

어장보호를 위한 다물체 추적 칼만필터에 관한 연구

남택근*, 임정빈**, 정중식**, 박성현**, 안영섭**

* 목포해양대학교 기관시스템공학부 교수 ** 목포해양대학교 해상운송시스템학부 교수

A Study of multi-objects tracking to protect aquaculture farms by Kalman Filter

T. K. Nam* · J. B. Yim** · J. S. Jeong** · S. H. Park** · Y. S. Ahn**

* Division of Marine Engineering System , ** Division of Marine Transportation System,

Mokpo National Maritime University, Mokpo, 530-729, Korea

요 약 : 본 논문에서는 양식어장을 보호하기 위한 집단감시디지털시스템에서 어장내로 출입하는 선박을 추적하기 위한 칼만필터의 적용기법에 대해 논의하고자 한다. 디지털어장보호시스템은 어장탐지시스템(FDS) 및 감시경보시스템(WIWAS)으로 구성되어 있고, 어장탐지 시스템에서는 어장에 출입하는 선박을 실시간으로 식별하고 의심선박으로 인식되는 선박에 대해서는 추적을 행하게 된다. 본 연구에서는 이러한 의심선박을 추적(tracking)하기 위해 칼만필터 기법을 적용한다. 아울러 다수의 선박에 대해서도 추적이 가능토록 하기 위하여 백색잡음을 동반한 복수개의 대상물에 대하여 위치판독을 위한 시물레이션을 행하고, 트래킹 시스템으로의 적용 가능성에 대해 살펴본다.

핵심용어 : 어장탐지시스템, 칼만필터, F-AIS, 다물체추적

ABSTRACT : In this paper, a Kalman filter application for GDSS(Group Digital Surveillance System) developed to protect an aquaculture farms is discussed. GDSS is composed by a WIWAS(Watching, Identification, Warning, and Action System) and a FDS(Fishery Detection System) that will monitor incoming and outgoing vessels in the aquaculture farms. In the FDS, a tracking function to track vessels without F-AIS(Fishery Automatic Identification System) is needed and the Kalman filter is applied to track vessels around the aquaculture farms. Some simulation results for the multi-objects with white noise is presented and the adaptation possibility for tracking system is discussed.

KEY WORDS : FDS, Kalman filter, F-AIS, Multi-object tracking

1. 서 론

본 연구에서는 레이더로부터 획득한 어선의 위치 및 속도 정보로부터 신호잡음과 시스템잡음을 제거하고 정확한 어선의 위치 추정을 하기 위하여 칼만필터기법을 적용하고 수치시물레이션을 통하여 그 유용성을 확인하고자 한다. 우리나라는 삼면이 바다로 둘러싸여 있는 지리학적 특성으로 인하여 양식어업이 발달하였고 서남해의 연안에는 다양한 양식어장이 광범위하게 분포되어 있다. 특히 전복 등을 포함한 어패류 및 고급어종의 양식장이 많이 위치하고 있고 어가의 주요 수입원이 되고 있다. 하지만 수확기 철에 양식어장에 대한 해상절도행위가 발생하고 있고, 이러한 절도행위는 관련어민의 사기를 떨어트리고 나아가서는 사회기강을 뒤흔드는 요소가 되기도 한다.

*통신회원, tknam@mmu.ac.kr, 061)240-7310

*통신회원, 통신회원, 정회원, 통신회원 (jbyim, jsjeong, shpark, ysahn@mmu.ac.kr), 061) 240 - 7051, 7238, 7127, 7065

이러한 해상에서의 도적행위를 근절시키기 위해서는 어장에 대한 철저한 감시가 필요하고 도적선박이 출현하였을 경우 그에 대한 효과적인 대응태세가 필요하게 된다.

