

기동 유무 판별 기준의 변화에 따른 기동표적의 추적 성능 비교

Comparison of Tracking Performance for a Maneuvering Target under the Variation of Maneuver Detection Thresholds

박제홍*, 이우주*, 임상석*

Je-Hong Park*, Woo-Joo Lee*, and Sang-Seok Lim*

요 약

표적 추적에서 기동은 오랫동안 다루기 어려운 문제로 여겨져 왔다. 이러한 문제를 극복하기 위해 기동을 처리하는 여러 가지 기법들이 연구, 개발되었다. 그러나 이러한 기법들의 연구에 있어 지금까지 기동 검출 기준치의 변화에 대한 필터의 성능의 편차에 대한 연구는 이루어지지 않고 있어 기동에 따른 적절한 기동 검출 기준치의 설정이 객관적인 기준없이 이루어지고 있는 것이 현실이다. 본 논문에서는 기동 표적 추적용 필터에 있어 여러 가지 기동에 대해 기동 유무 검출 기준치의 변화가 필터에 미치는 영향을 알아보고, 이를 분석함으로써 기동과 기동탐지 기준치와 상관관계를 실험적으로 규명하였다.

ABSTRACT

For a long time target maneuvers in tracking problem have been a difficult task to handle. In order to solve this problems, there have been various tracking techniques. In the development of a tracking filter for a maneuvering target, maneuver detection threshold plays a key role. However, no study of filter performance the varying maneuver detection threshold has been carried out so far. Instead, the maneuver detection have been chosen empirically. In this paper, the effect of detection threshold selection on the performance of the tracking filters was considered and the relationships between maneuvers and the detection threshold have been analyzed by simulation.

I. 서 론

표적 추적 문제는 주어지는 상황에 따라 여러 가지 문제를 포함할 수 있다[1]. 일반적으로 비행기나 미사일등의 표적들은 비선형의 운동 역학에 의하여 운동하며, 일반적인 감지 센서는 표적의 위치 정보만을 측정한다. 이 경우 표적의 운동을 선형으로 근사화한 모델을 사용하여 칼만 필터를 구성함으로써 측정오차와 표적역학의 비선형성을 해결할 수 있으

며, 직접 측정되지 않는 속도나 가속도 등의 표적 상태 변수들을 추정할 수 있다[2],[3]. 전통적으로 표적의 운동 모델은 표적이 등속도로 직선 운동한다는 가정 하에 만들어진 등속도 직선운동 모델을 사용하여 왔으며, 이 경우 표적의 위치 및 속도만을 고려하여 모델링하게 된다. 그러나 표적이 방향 전환이나 탐지 회피 등을 위하여 기동(maneuver)을 수행할 경우 가속도를 포함하는 운동을 하므로, 기존의 등속도 직선운동 모델은 상당한 오차를 유발하여 심지어는 표적을 유실하는 경우도 발생한다. 따라서 기

* 한국항공대학교 항공전자공학과(Department of Avionics, Hankuk Aviation University)

· 논문번호 : 2002-11-07

· 접수일자 : 2002년 11월 14일

동을 수반하는 표적의 추적을 위한 새로운 표적 추적 기법이 요구된다[4].

이러한 문제점을 해결하기 위해 그 동안 많은 부분의 기술적 연구와 개발이 진행되어져 왔고, 많은 성능의 향상을 이루어 내었다. 그러나 기동하는 표적의 추적을 위해 기동의 검출을 이용하는 필터들은 기동의 검출 성능이 필터의 성능에 많은 영향을 미쳐 왔다. 또 이러한 여러 가지의 표적 추적 필터의 공통적인 문제점은 필터가 최적의 성능을 내기 위해서는 기동의 크기와 형태에 따라 기동의 유무를 판별하는 기준치가 달라져야 하며, 이 기준치에 대하여 필터의 성능이 많은 변화를 가지지만, 이 값을 규정지를 객관적 기준은 없다는 것이다.

본 논문에서는 앞에서 언급한 기동의 형태 변화에 따른 기동 유무를 판별하는 기준치의 객관적 설정에 대한 해결방안을 도출하기 위하여, 각각의 기동 표적에 따른 입력추정필터(IEF), 가변차원필터(VDF) 그리고 회전가속도추정기필터(TAEF) 알고리즘을 비교 분석하였다. 또 기동 유무 판별의 기준 값 변화에 따른 대표적 기동 표적용 추적 필터의 크기와 형태에 따른 최적의 기준 값을 도표화하여 제시하였다.

II. 기동 검출을 이용하는 표적 추적용 필터

2-1 입력 추정 필터

입력 추정 기법은 추적 필터의 인노베이션의 가중자승치를 이용한 검정을 통하여 표적의 기동을 검출하고, 최소 자승 추정의 기법을 이용하여 표적의 기동 입력을 추정하여 추적 필터의 상태 변수를 갱신하는 기법이다[5]. 추적 필터의 상태 변수의 갱신은 기동 입력의 추정치를 이용하여 상태 변수를 수정하고, 추정 오차의 공분산을 적절하게 증가시키는 단계를 포함하게 된다.

