

## 양식어장보호를 위한 칼만필터 적용에 관한 연구

남택근\*, 정중식\*\*, 정재용\*\*, 양원재\*\*, 안영섭\*\*

\* 목포해양대학교 기관시스템공학부 교수 \*\* 목포해양대학교 해상운송시스템학부 교수

## A Study of Kalman Filter Adaptation for Protecting Aquaculture Farms

Taek-Kun Nam\* · Jung-Sik Jeong\*\* · Jae-Yong Jong\*\* · Won-Jae Yang\*\* · Young-sup Ahn\*\*

\* Division of Marine Engineering System, \*\* Division of Marine Transportation System,  
Mokpo National Maritime University, Mokpo, 530-729, Korea

**요약 :** 본 논문에서는 양식어장을 보호하기 위한 어장 탐지 시스템에 있어서 칼만필터의 적용기법에 대해 논의한다. 어장탐지시스템(FDS)은 어장에 침입하는 도적선박을 실시간으로 식별하고 어장의 위치변동 등을 파악하고자 하는 것이다. 본 연구에서는 양식어장으로의 접근 물체 중에서 F-AIS를 탐지하지 않은 의심선박에 대해 추적(tracking)을 하기 위해 칼만필터 기법을 적용하고자 한다. 백색잡음을 동반한 가속도계의 대상물에 대하여 위치 및 속도판독을 위한 시뮬레이션을 행하고 트래킹 시스템으로의 적용 가능성에 대해 살펴본다.

**핵심용어 :** 어장탐지시스템, 칼만필터, F-AIS, 트래킹

**ABSTRACT :** In this paper, we study an adaptation of the kalman filter for FDS(fishery detection system) to protect an aquaculture farms. The FDS will detect a robbing vessel with real time and a variance of the position of fishing fields. The kalman filter for tracking system that can be detect and track the approaching object without mounting F-AIS(Fishery Automatic Identification System) is applied. Some simulation results for the acceleration object with white noise is showed and the possibility of adaptation for tracking system is discussed.

**KEY WORDS :** FDS, Kalman filter, F-AIS, tracking

### 1. 서 론

본 연구에서는 레이더로부터 획득한 어선의 위치 및 속도 정보로부터 신호잡음과 시스템잡음을 제거하고 정확한 어선의 위치 추정을 하기 위하여 칼만필터기법(R. G. Brown, 2004)을 적용하고 수치시뮬레이션을 통하여 그 유용성을 확인하고자 한다. 우리나라에는 삼면이 바다로 둘러싸여 있는 지리학적 특성으로 인하여 양식어업이 발달하였고 서남해의 연안에는 다양한 양식어장이 광범위하게 분포되어 있다. 특히 전복 등을 포함한 어패류 및 고급 어종의 양식장이 많이 위치하고 있고 어가의 주요 수입원이 되고 있다. 하지만 근래들어 양식어장에 대한 해상절도행위가 증가하고 있고 이러한 절도행위는 관련 어민의 사기저하 및 사회기강을 문란하게 하는 요소가 되기도 한다.

결국 해상절도행위를 방지하기 위해서는 어장에 대한 감시가 필요하고 도적선박이 출현하였을 경우 효과적인 대응태세가 필요하게 된다.

이러한 어장의 감시를 위해서는 레이더 영상을 이용하는 것이 효과적이고 환경의 영향을 최소화 할 수 있을 것이다(정중식, 2004). 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 적아를 식별하게 된다. F-AIS를 장착하지 않은 선박은 적(盜賊)으로 인식되게 되고 도적선박의 거동을 감시하기 위해 추적(tracking)을 하여야 한다. 일반적으로 소형선박들은 연안주변의 어장을 통해 항해하거나 낚시용 선박들은 어장 주변에 계류하여 낚시를 하는 경우가 많다. 즉, 도적선박이 아닌 일반선박들이 어장주변을 지나가거나 어장으로부터 가까운 계류선박들이 도적선박으로 인식될 우려가 높게 되는 것이다. 이러한 문제점을 해

\*종신회원, tknam@mmu.ac.kr, 061)240-7310

\*\*종신회원, 정회원, 정회원, 종신회원 {jsjeong, jjjeong, wjyang, ysahn @mmu.ac.kr}, 061) 240 - 7238, 7308, 7313, 7065

결하기 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, 김석재, 2003)가 있었고, J. van Bergeijk (1998)는 DGPS, 훨속도센서, 자기콤파스로부터 얻어지는 정보로부터 정확한 위치 및 방향각을 추정하기 위해 칼만필터기법을 적용하였다. M. Oussalah(2000)은 대상모델의 파라미터에 오차가 있을 경우에 적용가능한 칼만필터기법에 대해 논의하고 있다.