어장의 감시에는 다양한 기법이 적용될 수 있을 것이다. 육상에서 흔히 쓰이는 카메라감시 시스템, 고해상도 망원경 시스템 등이 그 예이다. 하지만 카메라 감시 시스템은 설치가 간단하고 영상으로 어장의 현황을 감시할 수 있다는 장점이 있는 반면, 사용거리에 제한이 있고 기후변동이 심한 해상에서 사용하는 부분에는 많은 제약이 따르게 된다. 고해상도 망원경을 이용하거나 적외선 망원경을 이용할 경우에는 야간에 도 어장을 감시할 수도 있지만 설치비용이 고가이어서 어민들이 쉽게 이용하기에는 곤란한 단점을 가지고 있다.

한편, 어장의 감시를 위한 방법으로 효과적이면서도 주변환경 및 기후의 영향을 최소화 할 수 있는 레이더 영상 시스템을 들 수 있다(정중식, 2004, 임정빈, 2005). 레이더로부터 발사된 전자파는 물표에 의해 반사되고 반사파의 강도에 의하여 화면에 물표를 출력하게 된다. 또한 전자파의 도달시간을

이용하여 레이더로부터 물표까지의 위치 및 방위를 계산하게 된다.

본 연구에서는 양식어장 내에서 활동하는 어선들을 레이더를 이용하여 인식하고 F-AIS를 통하여 적어를 식별하게 된다. F-AIS를 장착하지 않은 선박은 도적(盜賊)선박으로 인식되게 되고 도적선박의 거동을 감시하기 위해서는 해당선박을 추적(tracking)할 수 있어야 한다. 일반적으로 소형선박들은 어장 주변을 빈번하게 항해하는 경우가 많고, 낚시용 선박들은 어장 주변에 계류하여 낚시를 하는 경우도 있다. 즉, 도적선박이 아닌 일반선박들이 어장주변을 지나가거나 어장에서부터 가까운 계류선박들이 도적선박으로 인식될 가능성이 생기게 된다. 레이더 시스템을 이용함으로써 나타날 수 있는 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 레이더로부터 가능한 한 정확하게 선박의 위치정보를 얻을 수 있어야 한다.

레이더를 이용한 물표의 추적에 관한 종래의 연구는 다음과 같다. 알파-베타 추적 필터를 이용하여 목표물(선박)을 추적하는 알고리즘에 대한 연구(J. C. Yoo, 2003)가 있었고, J. van Bergeijk (1998)는 DGPS, 휠 속도센서, 자기콤파스로부터 얻어지는 정보로부터 정확한 위치 및 방향각을 추정하기 위해 칼만필터(Kalman filter)를 적용하였다. M. Oussalah(2000)는 대상모델의 파라미터에 오차가 있을 경우에 적용 가능한 칼만필터기법에 대해 논의 하고 있다. 양식장 내에서 이동선박의 위치-속도 정보를 추정하기 위해 칼만필터(남택근, 2005)기법이 적용되고 있다.

본 연구에서는 단일물표에 대한 위치-속도추정(남택근, 2005) 기법을 다중물표의 추적에 적용하기 위한 것이다. 레이더로부터 위치와 속도를 획득할 수 있는 것으로 가정하고 레이더신호에는 측정잡음(measurement noise)와 시스템 잡음(process noise)이 포함되어 있는 것을 전제로 한다. 추정치와 실제값과의 오차에 대한 공분산을 최소화 하는 알고리즘 즉, 칼만필터기법을 적용하여 효과적으로 잡음을 억제하고 대상물표의 정확한 위치 및 속도정보를 얻고자 한다.

2. 시스템의 구성

본 연구에서 구성하고 있는 어장보호 시스템의 개요는 Fig. 1과 같다. 크게 어장탐지 시스템(Fishery Detection System: FDS), 레이더감시 시스템(Radar Surveillance System: RSS), 감시·식별·경보·대응시스템(Watching, Identification, Warning and Action System: WIWAS)로 구성되어 있다.

어장용 AIS(이하 F-AIS)를 장착한 어선은 레이더를 통해 양식어장의 조합원으로 인식되고 반대로 F-AIS 신호가 없는 선박은 의심선박으로 분류되게 된다. 따라서 양식어장 주변의 의심선박은 실시간으로 거동을 감시해야 한다.

