

열차용 복합항법시스템 설계 및 신뢰성 분석

Integrated Navigation System Design and Reliability Analysis for Trains

조성윤*[†], 강창호** , 신경호***

Seong Yun Cho*[†], Chang Ho Kang** , Kyung Ho Shin***

초 록 열차의 위치정보는 인프라에 의한 검출 또는 열차에 탑재된 센서에 의한 추정으로 획득할 수 있다. 검출기법에 의한 위치정보는 정확도 및 신뢰성이 높으나 인프라 설치 및 유지보수를 위한 비용이 큰 단점으로 작용한다. 이에 반해 추정기법에 의한 위치정보는 비교적 낮은 비용으로 시스템을 구축할 수 있지만 센서의 등급 및 주행 환경에 따른 정확도 및 신뢰성의 감소를 고려해야 한다. 본 논문에서는 열차용 복합항법시스템을 설계하고 이 시스템의 신뢰성을 분석할 수 있는 방법을 제안한다.

주요어 : 복합항법시스템, INS/GPS, 신뢰성 분석

1. 서 론

열차의 위치정보는 안전한 열차시스템 운영을 위해 반드시 필요하며 편리한 위치기반서비스를 위해서도 그 요구사항이 점점 증가하고 있다. 지금까지는 철도상에 설치된 인프라 기반으로 열차를 검출 (Detection)하는 방식으로 열차의 위치정보를 획득하였다. 검출기법에 의한 열차의 위치정보는 검출 가능한 범위를 최대 오차로 하며 검출 불가능한 경우의 수에 의해 신뢰성을 평가할 수 있다. 따라서 이 기법의 정확도 및 신뢰도는 높은 것으로 평가되고 있다. 그러나 인프라의 설치 및 유지보수를 위한 막대한 비용, 인력, 시간 등은 이 기법의 단점으로 작용한다.

최근에는 인프라 대신 열차에 장착하는 센서 기반의 열차용 항법시스템이 연구되고 있다. 열차에 탑재 가능한 Odometer, 관성센서, GPS 수신기 등이 주요 센서로 고려된다.

센서기반으로 열차의 위치정보를 획득하는 방법은 추정 (Estimation)기법이다. 추정기법은 확률/통계적인 이론을 기반으로 제공되는 위치정보의 신뢰성을 평가할 수 있다. 본 논문에서는 센서기반의 열차용 복합항법시스템을 설계하고 이 시스템의 신뢰성을 평가할 수 있는 방법을 제안한다.

2. 열차용 복합항법시스템

2.1 INS/GPS/NHC 복합항법시스템

INS (Inertial Navigation System)는 관성센서인 가속도계와 자이로로 구성된 IMU (Inertial Measurement Unit)를 사용하여 열차의 6자유도 움직임을 측정하고 관성항법 알고리즘을 사용하여 열차의 자세, 속도 및 위치를 추정하는 대표적인 추측항법 (Dead Reckoning) 시스템이다. 단기 안정도와 높은 출력 주파수 및 다양한 항법정보를 제공한다는 장점이 있으나 시간에 따른 오차 누적 현상이 가장 큰 단점이다 [1]. 이에 반해 GPS는 위성항법 시스템으로 시간에 따라 오차 누적 현상이 없으나 환경에 따른 큰 오차가 발생한다. 이

† 교신저자: 경일대학교 자동차융합대학 로봇공학과 (sycho@kiu.kr)