본 연구에서는 레이더로부터 위치와 속도를 획득할 수 있는 것으로 가정하고 레이더신호에는 측정잡음(measurement noise)과 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.

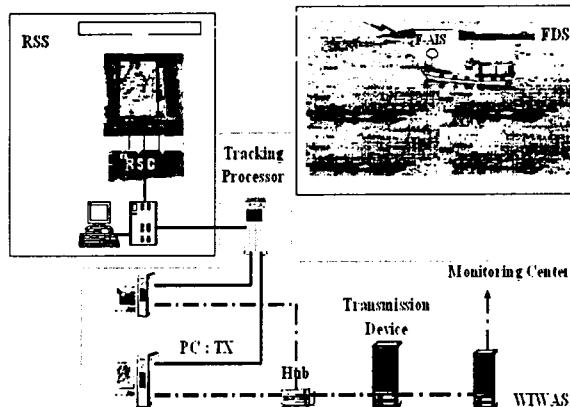


Fig. 1 System Configuration

Fig. 1에서 물표추적시스템(target tracking system)을 좀더 부연적으로 설명하면 Fig. 2와 같다. 어장내의 어선들은 레이

더스캐너를 통해 디스플레이 상에 표시되고 이러한 물표의 정보들은 레이더화상처리장치(RSC: Radar Scan Converter)를 통해 디지털 값으로 얻어진다. 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 어장으로의 접근범위는 레이더의 스캔 정보를 처리하는 방법에 따라서 달라질 수 있다. 아울러 레이더로부터 획득한 데이터는 레이더 자체의 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.

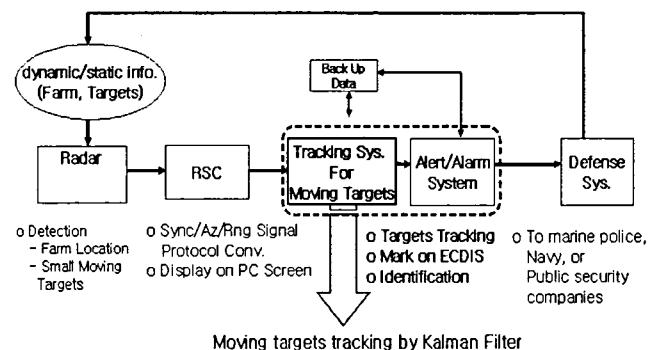


Fig. 2 Target Tracking System

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

$$\begin{aligned} \mathbf{x}(i+1) &= \Phi(i)\mathbf{x}(i) + \mathbf{w}(i) : \Phi(n \times n) \\ \mathbf{y}(i) &= \mathbf{C}(i)\mathbf{x}(i) + \mathbf{v}(i) : \mathbf{C}(l \times n) \end{aligned} \quad (1)$$

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

다.

$$\begin{aligned} E[w(i)w(j)^T] &= Q_i \delta_{ij} \\ E[v(i)v(j)^T] &= R_i \delta_{ij} \end{aligned} \quad (2)$$

상태변수의 초기치와 그 기대치는 다음의 조건

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

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

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

에 대해

$$P(i) = E[e(i)e(i)^T] : (n \times n) \quad (5)$$

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

$$\hat{x}(i+1) = \Phi(i)\hat{x}(i) + K(i)(y(i) - C(i)\hat{x}(i)) \quad (6)$$

으로 주어진다. 단,  $K(i)$ 는 칼만필터 계인으로

$$\begin{aligned} K(i) &= \Phi(i)P(i)C(i)^T S(i)^{-1} \\ P(i+1) &= Q(i) + \Phi(i)P(i)\Phi(i)^T - \\ &\quad \Phi(i)P(i)C(i)^T S(i)^{-1} C(i)P(i)\Phi(i)^T \end{aligned} \quad (7)$$

을 만족하고  $S(i) = R(i) + C(i)P(i)C(i)^T$  을 나타낸다. 위에서 살펴본 칼만필터의 설계수순은 다음과 같다.