Fig. 1에서 물표추적시스템(target tracking system)을 좀더 상세하게 설명하면 Fig. 2와 같다. 어장내의 어선들은 레이더스캐너를 통해 디스플레이 상에 표시되고 이러한 물표의

정보들은 레이더화상처리장치(RSC: Radar Scan Converter)를 통해 디지털 값으로 얻어진다.

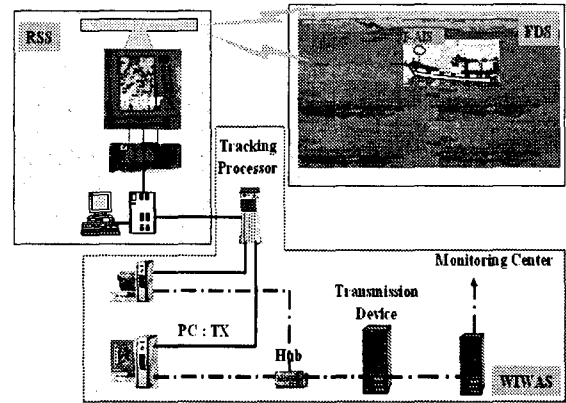


Fig. 1 System Configuration

이때 F-AIS를 장착하지 않은 선박들은 디스플레이 상에서 선박의 고유정보를 나타내는 신호를 출력시키지 못하므로 자동적으로 의심선박으로 분류된다. 이러한 의심선박들이 양식어장 주변에 위치하게 되면 해당 의심선박을 추적하게 되고 추적선박이 어장의 접근한계 범위를 초과하면 경보를 발생하게 된다.

하지만 실제 선박의 어장에서의 접근범위는 레이더의 스캔 정보를 처리하는 방법에 따라서 달라질 수 있다. 아울러 레이더로부터 획득한 데이터는 레이더자체의 성능 및 반사파의 변동에 의해서도 실제값과의 오차를 가질 수 있으며 이러한 오차들은 시스템의 잡음과 측정잡음으로 분류하게 된다. 이러한 잡음의 영향으로 인해 실제 선박은 어장접근한계를 초과하지 않았음에도 불구하고 컴퓨터에서는 어장에 침입한 것으로 잘못 인식되어 경보가 울릴 수 있다.

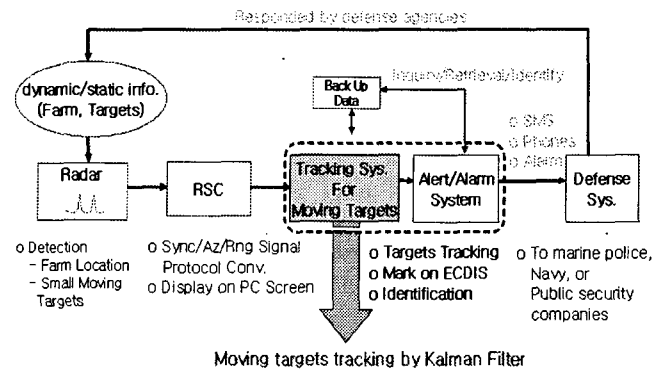


Fig. 2 Target Tracking System

따라서 정확한 선박의 위치정보를 얻어내는 것은 아주 중요한 작업이며 잡음의 영향 아래에서도 위치정보를 정확하게 추정하고 현재의 위치 및 속도를 기준으로 앞으로의 위치를

예측하기 위하여 칼만필터(kalman filter)를 적용하게 되었다.

