

FCM 클러스터링 기반 비선형 기동표적의 외란분석 알고리즘

논 문
60-12-27

External Noise Analysis Algorithm based on FCM Clustering for Nonlinear Maneuvering Target

손 현 승* · 박 진 배[†] · 주 영 훈**
(Hyun-Seung Son · Jin-Bae Park · Young-Hoon Joo)

Abstract - This paper presents the intelligent external noise analysis method for nonlinear maneuvering target. After recognizing maneuvering pattern of the target by the proposed method, we track the state of the target. The external noise can be divided into mere noise and acceleration using only the measurement. divided noise passes through the filtering step and acceleration is punched into dynamic model to compensate expected states. The acceleration is the most deterministic factor to the maneuvering. By dividing, approximating, and compensating the acceleration, we can reduce the tracking error effectively. We use the fuzzy c-means (FCM) clustering as the method to divide external noise. FCM can separate the acceleration from the noise without criteria. It makes the criteria with the data made by measurement at every sampling time. So it can show the adaptive tracking result. The proposed method proceeds the tracking target simultaneously with the learning process. Thus it can apply to the online system. The proposed method shows the remarkable tracking result on the linear and nonlinear maneuvering. Finally, some examples are provided to show the feasibility of the proposed algorithm.

Key Words : Fuzzy c-means (FCM) clustering, Acceleration, noise, Maneuvering target tracking.

1. 서 론

기계적인 기법에 의존하던 과거의 장비는 수학과 전기공학의 발전에 따라 전기적인 부품의 구성을 증가시켰다. 이는 수학적 모델링을 동반하는 인공지능 부품을 장착하여 보다 더 정밀해지고, 높은 사양을 갖추었기 때문이다. 특히 움직임에 대해 오차를 줄이기 위한 노력은 작은 생활용품 부터 복잡한 산업장비 및 군사시스템까지 그 영역을 확대해 갔다. 주변 사람으로부터 귀를 통해 얻어지는 정보나 종이 지도에 의한 위치 정보를 기억력을 통해 길을 찾던 과거의 방법에 비해, 현재 위성위치확인시스템 (Global Positioning System (GPS)), 텔레매틱스 (Telematics) 등을 이용하여 쉽고 빠르게 위치를 찾을 수 있게 되었다. 해상에서는 천문항해에 의존하던 항해기법도 위성위치확인시스템, 무선탐지와 거리측정에 기반한 레이더 (Radio Detecting And Ranging (radar)), 선박자동화 (Automatic ship operation) 등을 이용해 쉽고 안전한 항해가 가능하게 되었다.

위치정보를 획득시 정확한 사전정보를 통해 관측치와 예상 경로 등을 할 수 있다면, 매우 정확한 정보를 얻을 수 있다. 하지만, 군사분야의 적을 탐지하듯 서로 회피하려는

표적을 탐지하고 분석하는 과정은 매우 제한적인 조건을 가지게 된다. 표적의 추적시 알 수 있는 것은 탐지센서에 의해 얻어지는 방위와 거리 정보이다. 위치정보만을 통해 표적을 추적하는 기법은 잡음을 대상으로 하는 필터링 (filtering), 평활화(smoothing), 추정(estimation)과 같은 연구 분야를 구성하였다.

이러한 연구분야는 1960년대 칼만(Kalman)과 싱어(R. A. Singer)에 의해 발전하였다 [1]-[3]. 이러한 연구의 노력은 입력추정(input estimation) [4]-[6], 가변차수 기법 [7], 여러 개의 모델을 하부모델로 두고 가중합에 의해 결합되는 다중 모델 기법 [8]-[14] 등으로 나뉘어 연구가 활발히 발전 되었다. 또한 퍼지모델, 신경회로망과 같은 다양한 인공지능 기법들이 결합되어 정밀추적을 가능하게 하였다. 그 예로 소속함수의 결합정도에 따라 추정값을 근사화하는 퍼지룰 기반 상호다중모델이 연구 및 개발되었다 [15]-[17].

