

## 간섭계 레이더 고도계를 이용한 강결합 구조의 관성 항법/지형 참조 항법의 통합 항법

박준우\*, 김영주, 방효충  
KAIST

## Tightly Coupled INS/Interferometric Radar Altimeter-aided TRN

Junwoo Park\*, Youngjoo Kim, Hyochoong Bang

**Key Words** : Integrated Navigation, Terrain Referenced Navigation, Rao-Blackwellized Particle Filter, Interferometric Radar Altimeter

## 요 약 문

항공기는 기본적으로 관성 항법의 도움을 받지만, 관성 항법의 독립적인 사용은 관성 측정 장치의 오차 특성과 단순히 측정치를 누적한다는 기본 원리로 인해 장기간 운용 시에 항법 해가 발산한다는 단점이 있다. 이에 항공기는 위성 항법 시스템과 같은 보조 수단과 결합하여 정확도를 높인 항법해를 도출하는 것이 일반적이다. 하지만 GPS로 대변되는 위성 항법 시스템은 의도적인 신호 교란과 위조 신호등에 취약하여서 보다 강력한 항법 보조 시스템이 필요한 실정이다.

지형 참조 항법은 이러한 맥락에서 제시된 보조 항법 수단으로, 지형 측정치를 항공기에 내장된 지형 데이터베이스와 비교하여 항법해를 추정하는 기법이다. 고전적으로는 기체 수직 하방 지표면까지의 상대거리를 측정하는 전파 고도계와, 기체의 절대 고도를 측정하는 압력 고도계를 이용하여 지형의 종축 정보를 획득한 뒤 지형 고도 데이터베이스와 비교하여 기체의 횡축 위도, 경도 정보를 추정하는 구조를 따른다. 최근에는 측정 구획 중 최근접점까지의 거리(range)와 측방향 각도(side looking angle)를 측정할 간섭계 레이더 고도계 시스템이 도입되어 지형 참조 항법의 정확도와 활용 범위를 확장할 수 있는 연구의 필요성이 대두되고 있다. 여기서 간섭계 레이더 고도계의 측정 구획이란 기체의 속도 벡터와 수직인 평면이 지표면과 만나는 곡선인 Zero Doppler line을 의미한다. 간섭계 레이더 고도계를 이용하여 지형 참조 항법을 시도한 사례가 몇몇 있었으나, 모든 접근이 극좌표계 형태로 주어지는 간섭계 레이더 고도계의 측정치를 수직축과 수평축으로 분해한 뒤 고전적인 지형 참조 항법의 틀을 사용하여서 극적인 성능 향상을 이룩하지 못하거나 오히려 항법 성능이 감소하는 경향을 보인다.

그와 동시에, 지형 참조 항법은 관성 항법과 결합되어 GNSS/INS와 같이 상호 보완적으로 서로의 단점을 줄이고 강력한 통합 항법 시스템을 구축하는 데 그 목적이 있다. 지형 정보/지형 측정치는 기체의 상태에 높은 비선형성을 보이기 때문에 재귀적인 형태로 항법 필터를 적용하는 경우, 지형 참조 항법은 파티클 필터(PF)나 포인트 매스 필터(PMF)와 같은 비선형 베이시안 필터를 주로 사용하게 된다. 하지만 이러한 비선형 필터의 사후 확률 추정치는 정규 분포를 이룬다는 가정을 만족할 수 없어서 관성 항법과의 추가적인 통합

시에 칼만 필터 혹은 확장 칼만 필터(EKF)와 같은 선형 가우시안 모델의 활용은 통합 항법의 원활한 성능을 이끌어내지 못할 가능성이 높다. 다르게는, 별도의 가우시안 통합 필터로 관성 항법과 지형 참조 항법을 엮는 약결합의 방식으로 지형 참조 항법 본연의 특성을 반영할 수 없다는 문제점이 있다.

간섭계 레이더 고도계 센서 특성을 잘 보전함과 동시에 지형 참조 항법 추정치의 높은 비선형성을 참작하여 관성 항법과 결합시킬 수 있는 통합 항법 알고리즘이 필요하다고 할 수 있다. 이에 본 논문에서는 단일 통합 필터가 관성 항법과 지형 참조 항법 모두를 관장하여 각각의 특성을 잘 반영하는 방법을 다룬다. 특히 시스템 모델의 부분적으로 선형적인 하부 구조에서 이득을 보는 Rao-Blackwellized 파티클 필터(RBPF)를 소개하며, 비선형적인 간섭계 레이더 고도계 측정치 모델의 순차적 선형화 과정을 제시하여 해당 기법을 활용할 수 있는 방법을 제안한다. 기체의 위도, 경도만 직접적으로 관여하던 종래의 지형 참조 항법 측정치 모델과 달리 본 연구에서는 기체의 3차원 위치, 속도, 그리고 자세 모두를 결합하는 필터링 구조를 제시한다. 특정 비행 조건을 모사하여 모의실험을 진행하였으며, 3차원 항법해 오차가 모두 0으로 수렴함을 확인하였다. 간섭계 레이더 고도계와 관성 측정 장치만으로 이루어진 통합 항법 시스템의 가능성을 확인할 수 있었으며, 이는 신뢰도 높은 계층적/선택적인 구조의 전체 항법 시스템 구축이 가능함을 의미한다.