3. 칼만필터

다음과 같은 시스템

$$\begin{aligned} \mathbf{x}(k+1) &= \Phi(k)\mathbf{x}(k) + \omega_k: \Phi(n \times n) \\ \mathbf{y}(k) &= \mathbf{C}\mathbf{x}(k) + v_k: \mathbf{C}(l \times n) \end{aligned} \quad (1)$$

을 제어대상으로 가정한다. 단, $\mathbf{x}(k) \in R^n, \mathbf{y}(k) \in R^l$ 는 각각 시스템의 상태변수와 출력벡터를 나타내고 Φ 는 상태천이행렬을, \mathbf{C} 는 측정행렬(measurement matrix)을 의미한다. ω_k, v_k 는 화이트노이즈(white gaussian noise)로써 각각 시스템잡음과 측정 잡음을 나타내고 다음 조건을 만족한다.

$$\begin{aligned} \omega_k &\sim N(0, Q_k) \\ v_k &\sim N(0, R_k) \end{aligned} \quad (2)$$

(2)에서 시스템 잡음과 측정잡음은 평균이 0이고 공분산값이 각각 Q_k, R_k 라는 것은 의미한다. 또한 상태변수의 초기값 $\mathbf{x}_0 = \mathbf{x}(0)$ 와 각 단계에서의 잡음과는 선형독립적인 관계를 갖는 것으로 한다.

상태변수의 초기치와 그 기대치는 다음의 조건

$$\begin{aligned} E[\mathbf{x}(0)] &= \mathbf{x}_m(0) \\ E\{[\mathbf{x}(0) - \mathbf{x}_m(0)][\mathbf{x}(0) - \mathbf{x}_m(0)]^T\} &= P_0 \end{aligned} \quad (3)$$

을 만족하고 상태변수의 추정치 $\hat{\mathbf{x}}(k)$ 와 실제 상태변수의 값 $\mathbf{x}(k)$ 와의 추정오차

$$\mathbf{e} = \hat{\mathbf{x}}(k) - \mathbf{x}(k) \quad (4)$$

에 대해

$$P(k) = E[\mathbf{e}(k)\mathbf{e}(k)^T]: (n \times n) \quad (5)$$

를 최소화하는 최적의 추정치를 구하는 문제를 생각할 수 있고 이러한 최적의 추정치는 예측형 칼만필터 (T. Mita, 1998)라고 불리우는

$$\hat{\mathbf{x}}(k+1) = \Phi(k)\hat{\mathbf{x}}(k) + K_k(z(k) - C\hat{\mathbf{x}}(k)) \quad (6)$$

으로 주어진다. 단, K_k 는 칼만필터 게인으로

$$K_k = P_k^- C^T (C P_k^- C^T + R)^{-1} \quad (7)$$

로부터 구할 수 있고, 상태변수의 추정오차에 대한 공분산 행렬은 다음과 같이 갱신할 수 있다.

$$P_k = (I - K_k C) P_k^- \quad (8)$$

단, P_k, P_k^- 는 각각 $P(k), P(k-1)$ 을 의미한다.

위에서 살펴본 칼만필터의 설계수순을 정리하면 다음과 같다. 먼저, 상태변수의 초기값과 실제값과 초기치값과의 기대치에 대한 초기값을

$$\begin{aligned} \hat{\mathbf{x}}_0 &= O\hat{\mathbf{y}}_0 \\ P_0 &= \begin{bmatrix} \epsilon & 0 \\ 0 & \epsilon \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (9)$$

와 같이 추정한다. 다음으로

$$\begin{aligned} \hat{\mathbf{x}}_k^- &= A\hat{\mathbf{x}}_{k-1} \\ P_k^- &= A P_{k-1} A^T + Q \end{aligned} \quad (10)$$

을 이용하여 상태변수 $\hat{\mathbf{x}}_k^-$ 와 P_k^- 를 각각 예측한 후 (10)과 (6)을 이용하여 상태변수의 추정치를 계산한다. 최종적으로 상태추정오차에 대한 공분산을 (8)과 같이 갱신하는 과정을 거치게 된다.

