들 값들을 위의 평면측정 삼각측정법에 적용하면 표적의 실질적인 위치정보를 구할 수 있다.

$$C(\phi_C, \lambda_C) = WGS84CrsIntersect(\dots (4) \\ A(\phi_A, \lambda_A), T_{AC}, S_A, \\ B(\phi_B, \lambda_B), T_{BC}, S_B)$$

본 논문에서는 식(4)와 같이 WGS-84 타원체모델을 기준으로 측지계산의 기준이 되는 Vincenty Inverse/Direct 알고리즘을 사용하는 WGS84CrsIntersect() 함수를 사용하여 표적의 좌표를 구하였다.

3. 표적의 지표고도 정보 생성

표적의 지표고도는 삼각측정에 의해 매번 계산되는 표적의 위치를 대상으로 하기 때문에 NED 좌표계를 사용하는 것이 용이하다.

그림 6에서 표적의 지표고도 산출에 사용되는 각 θ 는 HMD에 의해 지시되는 지상지점까지의 직선 LOS(Line of sight)가 지평면과 이루는 각으로써 Grazing angle이라 하며 항공기 Body 좌표계 기준의 HMD elevation 값을 NED 좌표계로 변환하여 구할 수 있다.

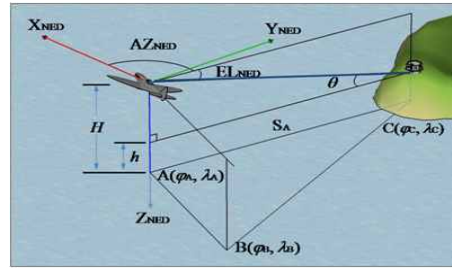


그림 6. 표적의 지표고도 산출
Fig. 6. Calculation of the target height

그림에서 AZ_{NED} 와 EL_{NED} 는 각각 NED 좌표 변환된 HMD Azimuth와 HMD Elevation을 나타내며, H 는 항공기 고도를 나타낸다.

표적의 지표고도 h 는 식(5)와 같이 구해진다.

$$h = H - S_A \tan \theta \dots (5)$$

그런데 Grazing angle θ 는 NED 좌표계의 XY 평면 기준 HMD Elevation인 EL_{NED} 와 일치하므로 다음 식(6)과 같이 구할 수 있다.

$$h = H - S_A \tan(EL_{NED}) \dots (6)$$

IV. 시뮬레이션 결과 및 검토

1. 시뮬레이션 환경

일반적으로 항공기의 지상공격 시점은 표적으로부터 6~10 km 밖에서 시작되므로 이와 동일한 조건을 적용하였으며, 항공기는 250 knots의 속도로 5초간 비행하여 약 700 m를 이동하는 것으로 가정하였다.

2. 예상 정밀도 구성

표적까지의 지표면상 거리가 10 km일 때 $\pm 2m$ 의 정밀도로 측정한다면 milli-radian 정도의 상 $\pm 20(=40)m$ 의 오차 범위가 발생하는데, 여기에 항공기 고도를 5 km로 가정하여 항공기로부터 지상 표적까지의 LOS를 고려하면 지상 표적 주변의 오차 범위를 다음 그림 7의 타원 부분과 같이 나타낼 수 있다. 즉 Cross LOS는 약 $\pm 22.5(=45)$ 미터, Along LOS는 $\pm 50(=100)$ 미터 정도의 오차 범위를 가진다.

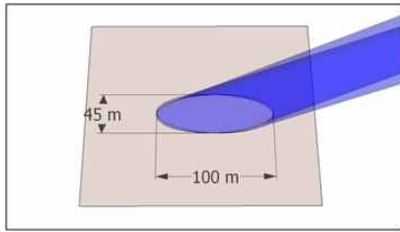
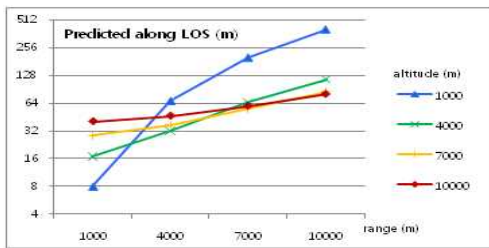
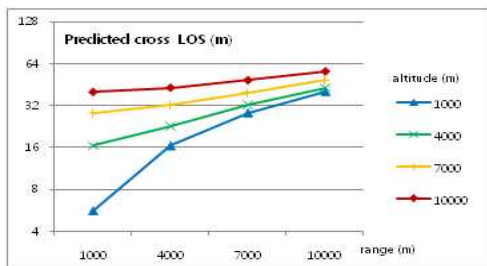


그림 7. 표적 주변 오차 범위 가상도
Fig. 7. Estimated error distribution of the target area

그리고 그림 8의 그래프는 위와 같은 조건에서 항공기 고도와 표적까지의 거리를 변화시켰을 때의 예상 오차 값을 나타낸다.