** 금오공과대학교 기계시스템공학과

*** 한국철도기술연구원 북방철도연구센터

두 시스템의 결합은 시너지 효과를 발휘하여 단/장기 안정도뿐 아니라 INS가 갖는 다양한 장점을 모두 갖는 항법시스템으로 사용할 수 있다. 그러나 터널과 같은 GPS 음영지역에서는 이 장점은 한계를 갖는다. 이런 문제를 해결하기 위해서 NHC (Non-Holonomic Constraint)를 함께 사용할 수 있다. 즉 열차는 철도 상에서만 움직이게 되므로 열차의 동체 좌표계 상에서 측면 방향과 수직 방향으로의 속도 정보는 항상 0이 되며 이 정보를 추가적인 측정치로 활용하여 복합항법을 구성할 수 있게 된다. 결론적으로 INS/GPS/NHC 복합항법은 열차시스템에 적합한 복합항법시스템으로 터널 밖에서는 안정적인 GPS 정보를 수신할 수 있게 됨으로써 이를 활용하여 INS의 오차를 보정하고, GPS 음영지역에서는 보정된 INS와 NHC를 융합하여 안정적인 항법정보를 지속적으로 제공할 수 있게 된다. 또한 NHC는 GPS 정보를 사용할 수 있는 공간에서도 GPS 정보와 함께 사용함으로써 전체 항법시스템의 정확도 및 신뢰성을 높일 수 있다.

2.2 신뢰성 분석

복합항법시스템은 필터를 사용하여 다수의 시스템 결과를 결합하여 추정오차의 제공이 작아지는 방향으로 상태변수를 추정한다. INS 항법알고리즘은 비선형이므로 EKF (Extended Kalman Filter)와 같은 비선형 필터를 사용하게 된다. 필터는 상태변수와 오차 공분산 행렬의 시간전파 및 측정치 갱신을 주기적으로 수행한다. 시간전파는 시스템 행렬을 사용하여 시간에 따른 오차의 전파 특성을 반영하는 것이며, 측정치 갱신은 추정오차의 제공이 최소가 되는 칼만 이득 (Kalman Gain)을 계산하고 이를 기반으로 측정치를 융합하여 상태변수 및 오차 공분산을 계산하는 것이다. 여기서 고려해야 하는 것이 바로 오차 공분산 행렬이다. 오차 공분산은 상태변수의 추정에 대한 가관측성 (Observability)를 반영하며 추정 불가능한 상태변수의 오차 공분산은 측정치 갱신을 하더라도 작아지지 않지만 추정 가능한

상태변수는 측정치 갱신을 통해 0에 가까운 값으로 작아지며 결국 수렴하게 된다.

INS/GPS/NHC 복합항법시스템을 열차에 적용하는 경우 필터의 상태변수를 위치, 속도, 자세를 기본으로 하며 추가적으로 INS의 센서 오차를 함께 설정하도록 한다. 센서 오차의 추정 가능성은 기본 상태변수의 추정 성능에 영향을 미치게 된다. 그러나 우리가 가장 관심 있는 상태변수는 위치이다. 추정된 위치의 정확도 및 신뢰성을 바로 위치 상태변수의 오차 공분산 값을 분석함으로써 파악할 수 있다.

필터의 공분산 행렬의 대각성분은 각 상태변수의 추정오차 공분산을 의미하며 이 값의 제곱근을 통해 표준편차를 계산할 수 있다. 이 값은 1σ (68.3%)의 신뢰성을 갖는 정확도로 판단할 수 있다. 따라서 계산된 표준편차의 3배를 하게 되면 3σ (99.7%)의 신뢰성을 갖는 정확도로 해당 상태변수의 신뢰성을 판단할 수 있게 된다. 따라서 위치 상태변수에 해당하는 오차 공분산 값의 제곱근을 구해서 그 값을 센서 기반 복합항법시스템에서 제공하는 위치정보의 정확도 및 신뢰성을 판단하는 기준값으로 사용할 수 있게 된다. 또한 실시간으로 구동되는 복합항법 시스템의 출력 정보를 통한 철도 시스템 제어를 위해 이 정보를 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

3. 결론

본 논문에서는 열차용 복합항법시스템과 이 시스템의 신뢰성을 판단할 수 있는 방법을 제안하였다.

후 기

본 연구는 한국철도기술연구원 주요사업 (PK1904A1)의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] D. H. Titterton, J. L. Weston (2004) *Strapdown inertial Navigation Technology*, IEE.