다양한 연구가 진행되었지만, 기존의 연구들은 다음과 같은 단점을 지니고 있다. 첫째, 기존의 잡음을 분리하지 않고, 그대로 필터링 및 추정하기 때문에 기동에 직접적인 영향을 주는 요소를 분류할 수 없었다. 둘째, 다중모델 기법은 하부 모델의 수를 증가시키는 것은 내부적인 계산량 부담을 가져왔다. 셋째, 일반적인 퍼지모델 사용시 동정을 위한 수단으로 유전알고리즘을 사용한다. 이것은 추적의 정확성과 전역 최적해 수렴이라는 장점이 있지만, 온라인 기동이 불가능하다는 제한점을 지니고 있다. 유전 알고리즘은 이러한 시대적 요구사항에 부합하지 못하는 단점을 지니고 있다. 특히, 기동의 패턴이 바뀌는 순간적인 가속도 입력에 대해서는

* 준 회원 : 연세대학교 전기전자공학과 박사과정

** 시니어회원 : 국립 군산대학교 제어로봇 공학과 정교수

† 교신저자, 시니어회원 : 연세대학교 전기전자공학과 정교수

E-mail : jbpark@yonsei.ac.kr

접수일자 : 2011년 9월 23일

최종완료 : 2011년 11월 16일

그 성능이 현저히 떨어지는 결정적 단점이 추가된다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 Fuzzy c-means (FCM) clustering 기법 [18]과 칼만필터를 이용하여 두 번째 방법을 통한 기동표적의 기동패턴 분석 추적 알고리즘을 제안하고자 한다. 제안된 기법은 매 순간 입력되는 관측값만을 가지고 잡음을 순수잡음과 가속도로 분리하는 장점을 가지고 있다. 분리된 잡음은 필터링 과정을 통해 표적의 상태값을 추정하고, 가속도는 이 상태값을 보상하여 보다 더 정확한 상태 추정을 가능하게 한다. 유전 알고리즘과 같은 별도의 동정기법을 사용하지 않기 때문에 온라인 기동에 가능하다. 학습화와 표적추적을 동시에 실시하는 적응형 추적기법이다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서는 관련된 이론적 배경과 본 논문의 적용방식을 간단히 알아보고, 3장에서는 제안된 추적 기법을 통해 기동표적 추적의 정확성과 현실성을 언급한다. 4장에서는 간단한 예를 통해 그 수행 가능성을 보여준다. 마지막으로 5장에서는 본 논문에서 제안한 모델에 대한 결론을 서술한다.

2. 이론적 배경

2.1 기동표적 모델

기동표적을 묘사하기 위한 선형 이산시간 모델(linear discrete-time model)은 다음과 같다.

$$x(k+1) = Fx(k) + G[u(k) + \omega(k)] \quad (1)$$

$$F = \begin{bmatrix} 1 & t & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & t \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad G = \begin{bmatrix} t^2/2 & 0 \\ t & 0 \\ 0 & t^2/2 \\ 0 & t \end{bmatrix} \quad (2)$$

여기서, $x(k)$ 는 각 축에 대한 위치와 속도 성분을 지니는 상태벡터로 다음과 같이 표현된다.

$$x(k) = [x_x \quad \dot{x}_x \quad x_y \quad \dot{x}_y] \quad (3)$$

F와 G는 각각 시스템 행렬과 이득 행렬이고, $\omega(k)$ 는 프로세스 잡음, $u(k)$ 는 실제 알지 못하는 가속도 입력이다. 관측 방정식 $z(k)$ 는 다음과 같다.

$$z(k) = Hx(k) + v(k) \quad (4)$$

$$H = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (5)$$

여기서, $v(k)$ 는 각 축에 관측잡음을 의미하고 H는 관측행렬이다.

2.2 Fuzzy c-means (FCM) 클러스터링

Bezdek에 의해 제안된 FCM은 하나의 클러스터에 속해져 있는 각각의 데이터 점을 구성하고자 하는 클러스터에 대한 데이터의 소속 정도를 일일이 열거한 데이터 분류 알고리즘

이다. 본 논문에서는 예상위치 오차를 가속도와 순수 잡음으로 구분하는 기법으로 사용된다. 그 진행과정은 다음의 4단계와 같다.

