

IMM 알고리즘의 모드 계수 갱신 방법을 통한 레이돔 굴절률 추정

김영모* · 백주훈**

Radome Slope Estimation using Mode Parameter Renewal Method of IMM Algorithm

Young-Mo Kim* · Ju-Hoon Back**

요약

항공기 전면에 장착되는 레이돔은 표적을 탐색 및 추적하는 데에 있어서 기동 중에 발생하는 다양한 이유로 굴절오차를 야기할 수 있다. 이러한 굴절오차는 마이크로파 탐색기가 허상표적을 탐지하고 있는 것을 의미한다. 3차원 공간상에서 항공기에 장착된 레이돔의 굴절률을 추정하는 목적으로 일반적으로 알려진 상호작용 다중모델(Interactive Multiple Model, IMM) 알고리즘을 적용한다. 하지만, 레이돔 굴절률과 같은 불확실한 시스템 모델의 계수를 추정할 수 있음에도 예측값의 범위를 벗어날 때에는 추정 성능을 보장할 수 없다. 본 논문에서는 레이돔 굴절률의 예측값을 IMM 알고리즘의 모드 계수로 두고 예측값을 갱신하는 방법을 제안하며, 제안한 방법의 레이돔 굴절률 추정 성능을 확인한다.

ABSTRACT

A radome mounted on the front of an aircraft can cause refraction errors for various reasons that occur during maneuver in seeking and tracking a target. This refraction error means that the microwave seeker is detecting apparent target. An Interactive Multiple Model (IMM) algorithm is applied to estimate radome slope mounted on an aircraft in 3D space. However, even though the parameter of uncertain system model such as radome slope can be estimated, the estimated performance can not be guaranteed when it exceeds the range of the predicted value. In this paper, we propose a method to update the predicted value by using the radome slope as the mode parameter of the IMM algorithm, and confirm the radome slope estimation performance of the proposed method.

키워드

Radome Slope, Line of Sight, IMM Algorithm, Kalman Filter
레이돔 굴절률, 시선각, IMM 알고리즘, 칼만 필터

1. 서론

항공기 전면에 있는 레이돔은 레이더 안테나를 외부 환경으로 보호하고 공기저항을 최소화하기 위해 장착된다. 레이돔은 온도변화, 진동, 노후에 따른 형상

변형 등의 이유로 송신되거나 수신되는 전자파를 반사, 굴절, 산란시킴으로써 탐색기가 실제 표적의 위치와 다른 곳을 바라보게 되는 조준 오차(Boresight Error)라고 불리는 시선각 오차(Line of sight angle)를 발생하게 한다[1]. 이러한 시선각 오차는 특히 표

* 광운대학교 로봇학과(speedprinse@naver.com)

** 교신저자 : 광운대학교 로봇학과

• 접수일 : 2017. 09. 07

• 수정완료일 : 2017. 10. 02

• 게재확정일 : 2017. 10. 18

• Received : Sep 07, 2017, Revised : Oct 02, 2017, Accepted : Oct 18, 2017

• Corresponding Author : Ju-Hoon Back

Dept. Robotics, Kwangwoon University

Email : backhoon@kw.ac.kr

적 탐지 성능에 많은 영향을 미칠 수 있으므로 변화하는 굴절률 보상과 관련된 여러 연구가 진행되어 왔다[2]. 1988년 Bar Shalom은 서로 다른 모델을 활용한 2가지 이상의 거동 패턴을 가지는 물체를 추적할 수 있는 IMM 알고리즘을 제안하였다[3]. IMM 알고리즘은 사전에 선정한 불확실한 계수의 예측값들로부터 설계된 다수의 필터들로 구성된다. 이를 통해, 상태변수의 추정뿐 아니라 시스템 모델 계수의 추정이 가능해졌음에도 불구하고 불확실한 계수의 실제값이 예측값의 범위를 벗어날 경우에는 IMM 알고리즘의 추정 성능을 보장할 수 없게 된다.

본 논문에서는 레이돔 굴절률의 변화를 여러 거동 패턴으로 보고 IMM 알고리즘을 적용함으로써 굴절률 추정이 가능함을 확인한다. 또, 굴절률의 실제값이 예측값의 범위를 벗어날 경우에 모드 계수를 갱신하는 방법을 제안하고 모의실험을 통해 굴절률 추정 성능을 확인한다.