4. 칼만필터의 적용

앞절에서 살펴본 칼만필터의 설계 절차에 따라 복수개의 가속도계 모델에 대한 상태추정을 하고자한다. 본 연구에서는 Fig. 3과 같이 백색잡음을 동반한 위치-속도-가속도(PVA: Position - Velocity - Acceleration)모델 두 개(x, y)에 대한 위치, 속도 추정문제에 칼만필터를 적용한다. 단, 위치와 속도 정보는 측정 가능한 것으로 가정하고 x_1, y_1 은 물표의 위치, $x_2 = \dot{x}_1, y_2 = \dot{y}_1$ 는 물표의 속도, $x_3 = \ddot{x}_1, y_3 = \ddot{y}_1$ 는 물표의 가속도를 의미한다,

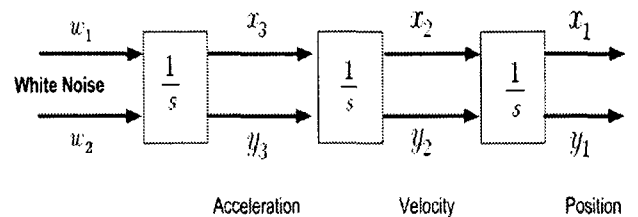


Fig. 3 x, y trargets with white noise

Fig. 3의 대상물을 각각 x, y 라고 하고, 연속시간영역에서 상태 변수를 $\mathbf{x}(t) = [x_1, x_2, x_3]^T, \mathbf{y}(t) = [y_1, y_2, y_3]^T$ 라고 하면

$$\begin{aligned} \dot{\mathbf{x}} &= \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \mathbf{x} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \omega_1 := A_1 \mathbf{x} + b_1 \omega_1 \\ z_1 &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \mathbf{x} + \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} v_1 := C_1 \mathbf{x} + v_1 \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \dot{\mathbf{y}} &= \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \mathbf{y} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \omega_2 := A_2 \mathbf{y} + b_2 \omega_2 \\ z_2 &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \mathbf{y} + \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} v_2 := C_2 \mathbf{y} + v_2 \end{aligned} \quad (12)$$

와 같이 표현된다. 각각의 시스템 간의 간섭이 없다고 하고, $\mathbf{q}(t) = [x_1, x_2, x_3, y_1, y_2, y_3]^T, \mathbf{z}(t) = [z_1, z_2]^T$ 로 하여 이산화 (샘플링 시간= T)하면

$$\begin{aligned} \mathbf{q}(k+1) &= \begin{bmatrix} \Phi_1 & 0 \\ 0 & \Phi_2 \end{bmatrix} \mathbf{q}(k) + \begin{bmatrix} Q_{d1} & 0 \\ 0 & Q_{d2} \end{bmatrix} \\ z(k) &= \begin{bmatrix} C_1 & 0 \\ 0 & C_2 \end{bmatrix} \mathbf{q}(k) + v(k) \end{aligned} \quad (13)$$

을 얻을 수 있다. 단, Φ_i 는

$$\Phi_i = \exp(A_i t) = \begin{bmatrix} 1 & T & T^2/2 \\ 0 & 1 & T \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (14)$$

와 같이 계산되고, 연속시간영역에서의 프로세스잡음을

$Q_{ci} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & q_{ci} \end{bmatrix}$ 라 하면, 이산화영역에서의 프로세스잡음을

$$\begin{aligned} Q_{di} &= \int_0^T \exp(A_i \tau) Q_{ci} \exp(A_i^T \tau) d\tau \\ &= \begin{bmatrix} T^5/20 & T^4/8 & T^3/6 \\ T^4/8 & T^3/3 & T^2/2 \\ T^3/6 & T^2/2 & T \end{bmatrix} q_{ci} \end{aligned} \quad (15)$$

와 같이 구할 수 있다.