1단계 : 소속함수의 초기화 및 파라미터 결정

소속함수와 파라미터는 다음과 같이 설정된다.

$$u_{ij} = \left[\frac{\sum_{k=1}^c \frac{\|x_j - v_i\|^{\frac{2}{m-1}}}{\|x_j - v_k\|^{\frac{2}{m-1}}} \right]^{-1} \quad (6)$$

여기서 입력데이터들과 클러스터 중심값과의 거리계산은 다음과 같은 유클리디안 놈(Euclidean norm)에 의한다.

$$d_{ik} = d(x_k - v_i) = \left[\sum_{j=1}^n (x_{ki} - v_{ij})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

2단계 : 퍼지 클러스터 중심 계산

입력 데이터의 값 $\hat{E} = \{e_1, e_2, \dots, e_k\}$ 과 전 샘플링타임에서 구해진 멤버십 함수 u_{ik} 에 의해 구해지는 새로운 중심값 v_{ij} 는 다음과 같다.

$$v_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^n (u_{ik})^m x_{kj}}{\sum_{k=1}^n (u_{ik})^m} \quad (8)$$

3단계 : 소속함수 갱신

2단계에서 구해진 중심값 v_{ij} 과 입력데이터 \hat{E} 를 이용하여 반복횟수 r 을 증가시키며 지속적으로 소속함수 u_{ik} 를 다음과 같이 갱신한다.

$$u_{ik}^{(r+1)} = \frac{1}{\sum_{j=1}^c \left[\frac{d_{ik}^r}{d_{jk}^r} \right]^{2/m-1}} \quad (8)$$

4단계 : 임계값 비교 및 반복

반복되는 소속함수 U^r 과 U^{r+1} 의 오차가 임의의 임계값 Δ 보다 작을때까지 위 과정을 반복한다.

$$\Delta = \|U^{(r+1)} - U^{(r)}\| = \max_{ik} |u_{ik}^{(r+1)} - u_{ik}^{(r)}| \quad (9)$$

3. 제안된 추적 알고리즘

3.1 FCM을 이용한 잡음과 가속도의 분리

2.1절에서 보여진 식(1)~(5)를 이용하여 기동방정식을 구성할 경우, 실제적으로 알 수 있는 정보는 식 (4)에 의해 주어지는 관측값이다. 나머지 정보는 알 수 없는 것으로 간주하고 문제를 다루기로 한다.

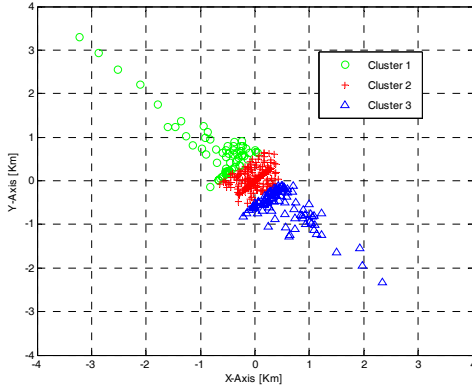


그림 1 예상위치 오차의 분포
Fig. 1 Distribution of the error

현 시점 $t = k$ 에서 표적의 이상적인 예상위치는 이전 시점 $t = k - 1$ 에서의 추정위치 $\hat{x}(k-1)$ 와 추정속도 $\dot{x}(k-1)$ 그리고 고 시간차이 Δt 에 의해 구해진다.

$$\hat{\sigma}(k|k-1) = \hat{x}(k-1|k-1) + \dot{x}(k-1|k-1) \cdot \Delta t \quad (10)$$

다음으로 관측치 $z(k)$ 와 예상위치 $\hat{\sigma}(k|k-1)$ 와의 차이를 산출한다.

$$\hat{e}(k) = z(k) - \hat{\sigma}(k|k-1) \quad (11)$$

구해진 오차값은 내부적·외부적 잡음에 의해 발생하는 값으로 생각할 수 있다. 여기서 가속도는 우리가 구하고자 하는 값으로 잡음에서 분리하고자 한다. 예상위치의 오차 $\hat{e}(k)$ 는 그림 1의 Δ 와 같이 0을 중심으로 분포된다. 여기서 가속도가 입력되어 지그재그 기동을 할 경우 잡음의 분포는 $y = -x$ 축을 따라 늘어지는 현상을 하게 된다.

