

간섭계 레이더 고도계 모델링 및 오차 특성 분석

박준우*, 김영주, 방효충

KAIST

Modeling and Analysis of Error Characteristics of Interferometric Radar Altimeter

Junwoo Park*, Youngjoo Kim, Hyochoong Bang

Key Words: Terrain Referenced Navigation(지형 참조 항법, TRN), Interferometric Radar Altimeter(간섭계 레이더 고도계, IRA)

1. 서 론

지형 데이터 베이스가 탑재된 기체가 지형 고도를 측정하여 항법 정보를 추정하는 지형 참조 항법(Terrain Referenced Navigation, TRN)과 관련하여 다양한 연구가 진행되어왔다. 하지만 기존의 전파 고도계는 지형의 험준도가 큰 곳을 측정하거나 고고도에서 비행체를 운용하는 경우 직하방의 정확한 고도 측정이 어렵다는 단점이 있다. 기체를 기준으로 가장 근접한 지점에 대해 정확하고 활용도가 높은 측정치들을 주는 간섭계 레이더 고도계(Interferometric Radar Altimeter, IRA)를 활용하여 대체 항법 시스템을 구축하는 연구가 필요한 실정이다.

이에 본 연구에서는 IRA를 활용한 TRN시스템의 기반을 마련하기 위해 IRA의 출력을 모사하며, 지형 정보 획득의 오차 특성을 연구하여 IRA를 활용한 TRN 시스템 구성 시에 측정치의 효율적인 활용 방안을 모색한다.

2. 본 론

2.1 간섭계 레이더 고도계 모델 및 출력 모사

본 절에서는 참고논문¹⁾에 제시된 간섭계 레이더 고도계 출력 모사 방법을 간단히 소개한다. 간섭계 레이더 고도계로부터는 기체 직하방 구역의 고도 평균을 측정하는 일반적인 전파 고도계와 달리 Fig. 1과 같이 기체로부터 가장 근접한 지점에 대한 경사거리, 경사각, 그리고 관측각 정보를 얻는다. ρ , γ , θ , B 는 각각 경사거리, 경사각, 관측각, 안테나 간의 기선거리(Baseline)이다.

간섭계 레이더 고도계의 운용을 위해서는 한 개의 송/수신 가능 안테나와 한 개 이상의 수신 안테나를 고정된 비행기의 y축 방향으로 장착한다. 두 개 이상의 안테나가 서로 떨어진 기선거리로 인해 지면에 반사된 반송 신호 사이에 위상 차가 발생하고

이로부터 관측각을 얻는다. 경사거리는 반송파의 송/수신 시간차로부터 얻을 수 있으며 기체의 진행 방향과 평행하게 정렬된 도플러 좌표계에서 경사각을 얻는다. 관측각과 경사각을 얻는 관계식은 (1)~(3)과 같다.

$$\theta = \sin^{-1}\left(\frac{\lambda}{2\pi B} \cdot (\Delta\phi + 2\pi n)\right) \quad (1)$$

$$f_{DC} = \sin^{-1}\left(V/\lambda H \cdot f_{DC}\right) \quad (2)$$

$$\gamma = \sin^{-1}\left(\lambda/2V \cdot f_{DC}\right) \quad (3)$$

여기서 f_{DC} , $\Delta\phi$, n , V , H 는 각각 도플러 중심주파수, 수신된 신호의 위상 차, 모호 정수, 비행체의 속력과 고도이다.