4.1 다물체의 위치·속도 추정 시뮬레이션

Fig 3으로 주어지는 모델에 대하여 칼만필터 기법을 적용하

여 위치와 속도 추정 시뮬레이션을 행하였다. 두 물체의 상태 변수의 초기값은 $\mathbf{q}(0) = [1, 0, 2, 0, 1, 1]^T$ 으로 하였고, 프로세스잡음 및 참값과 추정치의 초기오차는 각각 $q_{ci} = 0.5, P(0) = 2 \times I_6$ 로 설정하였다. 단, I_6 는 단위행렬을 의미한다. 샘플링 시간은 $T = 0.05 [s]$ 로 설정하였다. 상기와 같은 초기값 및 추정 프로세스를 적용하여 행한 시뮬레이션의 결과는 Fig. 4 ~ Fig. 7과 같다.

Fig. 4 (a)는 프로세스 잡음이 있는 상태에서 칼만필터를 적용한 물표(x) 위치, 속도의 추정값(\hat{x})을 나타내고 있다. Fig. 4 (b)는 프로세스 잡음이 없을 경우의 실제 위치, 속도, 가속도 값을 나타내고 있다. 그림으로부터 초기상태의 오차가 시간이 지남에 따라 참값에 수렴해 가고 있음을 알 수 있다. Fig. 5 (a)는 칼만필터를 적용한 물표(y) 위치, 속도의 추정값(\hat{y})을 나타내고 있다. Fig. 5 (b)는 프로세스 잡음이 없을 경우의 실제 위치, 속도, 가속도 값을 나타내고 있다.

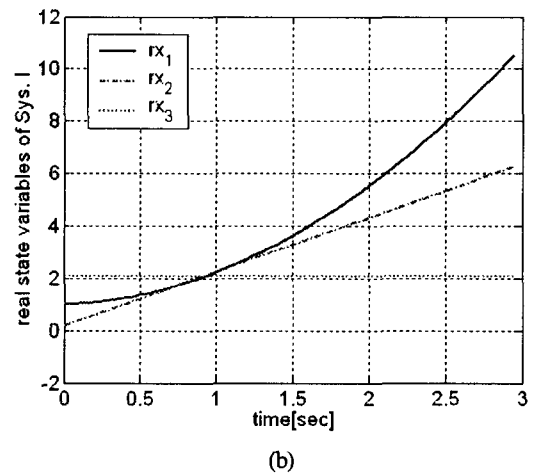
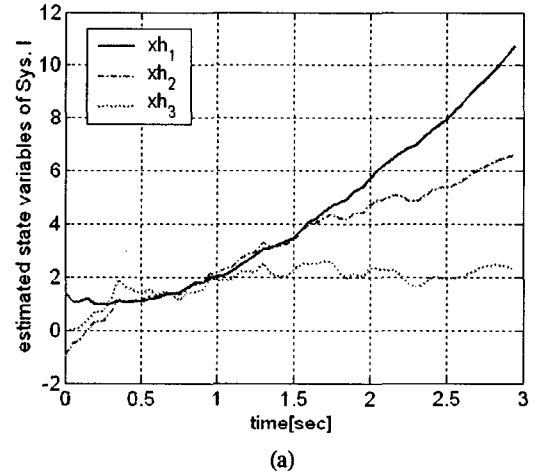
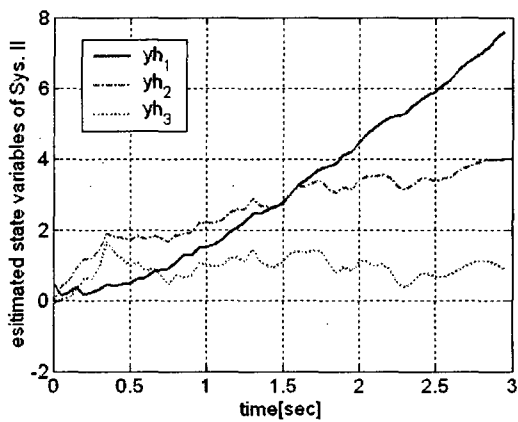