오차값을 데이터로 입력하여 2.1절에서 소개한 FCM 클러스터링 기법을 이용 가속도와 잡음으로 분리한다. 먼저 식 (10)에 의해 구해진 예상위치 오차를 퍼지 c-중간 클러스터링의 입력값 x_j 로 이용한다. 클러스터의 수를 3으로 두고 식 (6)에서 (9)의 수식을 이용하여 예상위치 오차를 구분한다. 이렇게 구분된 데이터들은 그림 1에서 보는바와 같이 세 가지 클러스터로 나뉘어지고, 이는 다음과 같이 해석한다. 첫째, 0을 중심으로 하는 하나의 클러스터는 가속도 입력이 없이 단순한 잡음을 동반하는 구간에서의 데이터 집합으로 결정한다. 둘째, 플러스 값을 갖는 x 와 마이너스 값을 갖는 y 로 구성되는 하나의 클러스터는 x 축으로의 가속도 입력을 가지는 구간으로 판단한다. 셋째, 마이너스 값을 갖는 x 와 플러스 값을 갖는 y 로 구성되는 하나의 클러스터는 y 축으로의 가속도 입력을 가지는 구간으로 판단한다.

추정된 가속도 $\hat{a}(k|k-1)$, 잡음 $\hat{n}(k|k-1)$, 감속도 $\hat{d}(k|k-1)$ 는 각각 식(8)과 식(11)에 구해진 예상위치 오차와 소속함수의 곱으로 결정된다.

$$\hat{a}(k|k-1) = \hat{e}(k) \cdot u_{1k}^r \quad (12)$$

$$\hat{n}(k|k-1) = \hat{e}(k) \cdot u_{2k}^r \quad (13)$$

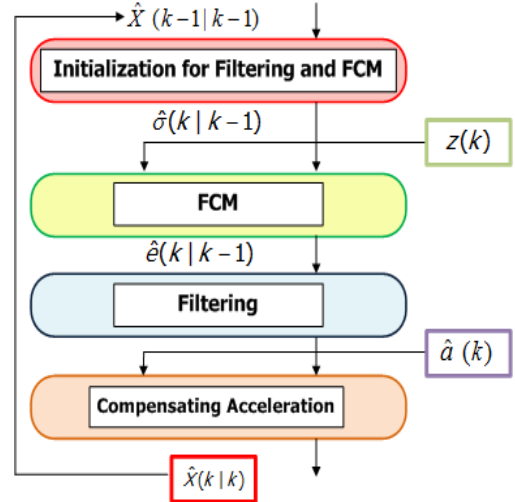


그림 2 제안된 추적 알고리즘
Fig. 2 Proposed tracking algorithm

$$\hat{d}(k|k-1) = \hat{e}(k) \cdot u_{3k}^r \quad (14)$$

3.2 제안된 기법의 one cycle

3.1절에서 구해진 가속도와 잡음을 이용하여 다음의 필터링과정을 거친다. 필터링과정은 기본적인 칼만필터(Kalman filter)에 추정된 가속도를 뺀 값을 입력값으로 갖고, 필터링 후 추정된 가속도값을 보상하는 과정을 추가하는 변형적인 형태를 구성한다. 제안된 필터링 과정에 대한 한번의 샘플링타임의 진행과정은 다음과 같다.

입력값은 추정위치에서 추정 가속도를 제외한 값으로 결정한다.

$$\hat{x}(k|k-1) = \hat{\sigma}(k|k-1) - \hat{a}(k|k-1) \quad (15)$$

공분산 $P_x(k|k-1)$ 계산시 추정된 잡음 $\hat{n}(k|k-1)$ 을 수정 입력한다.

$$P_x(k|k-1) = F \cdot P_x(k-1|k-1) \cdot F^T + G \cdot \hat{n}(k|k-1) \cdot G^T \quad (16)$$

칼만필터의 절차에 따라 칼만이득을 구한다.

$$S_x(k|k) = H \cdot P_x(k|k-1) \cdot H^T + R \cdot M \quad (17)$$

$$K(k) = P_x(k|k-1) \cdot H^T \cdot S(k)^{-1} \quad (18)$$

식 (18)에서 구해진 칼만이득의 보상과 식 (12)에서 구해진 추정 가속도의 추가 보상을 통해 표적의 추정 상태값 $\hat{x}(k|k)$ 과 공분산 $P_x(k|k)$ 을 구한다.

$$\hat{x}(k|k) = \hat{x}(k|k-1) + K(k) \cdot \hat{n}(k|k) + G \cdot \hat{a}(k) \quad (19)$$

$$P_x(k|k) = P_x(k|k-1) + K(k) \cdot S(k) \cdot K(k)^T \quad (20)$$

이상의 과정을 간단히 도식화 하면 그림 2와 같다.

