

확장 강인 칼만 필터를 이용한 접근 탄도 미사일 추적 시스템 설계

Design of Incoming Ballistic Missile Tracking Systems Using Extended Robust Kalman Filter

。 이 현 석*, 나 원 상*, 진 승 회*, 윤 태 성**, 박 진 배*

* 연세대학교 전기 및 컴퓨터공학과(Tel : 82-2-361-2773; Fax : 82-2-362-4539)

** 창원대학교 전기공학과(Tel : 82-55-279-7513; Fax : 82-55-263-9956)

Abstract : The most important problem in target tracking can be said to be modeling the tracking system correctly. Although the simple linear dynamic equation for this model has used until now, the satisfactory performance could not be obtained owing to uncertainties of the real systems in the case of designing the filters based on the dynamic equations. In this paper, we propose the extended robust Kalman filter(ERKF) which can be applied to the real target tracking system with the parameter uncertainties. A nonlinear dynamic equation with parameter uncertainties is used to express the uncertain system model mathematically, and a measurement equation is represented by a nonlinear equation to show data from the radar in a Cartesian coordinate frame. To solve the robust nonlinear filtering problem, we derive the extended robust Kalman filter equation using the Krein space approach and sum quadratic constraint. We show the proposed filter has better performance than the existing extended Kalman filter(EKF) via 3-dimensional target tracking example.

Keywords : Target tracking system, Extended robust Kalman filter(ERKF), Krein space estimation, Sum quadratic constraint(SQC)

1. 서론

일반적으로 표적 추적의 주된 목적은 레이더, 소나 및 망원경 등과 같은 센서가 제공한 정보로부터 이동 표적의 위치, 속도 및 가속도를 탐지하는 것이다. 이동 표적은 함정, 비행 물체, 위성 그리고 미사일 등이 그 대상이 될 수 있다. 표적 추적 문제 중에서도 접근 탄도 미사일 추적 시스템은 자기 방어 체계(self-defense systems)에서 매우 중요한 부분을 차지한다. 만일 자기 방어 표적 추적 시스템에 많은 오차가 있다면 적으로부터 심각한 위협에 처하게 된다. 실제로 근거리 방어 무기체계(Closed In Weapon System : CIWS), 대 유도탄 방어 미사일 체계(Surface to Anti-Air Missile System: SAAM System) 그리고 무장 통제 체계(Fire Control System : FCS)와 같은 해군 자함 방어 무기 체계(Navy self defense weapon systems)에서 자함 방어 표적 추적 시스템이 이용되고 있으며, 표적의 위치 및 속도에 관한 정보를 정확히 검출하는 것은 자기 방어 시스템의 성능을 결정하는 가장 중요한 요소이다.

한편 표적 추적 문제에 있어 가장 중요한 문제 중 하나는 대상 시스템에 대한 정확한 모델링이다. 기존에는 간단한 선형 운동방정식으로 대상 시스템을 모델링하고 필터를 설계해 왔으나 실제 시스템에 포함된 여러 가지 불확실성들로 인하여 만족할 만한 성능을 얻을 수 없었다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 이러한 파라미터 불확실성이 존재하는 실제 시스템에 적용할 수 있는 확장 강인 칼만 필터(ERKF)를 제안한다. 불확실성을 포함하는 비선형 시스템 모델의 수학적 표현을 위해 최근에 많이 사용되는 SQC를 사용하였다.

불확실 선형 시스템에 대해서는 비교적 만족할 만한 성능을 가지는 강인 필터링 문제가 연구되고 있다. 이들 중 확장 강인 칼만 필터의 설계 및 그 성능에 대한 일부 결과들이 이

미 입증된 바 있다[1]- [6]. 하지만, 앞서 언급한 바와 같이 실제 표적 추적 시스템은 레이더 중심의 극좌표계로부터 측정치들을 얻게 되므로 이를 표적 운동의 표현이 용이한 직각 좌표계로 표현하면 표적 추적 시스템은 비선형 방정식으로 표현될 수 밖에 없다. 게다가 이산 시간에서 구해진 모델링 오차와 측정 잡음이 존재하는 경우에 필터 성능은 선택되어진 표적 모델 파라미터의 불확실성에 크게 의존한다고 알려져 있다[7]. 따라서 실제 표적 추적 시스템의 특성을 보다 정확하게 반영하기 위해서는 비선형 강인 필터링 기법에 대한 연구가 필수적이다. 본 논문에서는 불확실한 파라미터를 포함한 비선형 시스템에 대한 표적 추적 시스템 구현을 위해 확장 강인 칼만 필터(ERKF)를 이용한 표적 추적 시스템을 제안한다. 확장 강인 칼만 필터를 설계하기 위해 주어진 비선형 시스템을 SQC로 표현하고, SQC로부터 Krein 공간 확장 칼만 필터(EKF)와의 대응관계를 이용하여 EKF와 유사한 구조를 갖는 확장 강인 칼만 필터식을 유도할 수 있다[8].

등속운동을 하는 3차원 모델에 대해 확장 칼만 필터와 확장 강인 칼만 필터를 적용하고, 그 결과 비교를 통해 제안된 확장 강인 필터가 실제 시스템에서 기존 확장 칼만 필터보다 더욱 안정적이고 강인한 성능을 가진다는 것을 입증한다.

2. 접근 탄도 미사일 시스템

2.1. 레이더 및 RV(Reentry Vehicle)의 기하학적 해석 [9]

그림 1은 지구 타원체 상에서 레이더와 RV간의 상대 위치를 나타낸다. 그림 2에서 레이더는 고도 h_r , 기하학적 경도 μ 위치에 놓여 있다고 가정한다. 지구 중심에서 레이더 중심까지의 거리는 a , 레이더에서 RV간 거리는 R 이고 지구 중심에서 RV간 거리는 r 이다.