Fig. 4 Estimation result of 'x' target

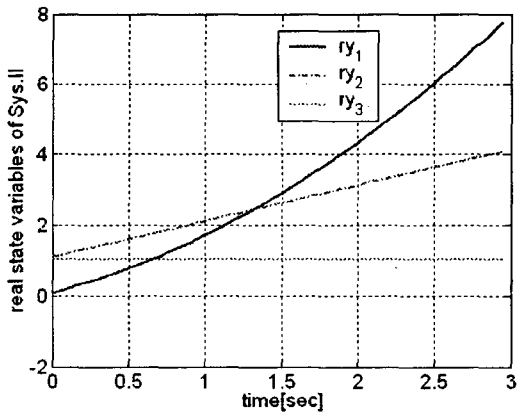
Fig. 5에서도 Fig.4의 물표(x)에서와 같이 양호한 위치, 속도,의 추정결과를 나타내고 있음을 알 수 있다.

Fig. 6은 관측잡음이 있는 경우와 없는 경우에서의 시스템의 출력결과를 나타내고 있다. Fig. 6(a)는 관측잡음이 있는 경우의 결과이고, Fig. 6(b)는 칼만필터를 적용한 상태변수 추정치로부터의 시스템 출력값을 나타낸 것이다.

Fig. 7은 잡음이 없을 경우의 상태변수의 참값과 잡음이 있을 경우 칼만필터를 적용한 상태변수 추정치와의 오차값을 나타내고 있다. Fig. 7 (a)는 물표 'x'에 대한 오차값 ($e_x = x - \hat{x}$)의 결과를, Fig. 7 (b)는 물표 'y'에 대한 오차값 ($e_y = y - \hat{y}$)을 나타내고 있다. Fig. 7 (a), Fig. 7 (b)로부터 초기오차를 가진 상태에서도 시간이 지남에 따라 값이 발산하지 않고 양호한 추종결과를 나타내고 있음을 알 수 있다.

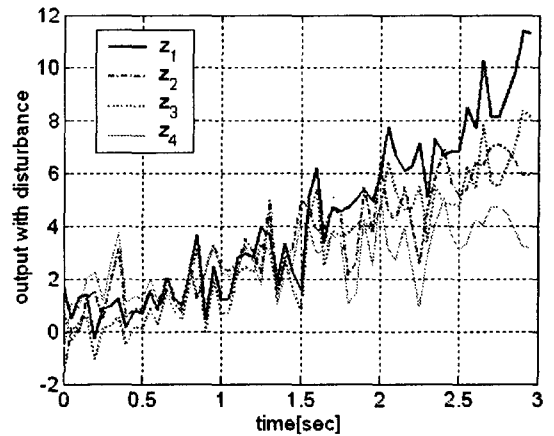


(a)

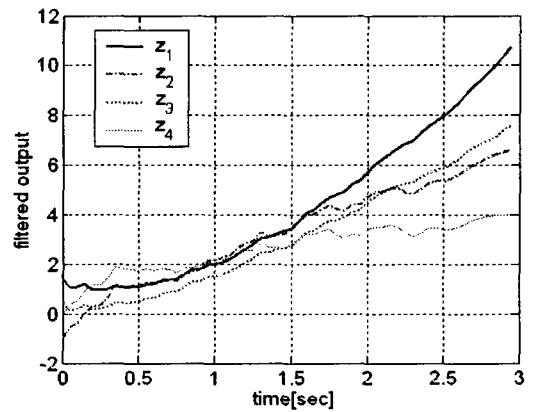


(b)

Fig. 5 Estimation result of 'y' target

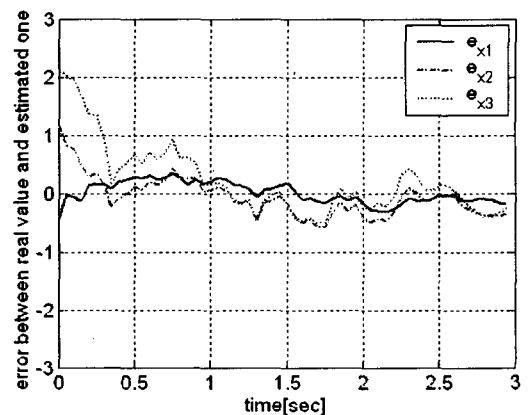


(a)