4. 모의실험 및 결과 고찰

본 장에서는 제안된 추적기법의 실현가능성과 그 추적 성능을 나타내기 위하여 다음과 같이 2차원상의 가상 기동표적을 설정하고 그 표적을 추적하는 시나리오를 보여준다. 먼저 표적은 x축의 가속도 입력에 대한 반응, y축 가속도 입력에 대한 반응, 그리고 가속도 미입력에 대한 차이를 쉽게 볼 수 있도록 각 구간별 뚜렷한 가속도 입력을 기존 기동표적에 추가한다. 가속도 입력은 그림 3에서 보는 바와 같이 3개의 구간(가속도 미입력 구간, x축 가속도 입력구간, y축 가속도 입력구간)으로 나눈다.

기동표적은 최초 관측자로부터 경도 430km, 위도 100km 떨어진 지평선상에서 정남 방향으로 500%의 초기속력을 가지고 관측자에게 접근하는 고속 기동성을 가진 표적을 설정한다. 각 축에 대하여 선형 기동과 비선형 기동을 순차적으로 실시하는 기동패턴은 위에서 설명한 가속도 입력에 의해 표적의 기동이 변형된다. 그림 4에서 볼 수 있듯이 표적은 최소 직선운동을 하다가 주입된 가속도에 의해 직선운동과 지그재그 기동을 병행한다.

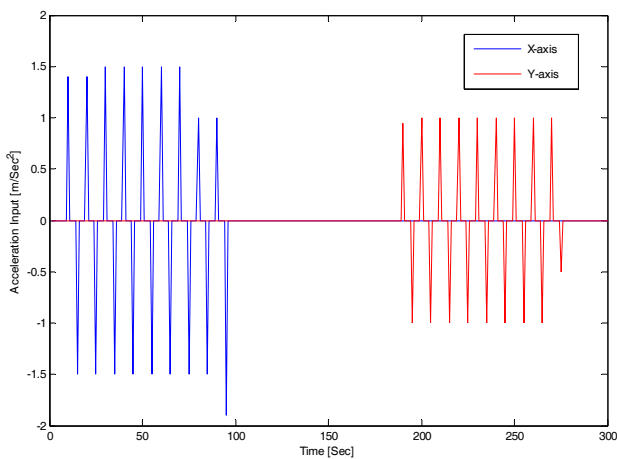


그림 3 구간별 가속도 입력
Fig. 3 Compartmental acceleration Input

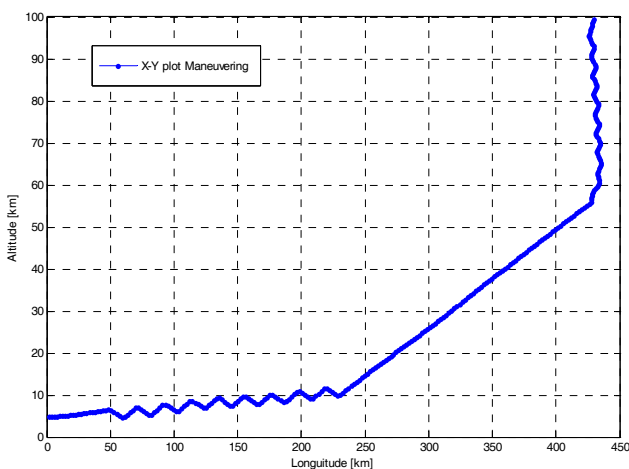
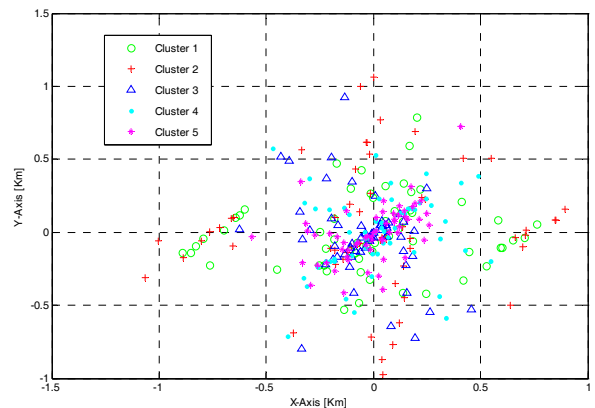