II. 레이돔 굴절률 추정

2.1 시스템 모델링

항공기의 탐색기가 표적을 탐지하는 상황을 그림1과 같이 3차원 좌표계로 표현할 수 있다.

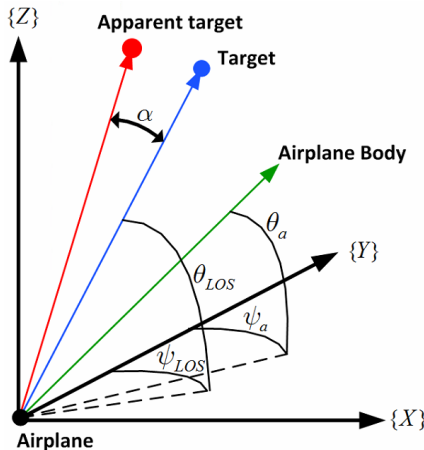


그림 1. 항공기와 표적의 좌표계
Fig. 1 Coordinate system of planes and targets

그림 1에서 3차원 공간상에서 항공기의 자세각(ψ_a, θ_a)과 표적을 바라보는 시선각(ψ_{LOS}, θ_{LOS}), 레이돔 굴절률(R_ψ, R_θ)은 방위각과 고도각에 대해 표현된다. 탐색기는 레이돔의 영향으로 표적이 아닌 허상표적을 바라보게 되는데, 표적과 허상표적 사이의 각도(공간상 굴절오차 α)를 시선각과 굴절률로 계산할 수 있다.

$$\alpha = \cos^{-1}(\cos(R_\theta(\theta_{LOS} - \theta_a))\cos(R_\psi(\psi_{LOS} - \psi_a)))$$

항공기와 표적의 거동은 상대거리(x, y, z)와 상대속도($\dot{x}, \dot{y}, \dot{z}$), 표적의 가속도 A_T 를 상태변수로 정할 때, 기동 표적의 시상수 τ 와 함께 항공기의 가속도 A_a 를 입력 U 로 하는 상대공간방정식으로 정리된다[4].

$$\begin{aligned} \dot{X} &= AX(t) + BU(t) + DW(t) \\ X &= (x, y, z, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z}, A_{Tx}, A_{Ty}, A_{Tz})^T \\ W(t) &= (w_x, w_y, w_z)^T \\ A &= \begin{bmatrix} 0_3 & I_3 & 0_3 \\ 0_3 & 0_3 & I_3 \\ 0_3 & 0_3 & -(1/\tau)I_3 \end{bmatrix} \\ B &= \begin{bmatrix} 0_3 \\ -I_3 \\ 0_3 \end{bmatrix}, \quad D = \begin{bmatrix} 0_3 \\ 0_3 \\ (1/\tau)I_3 \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (1)$$

측정값 Z_k 은 상대거리와 방위각, 고도각에 대해 표현되며, 레이돔의 영향과 측정 잡음이 포함된다.

$$Z_k = \begin{bmatrix} z_R \\ z_\psi \\ z_\theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} + \nu_R \\ \psi_{LOS} + R_\psi(\psi_{LOS} - \psi_a) + \nu_\psi \\ \theta_{LOS} + R_\theta(\theta_{LOS} - \theta_a) + \nu_\theta \end{bmatrix} \quad (2)$$

여기서, 모델 잡음(w_x, w_y, w_z)과 측정 잡음($\nu_R, \nu_\psi, \nu_\theta$)은 영 평균 가우시안 분포를 따른다고 가정한다. 측정값 Z_k 은 구 좌표계에서 표현되는 형태를 가지는데 본 논문에서 적용하는 IMM 알고리즘을 선형 칼만 필터들로 구성하기 위해 직각좌표계로 표현되는 의사 측정값 Y_k 를 사용할 필요가 있다[5].

$$Y_k = \begin{bmatrix} z_R \cos(z_\theta) \cos(z_\psi) \\ z_R \cos(z_\theta) \sin(z_\psi) \\ z_R \sin(z_\theta) \end{bmatrix} \quad (3)$$

2.2 굴절률 추정을 위한 IMM 알고리즘

2.2.1 칼만 필터

칼만 필터는 잡음이 포함된 선형 시스템의 상태 변수를 효과적으로 추정하는 재귀 필터로 알려져 있다 [4-6]. 칼만 필터는 표 1과 같이 예측(prediction) 단계와 보정(correction) 단계로 구성되어 있다.