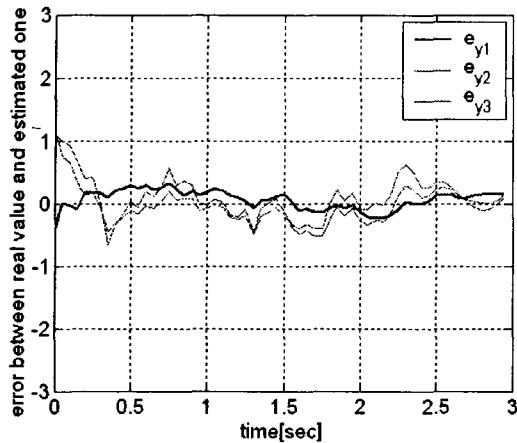


(b)

Fig. 6 System output



(a)



(b)

Fig. 7 Error profile with filtering

5. 결 론

본 논문에서는 양식어장 내의 작업 어선에 대하여 F-AIS 및 레이더 신호를 통해 적아를 식별하고 의심선박으로 인식될 경우 목표물에 대한 정확한 위치, 속도 추정 및 위치와 속도를 바탕으로 한 추적기능(tracking function)을 수행하기 위해 칼만필터를 적용하였다.

레이더로부터 얻어지는 신호에 포함된 측정 잡음과 시스템 잡음이 있는 상태에서도 잡음을 억제하고 선박의 정확한 위치 및 속도를 추정할 수 있음을 확인하였다. 입력단에서 백색 잡음을 가지는 두 개의 물표에 대하여 위치와 속도를 추정하기 위해 예측형 칼만필터를 적용하였고 수치시물레이션을 통하여 유용성을 확인할 수 있었다.

후 기

본 연구는 2005년도 해양수산부 수산특정연구개발사업의 지원에 의하여 수행되었음.

참 고 문 헌

- [1] R. G. Brown, P. Y. C. Hwang (2004), Introduction to random signals and applied kalman filtering, WILEY.
- [2] M. S. Grewal, A. P. Andrews(2001), Kalman filtering, WILEY.
- [3] 정중식, 김철승, 박성현, 김우숙, 안영섭 (2004), 양식어장 보호를 위한 레이더 감시 시스템의 구축방안에 관한 연구, 한국항해항만학회 추계학술대회 논문집, pp. 103-109.
- [4] 남택근, 임정빈, 정대득, 양원재, 안영섭 (2004), 양식어장 보호를 위한 어장탐지시스템 개발에 관한 연구, 한국항해

항만학회 추계학술대회 논문집, pp. 99-101.

- [5] 임정빈 외 7명 (2005), 어장 보호 시스템의 현장실험을 위한 레이더 측정차량 개발, pp. 279-283.
- [6] 남택근, 정중식, 정재용, 양원재, 안영섭 (2005), 양식어장 보호를 위한 칼만필터 적용에 관한 연구, 한국항해항만학회 추계학술대회 논문집, pp. 273-277.
- [7] T. Mita (1998), Digital Control Theory, Shoukodo.
- [8] 片山 (2004), 応用カルマンフィルタ, 朝倉書店.
- [9] M. Oussalah, J. D. Schutter (2000), Possibilistic kalman filtering for radar 2D tracking, ELSEVIER, Information Sciences, vol. 130, pp. 85-107.
- [10] J. van Bergeijk (1998), Digital filters to integrate global positioning system and dead reckoning, Journal of agric. Engineering Research, vol. 70, pp. 135-143.
- [11] H. Gu (2002), Radar angle-tracking system for multiple moving targets, IEE Proc. Radar Sonar Navigation, vol. 149, no.1, pp. 23-27.
- [12] J. C. Yoo, Y. S. Kim (2003), Alpha-beta tracking index tracking filter, ELSEVIER, Signal Processing, vol. 83, pp. 169-180.