2-2 가변 차원 필터

가변차원필터의 기법에서는 무기동 모형을 사용한 추적 필터의 추정 오차의 감쇄 기억 평균(fading

memory average)을 이용하여 표적의 기동을 검출하고, 기동의 검출시 가속도를 표적 추적 시스템의 상태 변수에 추가하여 기동 모형으로 전환한다[7]. 기동모형으로 전환 후 어떤 다른 결정에 의해 등속 모델로 전환되기 전까지는 등가속도 모델로 수행된다. 즉, 표적의 추적을 위해 등속도 모델과 등가속도 모델을 교대로 사용한다.

2-3 회전 가속도 추정기 필터

회전 가속도를 이용한 필터는 기본적인 기동의 검출이나 보상은 입력추정기법과 같으나, 기동을 검출하는 데 있어 이전의 상태 변수치가 아닌 회전하는 궤적의 모양을 기준으로 곡률로 순간 각속도를 검출, 이를 이용해 가속도 입력 성분을 추정해 낸다. 이로 인해 입력 추정 기법 이상의 성능을 나타내면서도 실질 계산 속도도 매우 빠른 장점을 지니지만, 모양의 추정상 회전하는 궤적을 기준으로 원 궤적을 가정하므로 궤적의 모양이 원에 가깝지 않을수록 성능의 저하가 일어나는 문제가 발생한다[8].

III. 기동 유무 판별 기준의 변화에 따른 비교 연구를 위한 각 필터의 기동 검출 방법의 변형

본 연구에서 비교에 사용될 필터들은 기동의 유무를 판별함에 있어서 일정한 기준치를 가지고 기동의 유무를 판별하게 된다. 그러나 이 기준치는 어떠한 객관적 근거가 미약하게 사용되는 것이 일반적이며, 필터의 성능을 최적화해 주는 값을 가능한 기동의 범위 내에서 임의로 선택하는 것이 일반적이어서 필터에 따른 최적의 절대적 기준치를 비교하는 것에는 문제가 있다 할 수 있다.

또 기동의 판별식도 각각의 필터에서 기준치를 판별하는 식들이 모두 나름대로의 정규화 과정을 거치고 있고, 이러한 정규화의 과정이 보통 측정방정식에 의존되고 있기 때문에, 이러한 정규화 된 값으로 절대적 기준치의 변화에 따른 필터의 영향을 분석하는 것은 아무런 의미를 둘 수 없다고 할 수 있다.

마지막으로 기동의 유무를 판별하는 기준치가 기

동 중 가속도의 성분을 직접적으로 나타내고 있기 때문에 필터 판별식의 정규화 부분을 필터에 손상을 주지 않는 범위에서 비 정규화 시켜야 하는 것은 당연하다 할 수 있다.

따라서 각 필터의 판별식을 필터에 손상을 주지 않는 범위에서 비 정규화 시키는 것이 중요한 요소가 되는데, 본 연구에서는 다음과 같이 필터를 비 정규화 시켜 각 필터의 비교 연구를 수행하였다.

3-1 입력 추정 필터의 비 정규화

입력 추정 필터의 기동 검출 부분은 아래의 식과 같다.

$$d(\hat{u}) = \hat{u}^T L^{-1} \hat{u} \quad (1)$$

$$\hat{u} = (\Psi^T S^{-1} \Psi)^{-1} \Psi^T S^{-1} y \quad (2)$$

$$L = (\Psi^T S^{-1} \Psi)^{-1} \quad (3)$$

그러나 $d(\hat{u}) = \hat{u}^T L^{-1} \hat{u}$ 부분의 정규화 요소 $L^{-1} = (\Psi^T S^{-1} \Psi)$ 부분은 기동의 판별 값의 평균을 1로 만들기 때문에 제거된 후에 비교되어야 한다. 따라서 정규화 된 기동 검출 부분의 식을 아래의 식 (4)와 같이 비 정규화 시켰으며, 이에 따른 필터의 갱신 부분도 역시 비 정규화 부분에 영향을 받지 않고 필터가 제대로 갱신될 수 있도록 갱신된 상태 변수의 공분산이 식 (5)와 같이 변경되었다.

$$d(\hat{u}) = \hat{u}^T \hat{u} \quad (4)$$

$$P^U(k+1 | k) = P(k+1 | k) + MM^T \quad (5)$$

3-2 가변 차원 필터의 비 정규화

가변 차원 필터의 기동 검출 과정은 인노베이션의 감쇄 기억의 평균치를 이용하기 때문에 비 정규화 부분이 필요하지 않으며 따라서 위에서 언급된 필터 그대로의 모습으로 사용되어져도 무관하다 할 수 있다.