표 1. 칼만 필터 알고리즘
Table 1. Kalman Filter Algorithm

Predict
$\hat{x}_{k k-1} = A\hat{x}_{k-1 k-1} + Bu_k$ $P_{k k-1} = AP_{k-1 k-1}A^T + Q$
Correction(update)
$\bar{y}_k = z_k - C\hat{x}_{k k-1}$ $S_k = CP_{k k-1}C^T + R$ $K_k = P_{k k-1}C^TS_k^{-1}$ $\hat{x}_{k k} = \hat{x}_{k k-1} + K_k\bar{y}_k$ $P_{k k} = (I - K_kC)P_{k k-1}$

아래첨자 k 는 이산시간 모델의 샘플링 단계를 의미하며, 예측 단계와 보정 단계를 통하여 계산된 시선각의 추정 값은 \hat{x} 에 해당한다. 칼만 이득 K_k 를 갱신하기 위한 공분산 행렬 Q 와 R 은 잡음을 영-분포 가우시안 형태로 가정했을 때 각각 시스템 모델 잡음과 측정 잡음의 공분산 행렬이다[6][7].

칼만 필터를 통해 시스템 모델 잡음과 측정 잡음을 효과적으로 제거하고 상태 변수를 추정할 수 있는 것으로 알려져 있다. 레이돔 추정 모델에서는 칼만 필터를 통해 상태 변수로 정의한 상대위치를 추정할 수 있으며 이는 시선각을 추정할 수 있다는 것을 의미한다. 하지만, 레이돔 굴절률과 같이 정확한 값을 알 수 없고 심지어 시간에 따라 변화하는 계수가 있어서 시스템 모델에 불확실성이 존재할 때 단일 칼만 필터로는 상태 변수 추정 성능을 보장할 수 없다.

2.2.2 IMM 알고리즘

IMM 알고리즘은 상이한 모델을 기반으로 하는 n 개의 필터들로부터 상태 추정을 하는 필터로, 단일 칼만 필터로는 극복하기 어려운 모델 불확실성에 대

한 강인성을 향상시킬 수 있다. 레이돔 굴절률 추정을 위해 표 2와 같이 흔히 알려진 IMM 알고리즘을 적용하였다[8].

표 2. IMM 알고리즘
Table 2. IMM Algorithm

Calculation of the mixing probabilities
$\mu_{k-1 k-1}^{ij} = \frac{1}{c} p^{ij} \mu_{k-1}^i, \quad \bar{c}^j = \sum_{i=1}^r p^{ij} \mu_{k-1}^i$
Mixing
$\hat{x}_{k-1 k-1}^{0j} = \sum_{i=1}^r \hat{x}_{k-1 k-1}^i \mu_{k-1}^{ij}$ $P_{k-1 k-1}^{0j} = \sum_{i=1}^r \mu_{k-1 k-1}^{ij} P_{k-1 k-1}^i + [\hat{x}_{k-1 k-1}^i - \hat{x}_{k-1 k-1}^{0j}] \cdot [\hat{x}_{k-1 k-1}^i - \hat{x}_{k-1 k-1}^{0j}]^T$
Mode matched filtering
$A_k^j = \frac{1}{\sqrt{ 2\pi S_k^j }} e^{[-0.5(Z_k^j)^T (S_k^j)^{-1} (Z_k^j)]}$ $Z_k^j = z_k^j - \hat{z}_k^j, \quad S_k^j = C^j P^{0j} (C^j)^T + Q$
Mode probability update
$\mu_k^j = \frac{1}{c} A_k^j \bar{c}^j, \quad c = \sum_{j=1}^r A_k^j \bar{c}^j$
Estimate and covariance combination
$\hat{x}_{k k} = \sum_{j=1}^r \mu_k^j \hat{x}_{k k}^j$ $P_{k k} = \sum_{j=1}^r \mu_k^j \{ P_{k k}^j + [\hat{x}_{k k}^j - \hat{x}_{k k}] [\hat{x}_{k k}^j - \hat{x}_{k k}]^T \}$