- ▶ 상태변수의 초기값에 대한 추정치  $\hat{x}(0)$ , 오차에 대한 공분산행렬  $P(0)$  설정.
- ▶ 칼만필터 계인  $K(i)$  계산(식 (7))
- ▶ 상태변수 추정치  $\hat{x}(i+1)$  의 갱신(식 (6))
- ▶ 리카치방정식(7)을 만족하는 오차공분산  $P(i+1)$  갱신

#### 4. 위치 및 속도 추정

본 절에서는 Fig. 3과 같이 백색잡음을 동반한 위치-속도-가속도( PVA: Position-Velocity-Acceleration)모델의 추정문

제에 칼만필터를 적용하고자 한다. 단, 위치와 속도정보는 측정 가능한 것으로 가정하고  $x_1$  은 물표의 위치,  $x_2 = \dot{x}_1$  는 물표의 속도,  $x_3 = \ddot{x}_1 = \ddot{x}_2$  는 물표의 가속도를 의미한다,

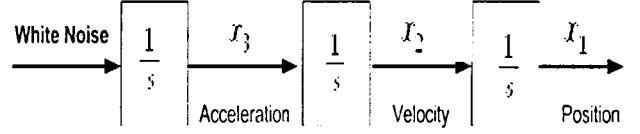


Fig. 3 PVA model with white noise

Fig. 3의 모델은 연속시간영역에서 상태변수를  $x(t) = [x_1, x_2, x_3]^T$  라고 하면

$$\begin{aligned} x &= \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} w := Fx + Gw \\ y &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} x + v \end{aligned} \quad (8)$$

와 같이 표현되고 샘플링 시간  $T$ 로 이산화 하면

$$\begin{aligned} x(i+1) &= \Phi(i)x(i) + \Gamma(i)w(i) \\ y(i) &= C(i)x(i) + v(i) \end{aligned} \quad (9)$$

을 얻을 수 있다. 단,  $\Phi, \Gamma$ 는

$$\Phi = \begin{bmatrix} 1 & T & T^2/2 \\ 0 & 1 & T \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \Gamma = \begin{bmatrix} T^3/6 \\ T^2/2 \\ T \end{bmatrix} \quad (10)$$

와 같이 계산된다.

(9)로 표현되는 이산 시스템에 대하여 (5)를 만족하는 칼만필터 계인  $K(i)$ 를 구하기 위해서는 (7)에서 알 수 있는 바와 같이 프로세스잡음의 공분산행렬  $Q(i)$ 를 구해야 한다. 이와 같은  $Q(i)$ 를 수치적으로 구하는 것은 간단하지가 않다.

본 연구에서는 C. F van Loan(1978)이 제안한 방법을 적용하여  $Q(i)$ 를 구하였다. 연속시간영역의 시스템의 방정식이 (8)과 같이 주어졌다면 먼저

$$A = \begin{bmatrix} -F & GWG^T \\ 0 & F^T \end{bmatrix}, \Delta t \quad (11)$$

를 구한다. 단,  $W$ 는 전력밀도함수(power spectral density)행렬이고  $\Delta t$ 는 샘플링시간( $T$ )를 의미한다. 다음으로 행렬  $A$ 에 대하여

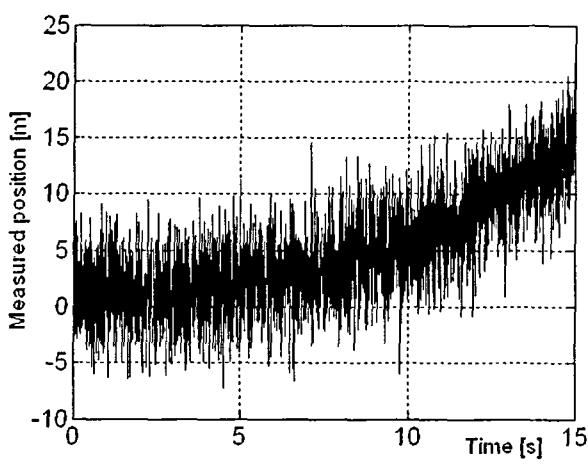
$$B = \exp m(A) = \begin{vmatrix} -\Phi & \Phi^{-1}Q(i) \\ 0 & \Phi^T \end{vmatrix} \quad (12)$$

을 계산하여 상태천이행렬  $\Phi(i)$ 와 프로세스 잡음에 대한 공분산 행렬  $Q(i)$ 를 구한다. 아울러 관측 오차잡음은 화이트 노이즈이고 자기상관(auto-correlation)관계에 의해 정의된다고 가정함으로써 공분산행렬  $R(i)$ 는 대각행렬이 된다.