3-3 회전 가속도 추정기를 이용한 필터의 비 정규화

회전 가속도 추정기를 이용한 필터는 기본적으로 기동의 검출과 필터의 갱신이 입력 추정 기법과 동일하게 진행되어진다. 따라서 표적의 기동의 검출은 고정된 기준값과 정규화된 회전가속도 χ^2 를 비교하여 결정되며 그 식은 다음과 같다.

$$\chi^2 = \overline{U}^T(k) L^{-1}(k) \overline{U}(k) \quad (6)$$

$$M = HB \quad (7)$$

$$S(k) = H \hat{P}(k|k) H^T + R \quad (8)$$

따라서 정규화된 회전 가속도 χ^2 를 식 (9)와 같이 비 정규화 시키고, 이에 따른 필터의 갱신 부분도 역시 비-정규화 부분에 영향을 받지 않고 필터가 제대로 갱신될 수 있도록 갱신된 상태 변수의 공분산이 식 (10)과 같이 변경되었다.

$$\chi^2 = \overline{U}^T(k) \overline{U}(k) \quad (9)$$

$$\hat{P}^U(k|k) = MM^T + \hat{P}(k|k) \quad (10)$$

3-4 비교 연구 방법

본 연구에서는 3-2절에서와 같이 필터에 손상을 주지 않는 범위에서 각각의 필터를 비 정규화 시키고, 이를 동일한 형태의 기동으로 크기만 달리한 세 개의 비행 궤적에 기동 판별의 기준 값을 변화시키며 필터를 구동하는 방법으로, 기동 판별의 기준 값이 필터의 성능에 어떠한 영향을 미치는지를 분석한다. 이를 위하여 동일한 원형의 기동 형태를 지니면서 속도만을 증가시켜 원운동시 실질적 기동이 각각 1G, 3G, 6G가 나타나는 비행궤적을 가정하여 시뮬레이션을 실행하였고, 이와 비행 궤적의 차이에 따른 변화를 분석하기 위하여, 등속도로 반경이 다른 원형의 기동을 하는 비행궤적에 기동 판별의 기준 값을 변화시키며 필터를 구동하는 방법으로 각각의 필터가 받는 영향을 위의 실험과 연계하여 분석하였다.

IV. Monte Carlo 시뮬레이션

4-1 기동을 위한 표적의 궤적

앞에서 기술한 입력 추정 필터(IEF), 가변 차원 필터(VDF), 그리고 가속도 추정기를 이용한 필터(TAEF)가 갖는 기동 검출의 기준 값 변화에 따른 특성을 비교 평가하기 위해 시뮬레이션에 사용될 기동표적의 운동경로는 다음과 같은 특성을 지녀야 한다.

1. 기동의 형태는 일정하고, 기동의 크기만이 실제 기동이 가능한 범위에서 변화하는 특성
2. 기동의 크기는 일정하고, 형태만이 변화하는 특성
3. 기동의 형태와 크기는 일정하지만, 방향성만이 변화하는 특성

따라서 본 논문에서는 기동 판별의 기준 값이 필터의 성능에 어떠한 영향을 미치는지를 외부의 영향이 없는 상태에서 분석하기 위하여 특성 1에 기술된 동일한 기동 형태를 가지면서, 기동의 크기만 달리 한 세 개의 비행궤적을 그림 4-1에 기술한 것과 같이 사용하였고, 특성 2와 특성 3을 만족시키는 기동을 그림 4-2에 기술한 것과 같이 사용하여 특성 1을 나타내는 궤적과 상호 비교하였다. 또 그림에서 나타내는 화살표는 표적의 이동방향을 나타낸다.

표적 #1은 얼마동안 직선운동을 하던 표적이 약 100~180 스캔(scan) 사이에 153 m/s의 등속도로 반경 2.4 km의 원모양의 기동(maneuver)을 하다가 다시 직선 상승 운동을 하는 형태이다.

표적 #2는 그림 4-1과 마찬가지로 얼마동안 직선운동을 하던 표적이 약 100~180 스캔(scan) 사이에 264 m/s의 등속도로 반경 2.4 km의 원모양의 기동(maneuver)을 하다가 다시 직선 상승 운동을 하는 형태이다.

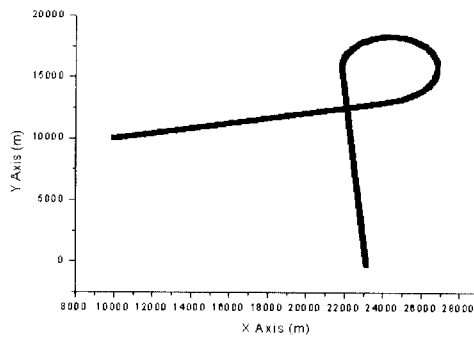
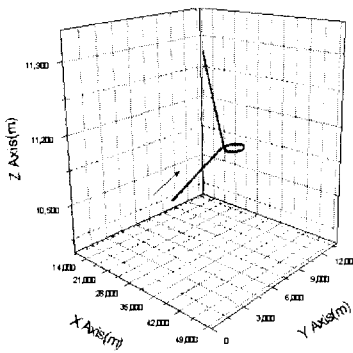