p^{ij} 는 상태전이확률행렬 P 의 구성인자로써 각 필터에서 추정하는 상태의 천이확률을 나타낸다. μ^{ij} 는 모드 i 에서 j 로 천이될 확률의 정규화된 값을 의미한다. IMM 알고리즘을 구성하는 각각의 칼만 필터에서는 innovation Z^j 와 innovation covariance S^j 로부터 우도함수 Λ 를 계산하며, 모드확률 μ^j 은 각 칼만 필터에서 계산된 우도 함수 Λ 를 가중치로 계산된다. 모드확률 μ^j 은 어느 필터가 실제값과 가깝게 추정하는지를 판단할 수 있는 척도가 된다. IMM 알고리즘에서는 모드확률 μ^j 을 이용해 시스템 모델 계수의 예측값들과 가중 평균으로 추정결과를 만들어낸다. IMM 알고리즘을 이용하면 시스템 모델의 상태변수를 추정할 수

있을 뿐 아니라 시스템 모델의 계수도 추정할 수 있다. IMM 알고리즘으로 실제 시스템 모델을 추정할 수 있어서 단일 칼만 필터에 비해 시스템 모델의 계수가 불확실성을 가질 때 더 나은 상태변수 추정 성능을 기대할 수 있다.

본 논문에서는 레이돔 굴절률을 불확실성을 가지는 시스템 모델의 계수로 두고 예측값들을 선정한다. 예측값들로부터 설계된 다수의 칼만 필터로 IMM 알고리즘을 구성하여 시간에 따라 변화하는 레이돔 굴절률을 추정하는 문제를 다룬다.

2.3 모드 계수 갱신 방법

IMM 알고리즘을 이용한 시스템 모델 계수 추정 문제에서 추정하려는 계수의 실제값이 예측값의 범위를 벗어날 때 계수 추정 성능이 크게 떨어지는 문제가 있다. 레이돔 굴절률을 추정하는 관점에서 보면, 굴절률은 항공기가 기동 중에 발생하는 예기치 못한 이유로 시간에 따라 변화하며 예측값의 범위를 벗어날 수 있다. 굴절률의 추정 성능 역시 크게 떨어질 수 있으므로 IMM 알고리즘의 이러한 단점을 보완하기 위해 식(4)와 같은 모드계수 갱신 방법을 제안한다.

$$\begin{cases} \bar{R}_{\psi,k} = K_p(\hat{R}_{\psi,k-1} - \bar{R}_{\psi,k-1}) \\ \bar{R}_{\theta,k} = K_p(\hat{R}_{\theta,k-1} - \bar{R}_{\theta,k-1}) \\ \bar{R}_{\psi,k}^a = \bar{R}_{\psi,k-1}^a + \bar{R}_{\psi,k}^a, (a=1,2,\dots,n_\psi) \\ \bar{R}_{\theta,k}^b = \bar{R}_{\theta,k-1}^b + \bar{R}_{\theta,k}^b, (b=1,2,\dots,n_\theta) \end{cases} \quad (4)$$

방위각과 고도각에 대한 예측값들을 \bar{R}_{ψ}^a 와 \bar{R}_{θ}^b , 예측값들의 평균을 \bar{R}_{ψ} 와 \bar{R}_{θ} , 굴절률의 추정값을 \hat{R}_{ψ} 와 \hat{R}_{θ} 로 표현할 때, 이전 시점 $k-1$ 에서 굴절률 추정값과 예측값 평균의 차이를 계산하고, 비레이득 K_p 을 곱하여 새로운 예측값 평균을 계산한다. 현재 시점 k 의 새로운 예측값들은 기존 예측값들과 새롭게 계산된 예측값 평균을 합함으로서 계산된다. 이는 예측값 평균과 굴절률의 추정값의 차이가 커질수록 예측값들이 크게 갱신되는 것을 의미한다.

III. 모의실험

3.1 모의실험 설정

항공기와 표적이 10[km] 떨어진 위치에서 항공기는 300[m/s], 표적은 600[m/s]의 속력으로 이동 중인 상황을 가정한다. 표적은 y 축과 z 축에 대해 각각 중력가속도 1g만큼의 가속도로 기동한다. 그림 2에서 표적이 동체좌표계를 기준으로 작용하는 가속도로부터 회피기동을 하는 모습이 보인다. 하지만 레이돔 굴절률의 영향과 측정 잡음의 영향으로 허상표적의 궤적이 나타난다. 실제 굴절률이 식(5)와 같을 때, 참 시선각(실선)과 시선각의 측정값(점선) 오차가 60[s] 동안 $\pm 2^\circ$ 정도 발생하는 것을 그림 3에서 볼 수 있다.