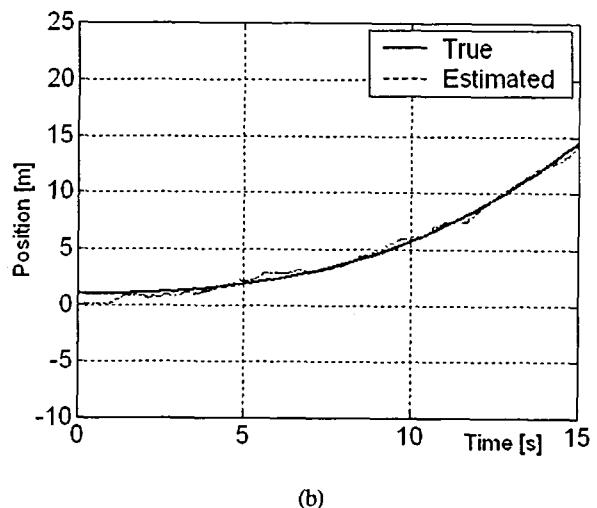
#### 4.1 위치 · 속도 추정 시뮬레이션

Fig. 3으로 주어지는 PVA모델에 대하여 칼만필터 기법을 적용하여 위치와 속도 추정 시뮬레이션을 행하였다. 위치, 속도, 가속도의 초기값 및 추정치의 초기치는 각각  $x(0) = [1, 0, 0]^T$ ,  $\hat{x}(0) = [0, 0, 0]^T$  으로 하였고 샘플링 시간은  $T = 0.005 [s]$ 로 설정하였다. (12)를 이용하여 프로세스잡음에 대한 공분산행렬을 구하고 (7)로부터 칼만필터 계인  $K(i)$ 와 오차에 대한 공분산행렬  $P(i)$ 를 구하여 (6)의 칼만필터에 대입함으로써 위치, 속도 및 가속도의 추정치  $\hat{x}$ 를 구할 수 있게 된다. 상기와 같은 초기값 및 추정 프로세스를 적용하여 행한 시뮬레이션의 결과는 Fig. 4 ~ Fig. 5와 같다.

Fig. 4 (a)는 프로세스 잡음이 있는 상태에서의 물표의 위치 값을 나타내고 있다. Fig. 4 (b)는 칼만필터를 적용하였을 경우의 추정치(점선)와 잡음이 없을 경우의 실제 위치값(실선)을 나타내고 있다. Fig. 4 (a)를 살펴보면 Fig. 4 (b)의 실제 위치값으로부터  $\pm 5 [m]$ 의 변동폭을 가지지만 칼만필터를 적용하여 실제의 위치값에 수렴해 가고 있음을 알 수 있다. Fig. 5 (a)는 프로세스 잡음이 있는 상태에서의 물표의 속도 값을 나타내고 있다. Fig. 5 (b)는 칼만필터를 적용하였을 경우 속도의 추정치(점선)와 잡음이 없을 경우의 실제 속도값(실선)을 나타내고 있다.



(a)



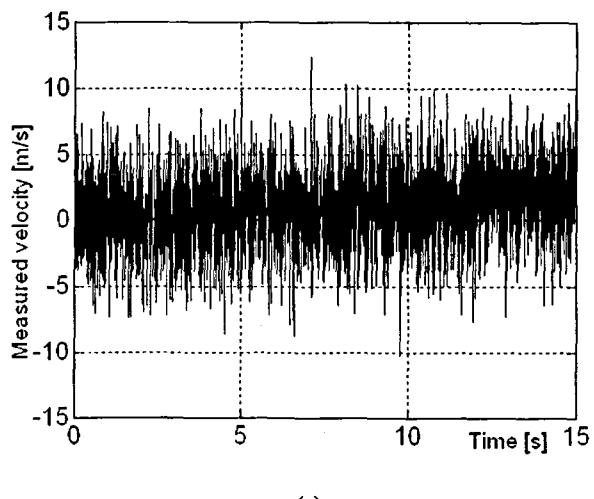
(b)

Fig. 4 Estimation result of position

속도의 추정 결과에 있어서도 위치추정결과와 마찬가지로 양호한 추정특성을 나타나고 있다. Fig. 4 (b), Fig. 5 (b)의 시뮬레이션 결과로부터 시스템 잡음 및 관측 잡음이 있더라도 물체의 위치 및 속도가 양호하게 추정되고 있음을 알 수 있다.

본 논문에서는 물체의 위치 및 속도를 x-y 축의 한 방향만을 전제로 하고 있으나 실제 물표를 추적하기 위해서는 고정좌표(관성좌표)를 기준으로 한 물표의 x-y좌표값에 대한 추정이 필요하다. x-y좌표계에서의 위치 및 속도 추정은 Fig. 3과 같은 PVA모델을 각각 x-y 좌표계에 적용하여 할 수가 있고 물표의 x-y 위치값이 추정되면 기준좌표계로부터의 방위각도 계산할 수 있게 된다.