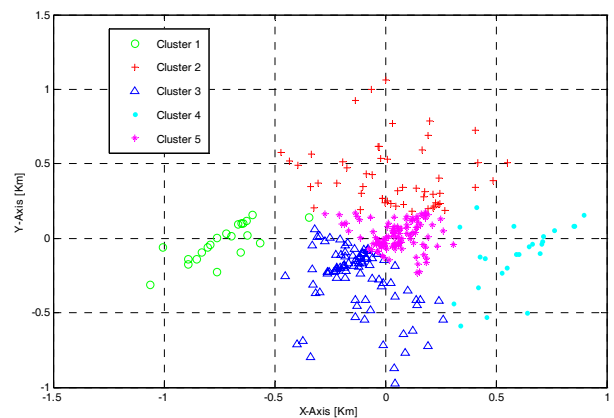
그림 4 표적의 계획된 기동궤적
Fig. 4 Designed trajectory of the maneuvering target

주어진 기동표적은 식 (1)~(5)에 의해 형성되는 표적의 실제값과 관측값을 나타내고, 이를 각 관측시점별로 데이터화하여 표적의 추적을 진행한다. 각 샘플링 시간별 추적의 시작은 식 (10),(11)에서 구해지는 예상위치와 관측위치의 차이값 $\hat{e}(k)$ 를 구하면서 이루어진다. 이 차이값을 퍼지 c중간 클러스터링 기법을 이용하여 외부적 잡음의 포함여부를 판단하고, 가속도를 추정하여 필터링 과정에 보상하는 과정을 거친다. 먼저 예상위치 오차는 특성상 기동의 외부잡음이 없는 (0,0) 중심의 한 그룹, x축의 \pm 값 두 그룹, y축의 \pm 값 두 그룹, 모두 다섯 개의 그룹으로 형성되고, 주어진 예상위치 오차의 분포는 그림 5-(a)와 같고, 클러스터링을 거친 결과는 그림 5-(b)와 같다. 그림 5-(b)에서 클러스터 1~4는 (0,0)으로부터 위치한 방향만큼 x,y 성분의 가속도와 잡음이 추가되었음을 의미하고, 클러스터 5는 가속도 없이 순수 잡음만이 입력되었음을 의미한다.

추적 성능을 비교 및 판단하기 위하여 칼만필터와 적응상호다중모델 기법을 비교대상으로 한다. 추적 결과는 그림 6에서 보는 바와 같이 각 축별 추적 결과와 종합적인 추적결과를 비교하여 도시하였다. 추적 성능에 대한 수학적 비교 분석을 위해 그 결과를 표1에 나타내었다. 그 결과 제안된 기법은 기존의 기법에 비해 월등한 추적 성능을 보여 주었으며, 특히 가속도에 대한 적절한 추정과 보상을 통해 전체적인 추적성능을 향상하였다.