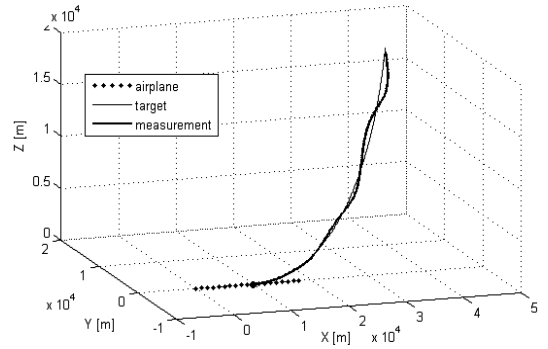


그림 2. 항공기와 표적, 허상표적(측정값)
Fig. 2. Airplane, Target, Apparent Target(Measurement)

$$\begin{cases} R_{\psi} = 0.05\sin(0.03\pi t - 0.25\pi) \\ R_{\theta} = 0.05\sin(0.03\pi t) \end{cases} \quad (5)$$

레이돔 굴절률의 예측값의 범위는 ± 0.05 , 개수는 방위각과 고도각에 각 7개씩 동일한 간격을 가지도록 식(6)을 이용해 선정한다. 선정된 예측값들의 경우의 수 조합으로 49개의 칼만 필터가 구성된다.

$$\begin{aligned} \bar{R}_{\psi}^a &= \min \bar{R}_{\psi}^a + (a-1) \frac{\max \bar{R}_{\psi}^a - \min \bar{R}_{\psi}^a}{n_{\psi} - 1} \\ \bar{R}_{\theta}^b &= \min \bar{R}_{\theta}^b + (b-1) \frac{\max \bar{R}_{\theta}^b - \min \bar{R}_{\theta}^b}{n_{\theta} - 1} \end{aligned} \quad (6)$$

$(a = 1, 2, \dots, n_{\psi}, b = 1, 2, \dots, n_{\theta})$

이때, 모델 잡음(w_x, w_y, w_z)과 측정 잡음($\nu_R, \nu_\psi, \nu_\theta$)은 영 평균 가우시안을 따른다고 가정한다.

$$w_x \sim N(0,1), w_y \sim N(0,1), w_z \sim N(0,1)$$

$$\nu_R \sim N(0,10^{-6}), \nu_\psi \sim N(0,10^{-6}), \nu_\theta \sim N(0,10^{-6})$$

3.2 IMM 알고리즘의 굴절률 추정 성능 확인

방위각에 대한 레이돔의 굴절률(청)과 고도각에 대한 레이돔의 굴절률(적)이 시간에 따라 변할 때 그림 3과 같이 굴절률을 추정한다. 공간상 굴절오차는 굴절률과 시선각으로부터 계산된 것으로 시선각의 추정뿐 아니라 굴절률의 추정 성능이 공간상의 굴절오차의 결과로 나타나는데 가정된 모의실험 상황에서 공간상의 굴절오차를 그림 4와 같이 0.5° 이내로 추정한다.

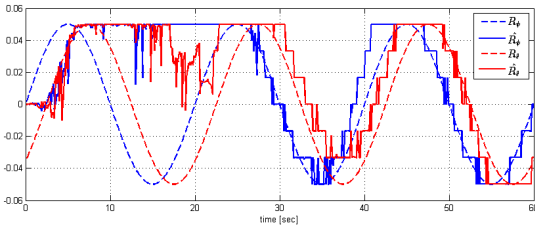


그림 3. 굴절률 추정1
Fig. 3 Radome Slope Estimation

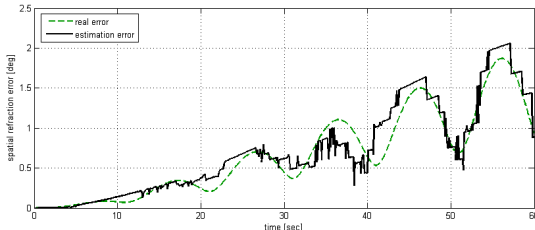


그림 4. 공간상 굴절오차 추정1
Fig. 4 Spatial Refraction Error Estimation

3.3 제안하는 방법의 굴절률 추정 성능 확인

하지만 IMM 알고리즘을 적용한 경우에는 시스템 모드 계수가 시간에 따라 변하고 예측값의 범위를 벗어날 때 굴절률의 추정성능이 떨어지게 되는 한계가 존재한다. 레이돔 굴절률의 실제값이 식(7)처럼 예측값의 범위를 벗어나는 상황에서 IMM 알고리즘의 추정 성능은 그림 5, 그림 6과 같이 나타난다.