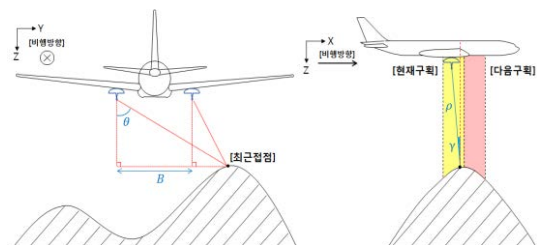


Fig. 1. Measurement depiction of IRA

항법 시스템에 IRA의 측정치를 이용하기 위해서 비행체 좌표계를 기준으로 최근접점에 대한 상대 위치를 추출한다. 경사거리, 경사각, 그리고 관측각으로부터 상대 위치를 얻는 관계식은 (4)~(9)와 같고 간단한 모사 결과를 Fig. 2에 나타내었다.

$$X_d = \rho \cos(\pi/2 - \gamma) \quad (4)$$

$$\begin{bmatrix} X_d \\ Y_d \\ Z_d \end{bmatrix} = X_d \cdot \frac{\vec{v}}{|\vec{v}|} \Big|_{body-frame} \quad (5)$$

$$x_d x + y_d y + z_d z = x_d^2 + y_d^2 + z_d^2 \quad (6)$$

$$y = \rho \sin(\theta) \quad (7)$$

$$x^2 + z^2 = \rho^2 \cos^2(\theta) \quad (8)$$

$$\begin{bmatrix} x_r \\ y_r \\ z_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\sqrt{\rho^2 \cos^2(\theta) - z_r^2}}{\rho \sin(\theta)} \\ \frac{K_1 K_2 + \sqrt{(K_1 K_2)^2 - (1 + K_2^2)(K_1^2 - \rho^2 \cos^2(\theta))}}{1 + K_2^2} \end{bmatrix} \quad (9)$$

여기서 $[x_d, y_d, z_d]'$ 는 비행체 좌표계에서 바라본 도플러 원 중심의 좌표이고 $[x_r, y_r, z_r]'$ 은 최근접점까지의 상대좌표이다. K_1 은 $\frac{x_d^2 + y_d^2 + z_d^2 - y_d \rho \sin(\theta)}{x_d}$, K_2 는 z_d/x_d 의 축약이며, (5)는 ECEF 좌표계에서 표현된 벡터를 NED 좌표계로, 다시 NED좌표계에서 비행체 좌표계로 변환하는 과정을 포함한다. (6)~(8)을 연립하여 (9)와 같은 결과를 얻을 수 있으며, 극기동을 하지 않는 비행체의 경우 지형은 비행체의 배면 방향에 위치하므로 양수인 z_r 값을 선택한다

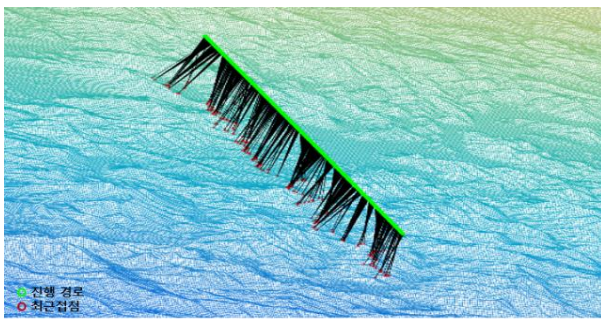


Fig. 2 Measurement reproduction of IRA

2.2 오차 특성 분석

민간에서 구할 수 있는 90m 간격의 Level 1의 수치 표고 자료(DEM)을 이용하였으며 DEM의 비 격자 구간에는 2차원의 선형 보간법을 이용하여 10m단위로 최근접점을 탐색하였다. 우선 획득한 최근접점을 참값으로 가정하고 해당 지점을 비행체 좌표계에서 바라본 상대좌표를 계산한다. 그리고 (4)~(9)의 과정을 역으로 진행하여 본 상대좌표를 얻게 되는 간접적 레이더 고도계의 측정치를 계산한다. 측정치에 가우시안 잡음을 추가하여 다시 최근접점의 상대 위치를 계산한 뒤 측정치의 오차가 상대 위치의 오차로 전파되는 경향을 파악한다. 오차 특성 결과는 Fig. 3에 나타내었다.