(a) Along LOS



(b) Cross LOS

그림 8. 항공기 고도 및 거리 별 표적위치 예상 오차
Fig. 8. Predicted target position errors: (a) Along LOS and (b) Cross LOS

Cross LOS의 경우는 거리 및 고도에 따라 비례적으로 오차가 증가하나 Along LOS의 경우는 고도가 낮은 조건일 때 LOS가 지면과 이루는 각이 작기 때문에 다른 조건들에 비해 낮은 고도에서 거리가 증가할수록 오차가 급격히 커지는 경향을 나타내고 있다.

3. 시뮬레이션 결과

예상 정밀도 구성 때와 동일한 기동 조건에서 $\pm 2mr$ 의 정규분포 특성을 갖는 HMD Azimuth/Elevation을 가정하고 Monte Carlo Simulation 기법을 이용하여 표적 정보 추출을 모의 실험하였다. HMD Angle 오차 모델은 그림 9와 같이 생성하였다.

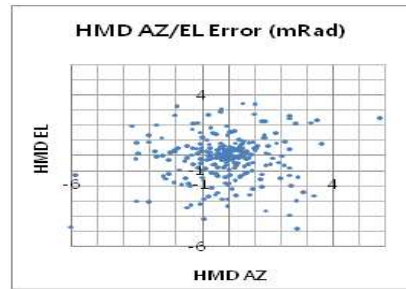


그림 9. HMD Angle 오차 모델
Fig. 9. HMD angle error model

항공기는 그림 10과 같이 고도 5000 미터에서 10 km 지점거리에 있는 표적을 진북 방향으로 비행하며 추적하는 것으로 설정하였다.

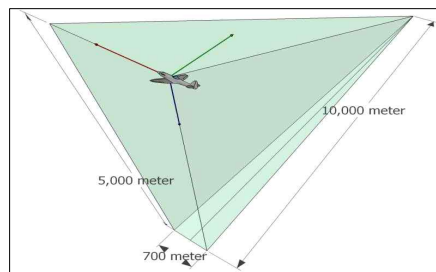


그림 10. HMD 추적 모의 비행 설정
Fig. 10. Initial setup for HMD tracking

표적 위치 계산은 50Hz로 5초간 수행하는 것으로 설정했으며 HMD의 Error 특성을 감안하여 삼각측정에 사용할 두 지점 간 거리간격을 2초간 비행한 거리로 정하였다. 따라서 5초 중 마지막 3초간 표적 위치 계산이 이뤄졌고 총 150개의 계산 결과 값이 얻어졌다. 3초간 표적 추적한 최종 결과 값을 그림 11과 그림 12에 나타내었다.

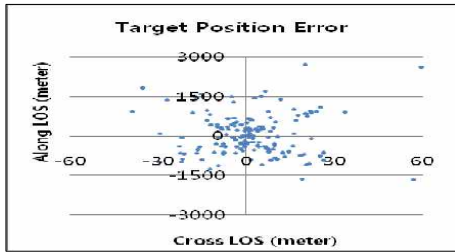


그림 11. 표적 위치 오차(거리 10km, 고도 5km)
Fig. 11. Target position error (range:10km, altitude:5km)

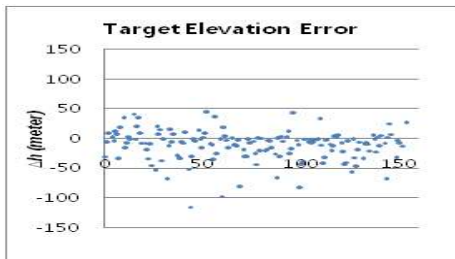


그림 12. 표적 고도 오차(거리 10km, 고도 5km)
Fig. 12. Target altitude error (range:10km, altitude:5km)

그림 11과 그림 12에서 보여주는 표적 위치 및 표적 고도 오차를 종합하여 표 2에 나타내었다.

표 1. 표적 위치 계산 시뮬레이션 결과
Table 1. Simulation results of the HMD targeting

	Along LOS Error (meter)	Cross LOS Error (meter)	Target Height Error (meter)
평균오차	58.3	1.3	-12.6
표준편차	755.9	14.6	25.3

표 1의 표적 위치 계산 시뮬레이션 결과를 앞 절의 예상 오차 값과 비교하면 Cross LOS 평균오차는 1.3미터로 예측 범위 ± 22.5 미터 이내에 들어오나, Along LOS 평균오차는 58.3미터로 예측범위인 ± 50 미터를 조금 넘는다. 표적 지표 고도의 경우 Cross LOS 오차 범위를 적용해도 무방할 것이며 이렇게 적용했을 때 표적 지표고도 평균오차인 -12.8미터는 예측 범위(± 22.5)안에 들어온다.