그림 4-1. 표적 궤적 #1~#3의 형태

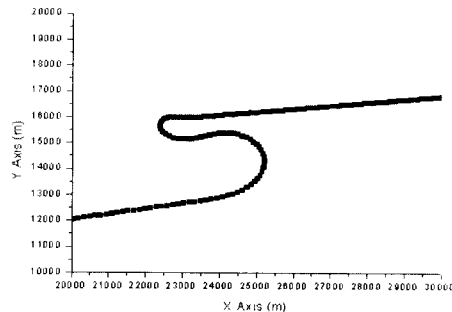
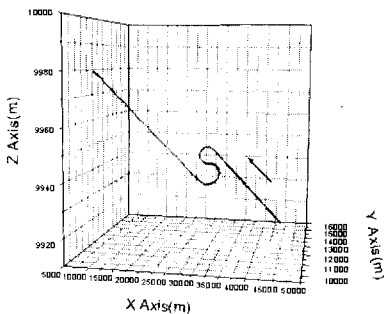


그림 4-2. 표적 궤적 #4의 형태

표적 #3는 그림 4-1과 마찬가지로 얼마동안 직선운동을 하던 표적이 약 100~180 스캔(scan) 사이에 속도만 증가하여 374 m/s의 등속도로 반경 2.4 km의 원모양의 기동(maneuver)을 하다가 다시 직선 상승 운동을 하는 형태이다.

표적 #4는 153 m/s의 속도로 직선운동을 하던 표적이 약 100~127 스캔(scan)사이에서 반경 800 m의 원모양의 빠른 기동을 하다가, 127~175 스캔(scan) 사이에 다시 반대 방향 반경 500 m의 좁은 원형의 운동을 하다가 다시 직선운동을 하는 궤적을 나타낸다.

그림 4-1과 그림 4-2에서의 모든 표적에 대해 속도는 각각의 진행방향에 대한 속도를 나타낸 것이고, 감지 센서의 스캔(scan)간격인 샘플시간(T)은 1 초로 가정하였다. 측정잡음의 표준편차는 거리의 경우 75m, 방위각과 고도각은 0.005 rad으로 가정하였다.

그림 4-1과 그림 4-2에서 나타낸 비행 궤적에 따른 진행 방향 가속도 그래프는 그림 4-3에 기술되어져 있다.

추적필터의 성능은 추정치와 실제값과의 차의 RMS(Root Mean Square)값으로 평가하였다. 변수 ϕ 의 RMS 오차는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\phi_{RMS}(k) = \sqrt{\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k [\phi(i) - \hat{\phi}(i)]^2} \quad (11)$$

본 시뮬레이션에서는 제안된 필터의 성능을 증명하기 위해서 각각의 필터에 대해서 500회의 Monte-

Carlo 시뮬레이션을 수행하였다.

4-2 시뮬레이션 결과

4-2-1 입력 추정 필터의 성능 비교

그림 4-4와 4-5는 입력 추정 필터의 기동 검출 기준치 변화에 따른 위치 오차의 변화를 보여준다.

그림 4-4는 1 g, 3 g, 6 g의 원형 기동을 하는 표적(그림 4-1)에 대해, 기동 검출의 기준 값을 변화시킬 때의 위치 RMS오차를 나타내고 있다. X축은 기동 검출의 기준 값을 나타내며, 이는 회전 가속도에 비례하기 때문에 각각 1 g, 3 g, 6 g에 해당하는 THRESHOLD 값인 100, 900, 3600 정도에서 필터가 최상의 성능을 나타내는 것을 볼 수 있다. 또 그림 4-5는 3 G로 원형 기동을 하다가 반대방향 5 G의 기동을 행하는 표적(그림 4-2)에 대해, 기동 검출의 기준 값을 변화시킬 때의 위치 RMS 오차를 나타내고 있으며, 그림 4-4와 마찬가지로 X축은 기동 검출의 기준 값을 나타낸다. 여기서 이 기동 검출 기준 값은 회전 가속도에 비례하기 때문에 3 G와 5 G에 해당하는 THRESHOLD 값인 900부근과 3000 부근에서 필터가 성능의 변화가 나타나는 것을 볼 수 있다.

4-2-2 가변 차원 필터의 성능 비교

그림 4-6과 4-7은 가변 차원 필터의 기동 검출 기준치 변화에 따른 위치 오차의 변화를 보여준다.