$$\begin{cases} R_\psi = 0.08\sin(0.03\pi t - 0.25\pi) \\ R_\theta = 0.08\sin(0.03\pi t) \end{cases} \quad (7)$$

그림 5와 같이 레이돔 굴절률의 실제값이 예측값의 범위를 벗어나는 경우에는 IMM 알고리즘의 굴절률 추정 성능이 크게 감소하는 것을 볼 수 있다. 레이돔 굴절률의 추정성능이 떨어진다는 것은 시선각 추정에도 문제가 발생하고 공간상 굴절오차도 추정하지 못하는 것을 의미한다. 그림 6과 같이 IMM 알고리즘의 한계점을 모의실험을 통해 확인할 수 있다.

본 논문에서 제안하는 모드 계수 갱신방법을 적용한 결과는 그림 7과 그림 8이다. 모드 계수 갱신 방법은 비례 이득 K_p 을 0.45로 선정하여 적용하였다. 그림 7에서는 초기에 모드 계수를 ± 0.05 에서 선정하였음에도 추정값으로부터 ± 0.07 정도까지 갱신되어 굴절률을 추정하고 그림 8과 같이 공간상의 굴절오차도 추정하는 것을 확인할 수 있을 뿐 아니라 예측값들이 갱신되는 것을 그림 9를 통해 확인할 수 있다.