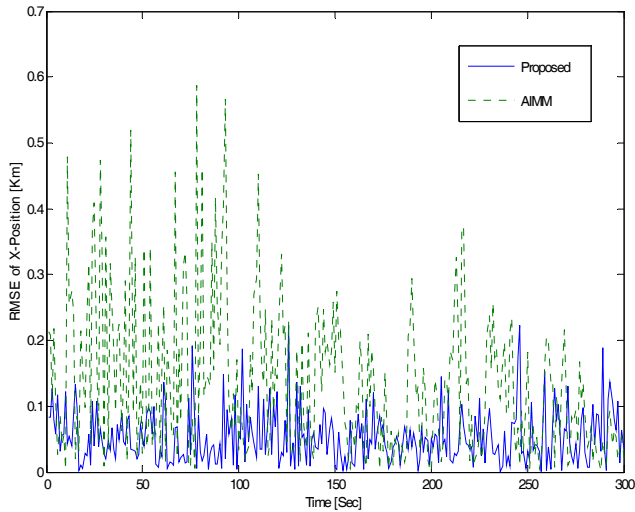


(a) 데이터 분포

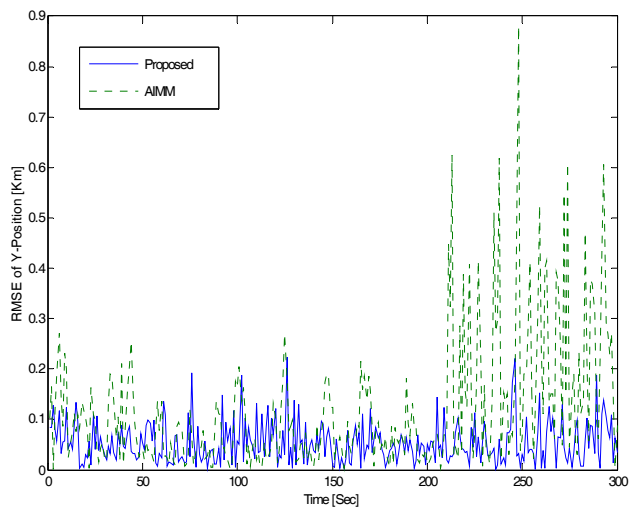


(b) 클러스터링 결과

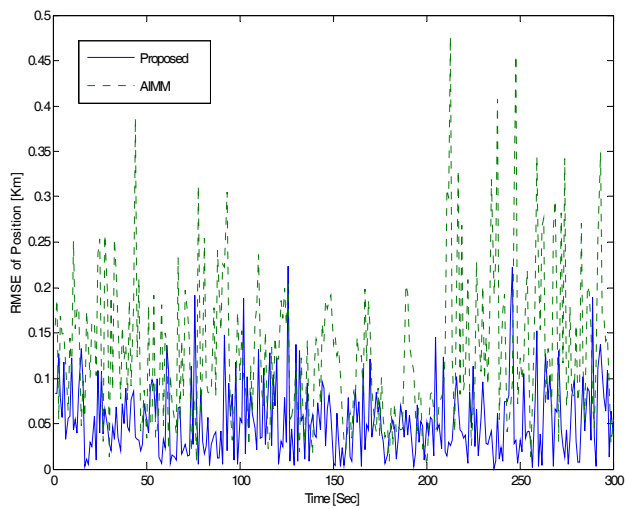
그림 5 위치 추적결과 비교
Fig. 5 Comparison of the tracking result for position



(a) X축 추적결과



(b) Y축 추적결과



(c) 위치추적 결과 (X,Y축 종합)

그림 6 각 축별 위치 추적결과 비교

Fig. 6 Comparison of the tracking result for each axis

표 1 기동표적 추적결과

Table 1 Tracking results for maneuvering target

구분	x축	y축	평균
제안된 기법	0.0539	0.0714	0.0627
AIMM	0.1345	0.1193	0.1269

5. 결 론

본 논문에서는 FCM 클러스터링 기법을 응용한 기동표적의 외란 분석과 표적의 추적을 위한 알고리즘을 제안하였다. 제안된 기법은 구분할 수 없었던 외란을 FCM 클러스터링 기법의 응용을 통하여 효율적으로 구분 할 수 있었다. 비선형 분리하여 선형적 패턴으로 형성하므로써 필터링 성능을 향상시켰다. 기존의 기법들에 비해 단순하면서도 효율적인 방식을 이용하여, 신속하고 정확한 결과를 이루어 낼 수 있었으며, 복잡한 오프라인 방식을 사용하지 않기 때문에 실시간 운용이 가능하다는 장점이 있다. 이에 대한 내용을 모의실험을 통하여 제안한 방법의 우수성을 증명하였다.

감사의 글

본 연구는 2011년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20104010100590)

참 고 문 헌

- [1] Kalman, R. E., "A new approach to linear filtering and prediction problems", J. Basic Eng., Transactions ASME, series D. vol. 82, no. 1, march 1960, pp. 35-45.
- [2] B. O. D. Anderson and J. B. Moore, Optimal filtering, Prentice-hall, Englewood Cliffs, NJ, 1979.
- [3] Singer, R. A. "Estimating optimal tracking filter performance for manned maneuvering targets", IEEE Transactions Aerospace and Electronic Systems, AES-6, no. 4, pp. 473-483, 1970.
- [4] P. Gutman and V. Mordekhai "Tracking targets using adaptive Kalman filtering", IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, vol. 26, no. 5, pp. 691-698, 1990.
- [5] Y. T. Chan, A. G. C. Hu, and J. B. Plant, "A Kalman filter based tracking scheme with input estimation", IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, vol. 15, no. 2, pp. 237-244, 1979.
- [6] P. L. Bogler, "Tracking a maneuvering target using input estimation", IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, vol. 23, no. 3, pp. 298-310, 1987.
- [7] Y. Bar-Shalom and K. Birmiwal, "Variable dimension

filter for maneuvering target tracking”, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, vol. 18, no. 5, pp. 621-629, 1982.