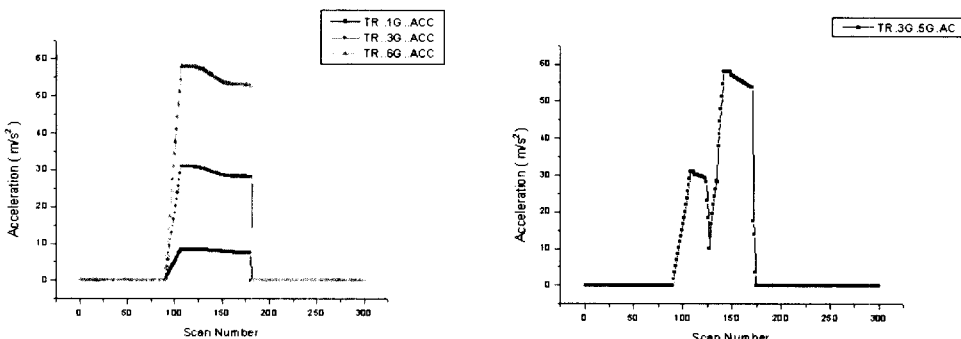


그림 4-3. 표적의 궤적에 따른 가속도

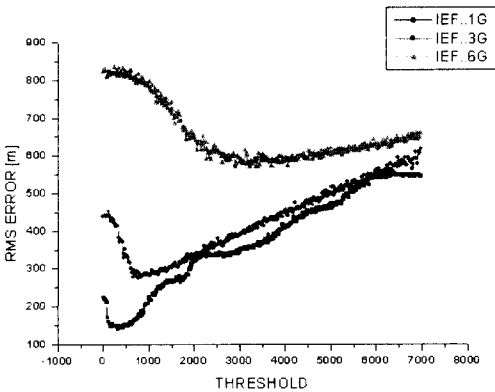


그림 4-4. 표적궤적 1~3에 대한 IEF의 위치 RMS 오차 비교

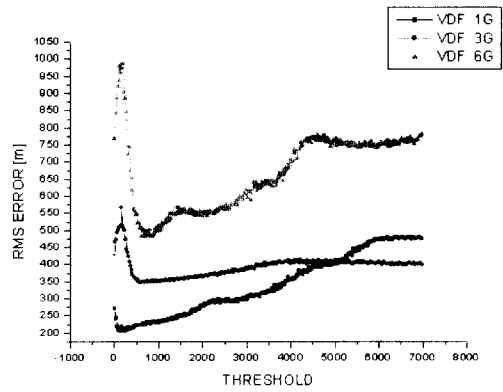


그림 4-6. 표적궤적 1~3에 대한 VDF의 위치 RMS 오차 비교

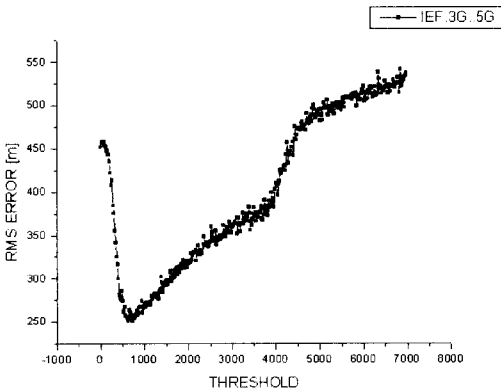


그림 4-5. 표적궤적 4에 대한 IEF의 위치 RMS 오차 비교

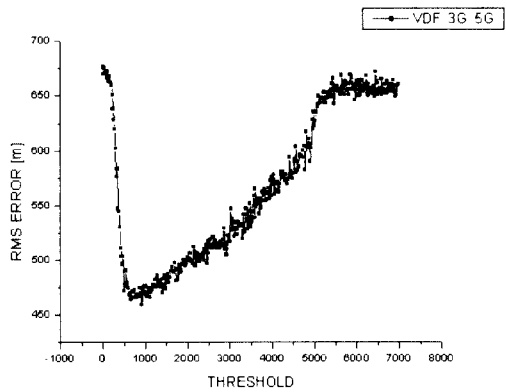


그림 4-7. 표적궤적 4에 대한 VDF의 위치 RMS 오차 비교

그림 4-6은 1g, 3g, 6g의 원형 기동을 하는 표적(그림 4-1)에 대해, 기동 검출의 기준 값을 변화시킬 때의 위치 RMS오차를 나타내고 있다. X축은 기동 검출의 기준 값을 나타내며, 이는 회전 가속도에 비례하기 때문에 각각 1g, 3g, 6g에 해당하는 THRESHOLD 값인 100, 900, 3600 정도에서 필터가 최상의 성능을 나타내는 것을 볼 수 있다. 또 그림 4-7은 3g로 원형 기동을 하다가 반대방향 5g의 기동을 행하는 표적(그림 4-2)에 대해, 기동 검출의 기준 값을 변화시킬 때의 위치 RMS 오차를 나타내고 있으며, 3G와 5G에 해당하는 THRESHOLD 값인 900 부근과 3000 부근에서 필터가 성능의 변화 폭인 기울기가 크게 증가하는 것을 볼 수 있다. 그러나 가변 차원 필터의 특성상 기동이 감지되어 필터의 모델이 전환될 때, 필터의 오차가 크게 증가하고, 기동

이 큰 부분에서 불안정한 필터의 모습을 보여주는 가변 차원 필터의 특징을 볼 수 있으며 기동 검출 기준 값에 따라 1G와 3G 기동에서 오차가 역전되는 현상도 보여지는 것을 볼 수 있다.