3. 결 론

Level 1의 DEM에서 선형 보간을 이용하여 IRA의 출력력을 모사할 수 있었다. 본 방법을 이용하여 최근접점에 대한 상대 좌표를 얻었을 때, 해당 지점을 가리키는 측정값을 역으로 계산하였고 잡음을 섞어 최근접점의 위치 오차에 영향을 미치는 정도를 확인하였다. 관측각은 기체의 날개 방향으로 측정하기 때문에 위치 오차의 y성분에, 기체 진행 방향을

기준으로 하는 경사각은 위치 오차의 x성분에, 그리고 경사거리는 위치 오차 전반에 주로 영향을 미치는 것을 확인하였다. z성분이 모든 경우에서 영향을 받으며 이는 비행 고도 대비 지형의 고도 및 변화가 크지 않아 큰 ρ 값과 작은 γ , θ 값을 가지기 때문이라고 생각할 수 있다. 본 결과에 유의하여 IRA를 활용한 TRN시스템을 실제로 구현할 예정이다.

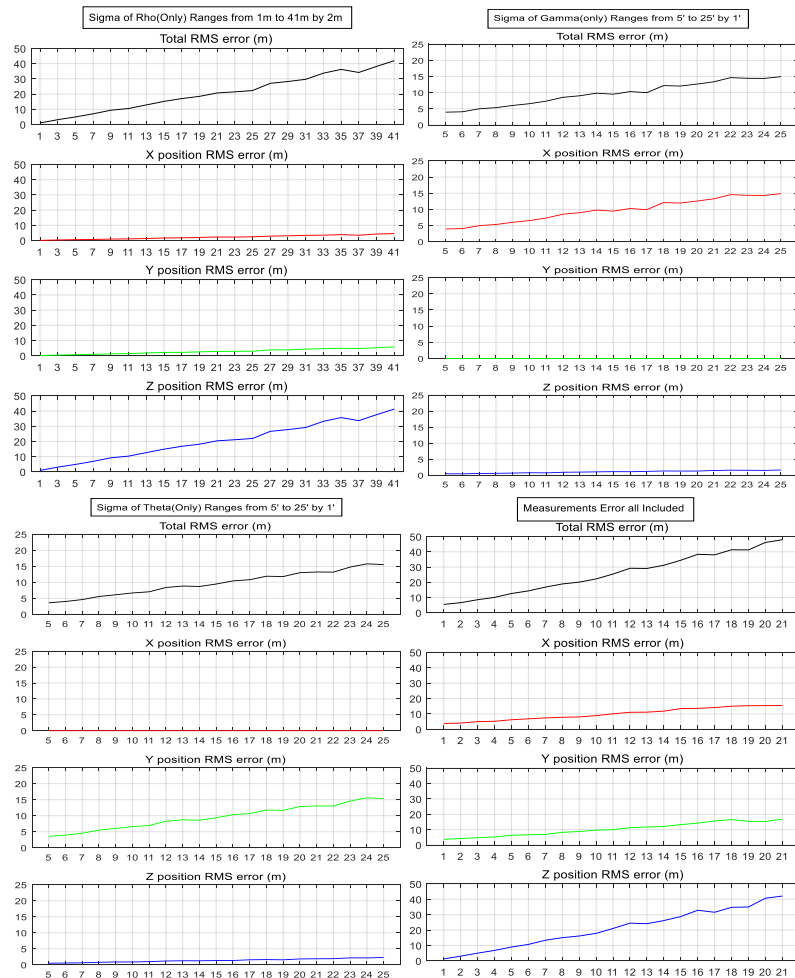


Fig. 3. RMS error of relative position when noise of ρ only, γ only, θ only, and all of them are added respectively to the measurements.

후 기

본 논문은 “고고도 운용 지형 대조 항법 성능 향상 기법 연구”과제의 일환으로, 국방과학연구소의 후원을 받아 작성되었습니다.

참고문헌

- 1) Dong-Taek Lee, Hyung-Sup Jung, and Geun-Won Yoon, “An Efficient Interferometric

Radar Altimeter (IRA) Signal Processing to Extract Precise Three-dimensional Ground Coordinates“, Korean Journal of Remote Sensing, Vol. 27, No. 5, 2011, pp. 507~520.