한편으로는 방위각 변수 자체도 위치 정보에 의해서 도출되는 변수이므로 잡음을 고려하여 출력변수로 설정할 수 있을 것이다.



(a)

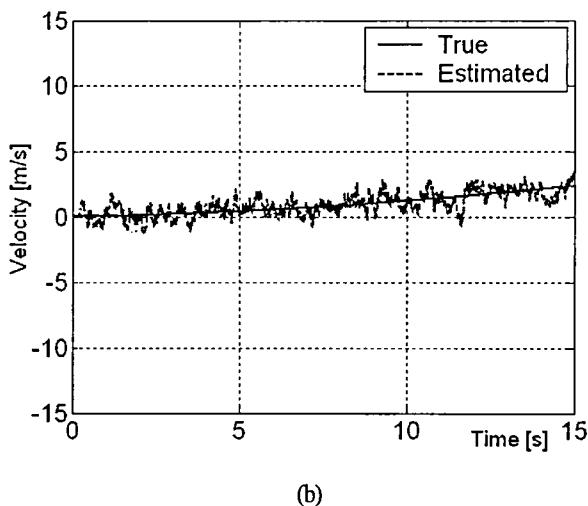


Fig. 5 Estimation result of velocity

## 5. 결 론

본 논문에서는 양식어장 내의 어선에 대하여 F-AIS 및 레이더 신호를 통해 적아를 식별하고 적(盜賊)으로 인식될 경우 목표물에 대한 추적기능(tracking function)을 수행하기 위해 칼만필터를 적용하였다.

레이더로부터 획득한 신호에 포함된 측정잡음(measurement noise)과 시스템 잡음(process noise)이 있는 상태에서 효과적으로 잡음을 억제하고 선박의 정확한 위치정보를 얻어내기 위해 칼만필터를 도입하였다. 가속도의 입력단에 백색잡음이 가해지는 모델에 대하여 위치와 속도를 추정하기 위해 칼만필터를 활용하였고 수치시뮬레이션을 통하여 적용된 알고리즘의 유용성을 확인할 수 있었다.

현재 레이더, 레이더화상처리장치(RSC), 전자해도(ECDIS)를 이용하여 시스템을 구성 중에 있으며 향후의 연구과제로서는 실제 구성된 시스템 내에서 레이더로부터의 신호처리, 목표식별, 물표의 위치 및 속도 추정을 행하고 이러한 데이터를 바탕으로 도적선박의 위험구역 접근에 대한 경보를 발생시키는 알고리즘을 실장하는 것이다.

## 참 고 문 현

- [1] R. G. Brown, P. Y. C. Hwang (2004), Introduction to random signals and applied kalman filtering, WILEY.
- [2] 정중식, 김철승, 박성현, 김우숙, 안영섭 (2004), 양식어장 보호를 위한 레이더 감시시스템의 구축방안에 관한 연구, 한국항해항만학회 추계학술대회 논문집, pp. 103-109.
- [3] 남택근, 임정빈, 정대득, 양원재, 안영섭 (2004), 양식어장 보호를 위한 어장탐지시스템 개발에 관한 연구, 한국항해항만학회 추계학술대회 논문집, pp. 99-101.
- [4] M. Tsutomu (1998), Digital Control Theory, Shoukodo.
- [5] M. Oussalah, J. D. Schutter (2000), Possibilistic kalman filtering for radar 2D tracking, ELSEVIER, Information Sciences, vol. 130, pp. 85-107.
- [6] C. F. van Loan (1978), Computing integral s involving the matrix exponential, IEEE Trans. Automatic Control, vol. 23, no. 3, pp.395-404.
- [7] J. van Bergeijk (1998), Digital filters to integrate global positioning system and dead reckoning, Journal of agric. Engineering Research, vol. 70, pp. 135-143.
- [8] P. S. Maybeck (1978), Stochastic models, estimation and control, Academic press.
- [9] H. Gu (2002), Radar angle-tracking system for multiple moving targets, IEE Proc. Radar Sonar Navigation, vol. 149, no.1 , pp. 23-27.
- [10] K. Hirano, K. Inoue, H. Usui (2005), Identification of vessel traffic information based on radar echo images and use on land, Journal of Japan Institute of Navigation, no. 111, pp. 235-242.
- [11] J. C. Yoo, Y. S. Kim (2003), Alpha-beta tracking index tracking filter, ELSEVIER, Signal Processing, vol. 83, pp. 169-180.