4-2-3 회전 가속도 추정기 필터의 성능 비교

그림 4-8과 4-9는 가변 차원 필터의 기동 검출 기준치 변화에 따른 위치 오차의 변화를 보여준다.

그림 4-8은 1g, 3g, 6g의 원형 기동을 하는 표적(그림 4-1)에 대해, 기동 검출의 기준 값을 변화시킬 때의 위치 RMS오차를 나타내고 있다. X축은 기동 검출의 기준 값을 나타내며, 이는 회전 가속도에 비례하기 때문에 각각 1g, 3g, 6g에 해당하는 THR-

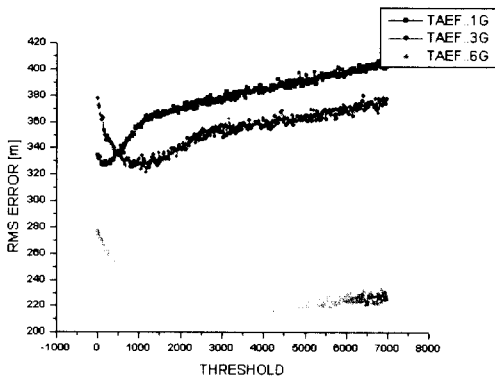


그림 4-8. 표적궤적 1~3에 대한 TAEF의 위치 RMS 오차 비교

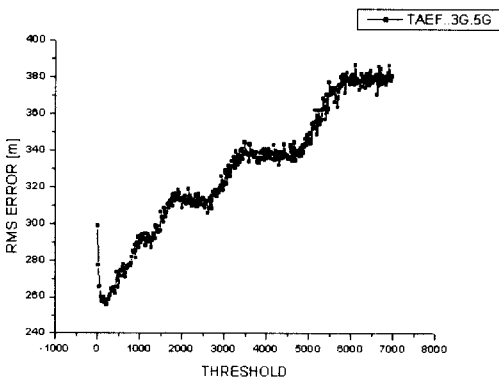


그림 4-9. 표적궤적 4에 대한 TAEF의 위치 RMS 오차 비교

ESHOLD 값인 100, 900, 3600 정도에서 필터가 최상의 성능을 나타내는 것을 볼 수 있다. 여기서 특이할 만한 사항은 이 필터가 가변 차원 필터나 입력 추정 필터에서 보여지는 것과는 다르게 기동의 크기가 증가할수록 오차가 줄어드는 현상을 보여준다는 것이다. 이것은 회전 가속도 추정기를 이용한 필터의 회전 가속도 추정 원리가 곡률을 이용하여 그 중심의 위치를 실시간으로 보정해 주기 때문에 기동의 크기나 속도의 증가할수록 한 스캔당 기동의 폭이 좁아져 기동의 형태가 그 구간에서 원형에 더욱 가까워지므로 기동의 증가에 비례하는 성능을 보여준다고 분석할 수 있다.

또 그림 4-9는 3g로 원형 기동을 하다가 반대방향 5g의 기동을 행하는 표적(그림 4-2)에 대해, 기동 검출의 기준 값을 변화시킬 때의 위치 RMS 오

차를 나타내고 있으며, 3G와 5G에 해당하는 THRESHOLD 값인 900 부근과 4000 부근에서 필터가 성능의 변화 폭인 기울기가 크게 증가하는 것을 볼 수 있다.

4-2-4 각 필터간 기동 검출 기준치 변화에 따른 성능 비교

그림 4-10은 기동 검출 기준치 변화에 따른 각 필터의 위치 RMS 오차를 비교함으로써 동일한 기동을 하는 표적의 추적에 대한 IEF, VDF, TAEF의 성능의 편차를 보여준다.

그림 4-10의 결과에서 입력 추정 필터는 기동의 크기에는 민감하지 않으나, 기동 감지 기준 값의 변화에는 민감한 반응을 보이며, 가변 차원 필터는 기동의 크기와 기준 값의 변화에 모두 민감하며, 회전 가속도 추정기를 이용한 필터가 기동의 변화에 큰 영향을 받지 않고, 기동 감지 기준 값의 변화에 민감하지 않다는 것을 확인할 수 있다. 또 이를 통하여 IEF의 경우 필터의 과보상이 필터 성능 저하의 결정적 원인임을, VDF의 경우 기동 방향의 변화가 치명적인 오차 증가의 원인임을 실험적으로 검증할 수 있었다.