4. 검토

시뮬레이션을 통해 측정된 표적의 위치 오차의 범위가 예

측 범위 내에 있게 되어 표적 추적을 위한 적절한 센서가 없는 항공기의 경우 HMD만으로 표적 추적이 가능함을 예상할 수 있다. 그러나 조종사가 시선을 고정시킬 수 있는 표적이 육안으로 식별이 가능해야하는 점, 표적이 움직이지 않고 고정되어야 하는 점, 정면의 표적에 대해 하강하는 중에는 계산이 어려운 점 등의 문제에 따른 오차에 대한 해결이 요구된다. 그리고 낮은 고도에서 표적과의 거리가 멀어질수록 오차가 급격히 증가하는 문제뿐만 아니라 관련연구에서 제시한 시간 지연 및 광의 영향도 고려해야 한다.

V. 결론

본 논문에서는 레이더나 FLIR과 같은 광학추적장치를 사용하지 않고 HMD만을 사용하여 지상 표적의 위치 정보를 생성하는 방법을 제안하였다. 항공기의 항법 자료와 HMD의 자세 정보를 삼각측정법과 좌표변환에 적용하여 표적의 위치를 계산하는 방법을 적용하였다. 시뮬레이션 결과 HMD 추적방식만으로도 상당히 먼 거리에서부터 충분한 정밀도의 표적위치정보를 얻을 수 있는 가능성을 확보하였다.

참고문헌

- [1] A. Yilmaz, K. Shafique, N. Lobo, X. Liu, T. Olson, and M. A. Shah, "Target-tracking in FLIR Imagery Using Mean-Shift And Global Compensation," Workshop on Computer Vision Beyond the Visible Spectrum, 2002.
- [2] J. Kostakis, M. Cooper, T. J. Green, Jr., M. I. Miller, J. A. O'Sullivan, J. H. Shapiro, and D. L. Snyder, "Multispectral Sensor Fusion for Ground-Based Target Orientation Estimation: FLIR, LADAR, HRR," Conference on Automatic Target Recognition IX, Proc. of the SPIE, vol. 3717, pp. 14-24, 1999.
- [3] R. J. Rostad, C. E. Rash, J. S. Crowley, J. K. Briley, and J. C. Mora, "Analysis of azimuth head motion in rotary-wing flight using various helmet-mounted display configurations," Conference on Helmet-and Head-Mounted Display VI, Proc. of the SPIE, vol. 4361, pp. 115-129, 2001.
- [4] C. Hudson, P. J. Longman, and N. R. Makepeace,

"Flight test of monocular day/night HMD system," Conference on Helmet-and Head-Mounted Display VII, Proc. of the SPIE, vol. 4711, pp. 93-104, 2002.

- [5] G. L. Martinsen, P. R. Havig, D. L. Post, G. A. Reis, and M. A. Simpson, "Human factor requirements of helmet trackers for HMDs," Conference on Helmet-and Head-Mounted Display VIII, Proc. of the SPIE, vol. 5079, pp. 95-103, 2003.
- [6] A. Sisodia, A. Riser, M. Bayer, and J. P. McGuire, "Advanced Helmet Mounted Display (AHMD) for simulator applications," Conference on Helmet-and Head-Mounted Display XI, Proc. of the SPIE, vol. 6224, 2006.
- [7] Aerospace Toolbox User's Guide- About Aerospace Coordinate Systems, Mathworks, Inc. 1984-2010.
- [8] W. T. Nelson, R. S. Bolia, and C. A. Russel, "Head-slaved tracking in a see-through HMD: The effects of a secondary visual monitoring task on performance and workload," Doc. ASC-00-0148, Air Force Research Laboratory, Ohio, 2000.
- [9] G. Baratoff and S. Blanksteen, "Tracking Devices," Doc. L.D.1.b, Human Interface Technology Laboratory, Washington, 2010.

저 자 소개



방극열

1988년 : 서강대학교 전자공학과 졸업
 2010년 : 경상대학교 항공우주공학과 석사
 2010년~현재 : (주)한국항공우주산업 책임연구원
 관심분야 : 항공전자시스템 소프트웨어, 내장형시스템소프트웨어, 항공영상처리
 E-mail : bkyeol@koreaaero.com



하석운

1995년 : 부산대학교 전자공학과 박사
 2002년 : 미국 캘리포니아대학교 방문연구
 2010년~현재 : 경상대학교 정보과학과 교수
 관심분야 : 디지털영상처리, 내장형시스템소프트웨어, 항공영상처리
 E-mail : swha@gnu.ac.kr