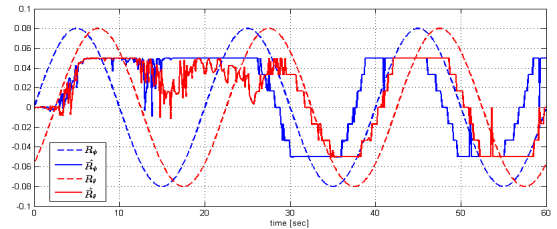


그림 5. 굴절률 추정2
Fig. 5 Radome Slope Estimation

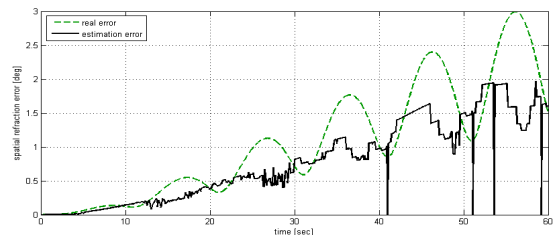


그림 6. 공간상 굴절오차 추정2
Fig. 6 Spatial Refraction Error Estimation

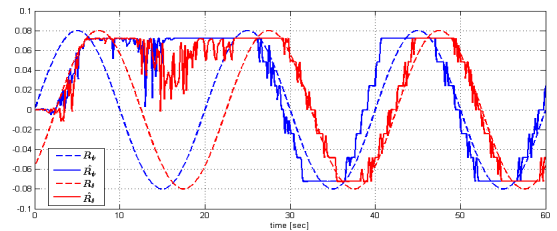


그림 7. 굴절률 추정3
Fig. 7 Radome Slope Estimation

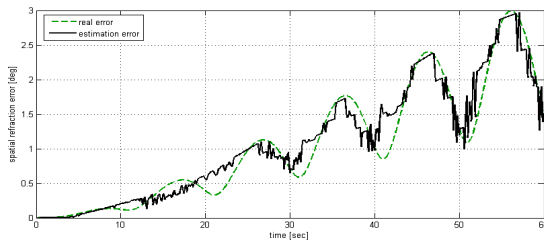


그림 8. 공간상 굴절오차 추정
Fig. 8 Spatial Refraction Error Estimation

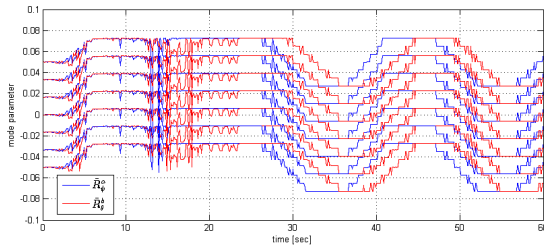


그림 9. 모드 계수 갱신
Fig. 9 Mode Parameter Renewal

V. 결론

IMM 알고리즘을 이용하면 잡음을 제거하고 상태 변수를 추정할 수 있을 뿐 아니라 시스템 모델의 불확실성을 가지는 계수도 추정할 수 있다. 본 논문에서는 항공기와 표적 간에 측정모델의 레이돔 굴절률을 불확실한 계수로 두고 예측값들을 선정하여 굴절률이 시간에 따라 변화하는 경우에 기존에 알려진 IMM 알고리즘을 적용하여 굴절률의 추정 성능을 확인하였다. 또한 시스템 모델 계수의 실제값이 예측값 범위를 벗어날 경우 추정성능이 크게 떨어지는 IMM 알고리즘의 한계를 극복하기 위해 모드 계수 갱신 방법을 제안하였으며 모의실험을 통해 굴절률 추정 성능을 확인해보았다.

모드 계수 갱신 방법을 적용하면, 굴절률의 실제값이 예측값의 범위를 벗어나더라도 예측값들을 매순간 갱신하여 시간에 따라 변하는 굴절률을 추정할 수 있게 된다. IMM 알고리즘을 적용할 때 계수의 실제값이 변하는 범위를 사전에 고려해서 예측값을 선정하지 않아도 계수 추정성능을 보장할 수 있을 것으로 기대되며 관련된 추가적인 연구를 진행할 계획이다.

본 연구는 국방과학연구소(계약번호 UD160001 FD)의 연구비 지원에 의한 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

References

- [1] J. Mun and S. Hwang, "Input Signal Model Analysis for Adaptive Beamformer," *J. of the Korea Institute of Electronic communication Sciences*, vol. 12, no. 3, 2017, pp. 433-438.
- [2] A. Bhattacharyya, P. Tiwari, P. Vora, and R. Bhattacharjee, "In Flight Radome Error Compensation Through Simulated Test Data," *American Institute of Aeronautics & Astronautics Guidance, Navigation, and Control Conference and Exhibit Conf*, San Francisco, USA, Aug. 2005.
- [3] Y. Bar Shalom, X. Rong Li, and T. Kirubarajan. *Estimation with Applications to Tracking and Navigation*. New York: WILEY 2001.
- [4] Y. Min, "Comparative Study on Classical Control and Modern Control via Analysis of Circuit-based Time Response," *J. of the Korea Institute of Electronic communication Sciences*, vol. 12, no. 4, 2017, pp. 575-584.
- [5] T. Song, D. Lee, and S. Shin, "Active homing performance enhancement with multiple model radome slope estimation," *Proc. of the Institution of Mechanical Engineers, Part G: J. of Aerospace Engineering*, Providence, USA, vol. 219, no. 3, Aug. 2004, pp. 217-224.
- [6] Y. Jeong and S. Hong, "A Study on real time Gaze Discrimination Using Kalman Filter," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 5, no. 4, 2010, pp. 399-405.
- [7] Y. Moon, Y. Seo, N. Ko, S. Roh, and J. Park, "Robot Design for Fire Detection and Data Processing," *J. of the Korea Institute of Electronic communication Sciences*, vol. 5, no. 1, 2010, pp. 31-36.
- [8] F. Genovese, "The Interacting Multiple Model AI

gorithm for Accurate State Estimation of Maneu-
vering," *JOHNS HOPKINS APL TECHNICAL DIG-
EST*, vol. 22, no. 4, Oct. 2001, pp. 614-623.

저자 소개



김영모(Young-Mo Kim)

2015년 광운대학교 로봇학부 정
보제어전공 졸업(공학사)
2017년 광운대학교 대학원 로봇
학과 졸업(공학석사)

※ 관심분야 : 선형시스템 분석/제어, 확률 필터



백주훈(Ju-Hoon Back)

1997년 서울대학교 기계설계학과
졸업 (학사)
1999년 서울대학교 대학원 기계
설계학과 졸업 (석사)

2004년 서울대학교 대학원 전기공학부 졸업 (박사)
2008년 광운대학교 로봇학부 교수

※ 관심분야 : 비선형 제어, 다개체 시스템, 최적
추정, 신재생 에너지