4-3 요약

이상의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 입력 추정 필터는 기동 크기의 증가에 따라 오차의 변화가 민감하지는 않으나 기동 감지 기준 값의 변화에 따라 오차가 급격히 증가하는 민감한 반응을 보인다. 이는 기동 검출 기준 값이 변화함에 따라 실제의 궤적의 기동을 기동으로 판별하지 않아 보상이 이루어지지 않거나, 실제의 무기동을 기동으로 오인하여 필터가 과도한 보상을 해 주기 때문에 기동과 기준 값이 일치하지 않은 경우 오차가 크게 증가하는 현상을 보여주는 것이라 할 수 있다. 따라서 입력 추정 필터를 응용한 필터의 설계에 있어 기동 검출 기준 값의 설정이 정확하게 이루어져야 한다. 또

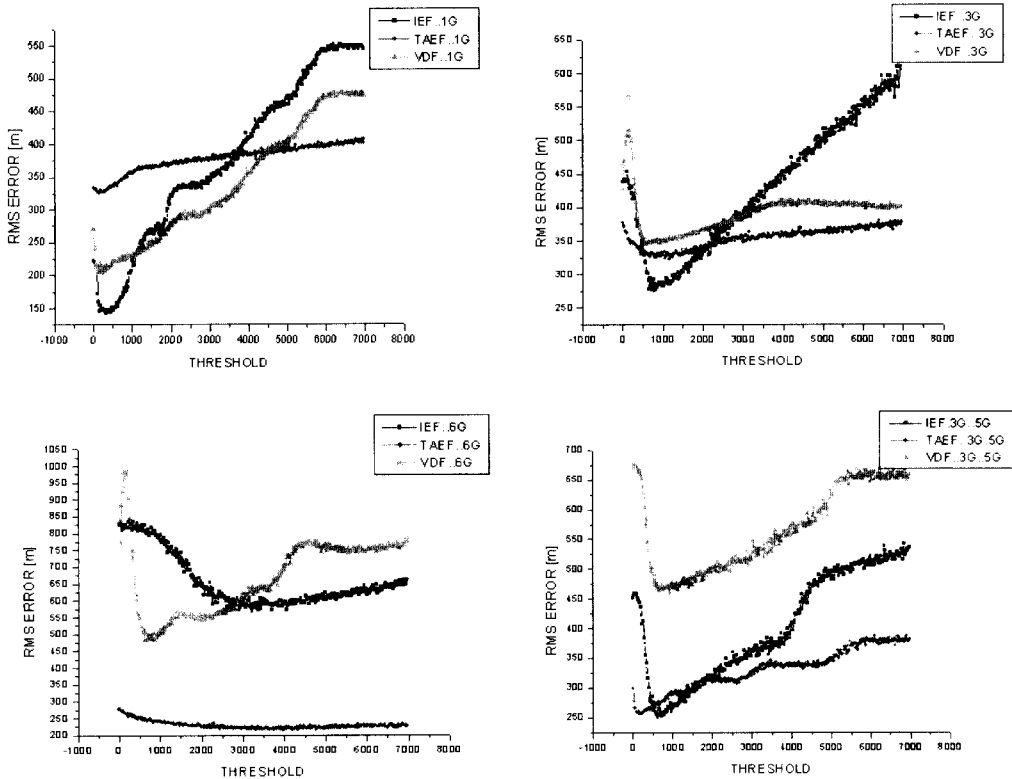


그림 4-10. 표적 궤적 #1~#4에 대한 IEF, VDF, TAEF의 위치 RMS 오차 비교

본 논문에서의 3g의 기동과 같은 적절한 정도의 기동에서는 궤적 모양의 변화에 관계없는 적절한 성능을 보이므로 일정 크기의 기동만을 보이는 수송기나 민간 항공기의 표적 추적에 유용하게 이용될 수 있을 것이다.

- 가변 차원 필터는 기동 크기의 증가와 기동 감지 기준 값의 변화에 모두 민감한 결과를 보여주었다. 이것은 기동의 형태나 크기의 변화가 있는 경우 변화된 모델을 초기화하는 과정에서 이전의 상태 추산치가 초기화에 사용되기 때문에 전체 오차의 증가가 나타나는 것으로 볼 수 있다. 기동 검출 기준 값의 변화에 따라 오차가 증가하는 현상도 역시 실제 기동을 기동으로 검출하지 않거나 실제의 무기동상태를 기동으로 판단할 때의 모델링 오차 때문에 일어나는 오차 증가의 현상이라 할 수 있다. 따라서 가변차원 필터를 응용한 필터는 일정한 기동 형태를 유지하는 화주로 선회비행 또는 착륙시에 이용되어

질 수 있을 것이다.

- 회전 가속도 추정기를 이용한 필터는 본 연구에서 시행한 궤적에 대해서는 기동크기의 증가에 큰 영향을 받지 않고, 기동 감지 기준 값의 변화에 민감하지 않은 뛰어난 성능을 보여주었다. 이것은 이 필터가 기동의 궤적에서 순간 각속도를 이용해 가속도 입력 성능을 추정하여 기동을 검출하기 때문이라 할 수 있다. 또 궤적의 속도가 빠를수록 순간 각속도를 이용하는 부분의 궤적이 더욱 원형에 가까워져 회전가속도를 추정해 낼 때 오차가 줄어들어 기동이 증가함에 따라 오차가 줄어드는 것을 볼 수 있다. 그러나 본 논문에서 사용된 궤적이 모두 원에 가까운 회전을 하고 있기 때문에 이러한 우수성이 모든 종류의 표적 기동에 일치한다고 보기는 어렵다. 회전 가속도 추정기를 이용한 필터는 고기동의 원형회전을 주로 행하는 고속의 전투기 추적에 유용하게 이용되어질 수 있을 것이다.