- [8] G. A. Ackerson and K. S. Fu, “On state estimation in switching environments”, IEEE Transactions on Automatic Control, vol. 15, no. 1, pp. 10-17, 1970.
- [9] C. B. Chang and M. Athans, “State estimation for discrete system with switching parameters”, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, vol. 14, no. 3, pp. 418-425, 1978.
- [10] H. A. P. Blom and Y. Bar-Shalom, “The interacting multiple model algorithm for systems with Markovian switching coefficients”, IEEE Transactions on Automatic Control, vol. 33, no. 8, pp. 780-783, 1988.
- [11] Y. Bar-Shalom, K. C. Chang, and H. A. P. Blom, “Tracking a maneuvering target using input estimation versus the interacting multiple model algorithm”, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, vol. 25, no. 2, pp. 296-300, 1989.
- [12] E. Mazor, A. Averbuch, Y. Bar-Shalom, and J. Dayan, “Interacting multiple model methods in target tracking : a survey”, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, vol. 34, no. 1, pp. 103-123, 1998.
- [13] D. P. Atherton and H. J. Lin, “Parallel implementation of IMM tracking algorithm using transputers”, IEE Proceedings-Radar, Sonar and Navigation, vol. 141, no. 6, pp. 325-332, 1994.
- [14] A. Munir and D. P. Atherton, “Adaptive interacting multiple model algorithm for tracking a maneuvering target”, IEE Proceedings-Radar, Sonar and Navigation, vol. 142, no. 1, pp. 11-17, 1995.
- [15] B. J. Lee, J. B. Park, and Y. H. Joo, “Fuzzy logic-based IMM algorithm for tracking a manoeuvring target”, IEE Proceedings Radar, Sonar and Navigation, vol. 152, no. 1, pp. 16-22, 2005.
- [16] S. Y. Noh, J. B. Park, and Y. H. Joo, “Intelligent tracking algorithm for manoeuvring target using Kalman filter with fuzzy gain”, IET Proceedings-Radar, Sonar and Navigation, vol. 1, no. 3, pp. 241-247, 2007.
- [17] R. W. Osborne, III, Y. Bar-shalom, and T. Kirubarajan, “Radar measurement noise variance estimation with several targets of opportunity”, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, vol. 44, no. 3, pp. 985-995, 2008.
- [18] J. C. Bezdek, Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms, Plenum Press, New York 1981.

저 자 소 개



손 현 승 (Hyun Seung Son)

2000년 : 해군사관학교(이학사)
 2007년 : 연세대학교 전기전자공학과 졸업 (공학석사), 2010~현재 : 연세대학교 전기전자공학과 박사과정
 Tel : 02-2123-3555
 E-mail : ssonhyung@yonsei.ac.kr



박 진 배 (Jin Bae Park)

1977년 : 연세대학교 전기공학과 졸업
 1985~1990년 : Kansas State University 전기 및 컴퓨터 공학과 졸업(공학박사), 1990~1991년 : Kansas State University 전기 및 컴퓨터 공학과 조교수, 1992~현재 : 연세대학교 전기전자공학과 교수,
 2006~2010 : 제어·로봇 시스템학회 부회장, 편집위원장
 Tel : 02-2123-2773
 E-mail : jbpark@yonsei.ac.kr



주 영 훈 (Young Hoon Joo)

1982년, 1984년, 1995년 : 연세대학교 전기 공학과 졸업 (공학사, 공학석사, 공학박사), 1986~1995년 : 삼성전자 (주) 생산기술센터 팀장, 1995년~현재 : 군산대학교 제어로봇공학과 정교수, 1998~1999년 : 미국 휴스턴대학 박사후과정, 2009년 : 한국지능시스템학회 회장
 Tel : 063-469-4706
 E-mail : yhjoo@kunsan.ac.kr