V. 결 론

본 논문에서는 기동 검출의 기준 값 변화에 따른 기동 표적 추적 필터의 성능의 변화를 관찰하고 이에 따라 성능을 분석하였다. 입력추정필터, 가변차원필터, 회전가속도추정기필터에 대하여 기동 감지 기준 값 변화와 기동의 크기 변화에 따른 보다 정확한 추적 성능의 비교를 위해 각 제적에 대해 500회의 Monte-Carlo 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 결과를 보면 입력 추정 필터는 기동 크기의 증가에 따라 오차의 변화가 민감하지는 않으나 기동 감지 기준 값의 변화에 따라 오차가 급격히 증가하는 민감한 반응을 나타냈다. 가변 차원 필터는 기동 크기의 증가와 기동 감지 기준 값의 변화에 모두 민감한 결과를 보여 주었다. 이것은 기동의 형태나 크기의 변화가 있는 경우 변화된 모델을 초기화하는 과정에서 이전의 상태 추산치가 초기화에 사용되기 때문에 전체 오차의 증가가 나타나는 것으로 볼 수 있다. 반면에 회전 가속도 추정기를 이용한 필터의 경우에는 위의 시험에 사용된 제적에 대해서는 기동 크기의 증가에 큰 영향을 받지 않고, 기동 감지 기준 값의 변화에 민감하지 않은 뛰어난 성능을 관찰할 수 있었다. 이것은 이 필터가 기동의 제적에서 순간 각속도를 이용해 가속도 입력 성분을 추정하여 기동을 검출하기 때문이라고 볼 수 있다. 그러나 회전 가속도 추정기의 특성은 원형에 가까운 기동에 대하여 양호한 성능을 나타내기 때문에 원형 이외의 급격한 기동에 대한 성능 평가는 더 연구해야할 부분이다.

참 고 문 헌

- [1] Y. Bar-Shalom and T. Fortmann, *Tracking and Data Association*, Academic Press, New York, 1988.
- [2] A. V. Skorohod, *Studies in the Theory of Random Processes*, Addison-Wesley, New York, 1965.
- [3] A. H. Jazwinski, *Stochastic Processes and Filtering Theory*, Academic Press, New York, 1974.
- [4] A. Gelb, *Applied Optimal Estimation*, MIT Press, Cambridge, Mass., 1974.
- [5] Y. T. Chan, A. G. C. Hu, and J. B. Plant, "A Kalman Filter Based Scheme with Input Estimation", *IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems*, AES-15, Mar. 1979, pp. 237-244.
- [6] R. J. McAulay and E. J. Denlinger, "A Decision-Directed Adaptive Tracker", *IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems*, AES-9, Mar. 1973, pp. 229-236.
- [7] Y. Barshalom and K. Birmiwal, "Variable Dimension Filter for Maneuvering Target tracking", *IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems*, AES-18, Sept. 1982, pp. 621-629.
- [8] 주재석, 박재홍, 임상석, "곡률을 이용한 기동 표적 추적용 회전가속도 추정기 설계", 한국항공학회 논문지 제4권 제2호, 2000년 12월, pp. 162-170.
- [9] J. S. Thorp, "Optimal Tracking of Maneuvering Targets", *IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems*, AES-9, July 1973, pp. 512-519.
- [10] P. L. Bogler, "Tracking a Maneuvering Target using input Estimation", *IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems*, AES-23, May. 1987, pp. 298-310.

박 제 홍 (朴濟鴻)



2000년 2월 : 한국항공대학교 항공 전자공학과 (공학사)

2002년 6월 : 한국항공대학교 항공 전자공학과 대학원 (공학석사)

2002년 6월~현재 : 한국항공대학교 항공우주공학과 대학원 박사 과정 재학중

관심분야 : Target Tracking, GPS, CNS/ATM, GPS/INS Integration

이 우 주 (李宇周)



2001년 2월 : 한국항공대학교 항공 전자공학과 (공학사)

2001년 3월~현재 : 한국항공대학교 항공전자공학과 대학원 석사 과정 재학중

관심분야 : Target Tracking, GPS, CNS/ATM, Micro processor

임 상 석 (林尙石)



1976년 2월 : 한국항공대학교 항공 전자공학과 (공학사)

1984년 10월 : Ottawa대학교 대학원 (공학석사)

1990년 5월 : Ottawa 대학교 대학원 (공학박사)

1976년 3월~1982년 7월 : 국방과학연구소 연구원

1984년 11월~1987년 8월 : 캐나다 DREO

1990년 6월~1992년 5월 : Royal Military College, Kingston, Canada

1992년 6월~1995년 2월 : 캐나다 DREO

1995년 3월~현재 : 한국항공대학교 항공전자공학과 부교수

관심분야 : 항공전자, CNS/ATM, GPS응용, 레이더, filter 설계, Target Tracking.