논문 2011-06-03

αβ 필터 및 NNPDA 알고리즘을 이용한 차량용 레이더 표적 추적 시스템 설계

(An Automotive Radar Target Tracking System Design using αβ Filter and NNPDA Algorithm)

배 준 형*, 현 유 진, 이 종 훈
(Junhyung Bae, Eugin Hyun, Jong-Hun Lee)

Abstract : Automotive Radar Systems are currently under development for various applications to increase accuracy and reliability. The target tracking is most important in single or multiple target environments for accuracy. The tracking algorithm provides smoothed and predicted data for target position and velocity(Doppler). To this end, the fixed gain filter(αβ filter, αβγ filter) and dynamic filter(Kalman filter, Singer-Kalman filter, etc) are commonly used. Gating is used to decide whether an observation is assigned to an existing track or new track. Gating algorithms are normally based on computing a statistical error distance between an observation and prediction. The data association takes the observation-to-track pairings that satisfied gating and determines which observation-to-track assignment will actually be made. For data association, NNPDA(Nearest Neighbor Probabilistic Data Association) algorithm is proposed. In this paper, we designed a target tracking system developed for an Automotive Radar System. We show the experimental results of the 77GHz FMCW radar sensor on the roads. Four tracking algorithms(αβ filter, αβγ filter, 2nd order Kalman filter, Singer-Kalman filter) have been compared and analyzed to evaluate the performance in test scenario.

Keywords : Automotive radar, Target tracking, Data association, FMCW radar

1. 서 론

미래형 자동차의 큰 이슈 중 하나가 안전이다. 전방의 차량 또는 장애물을 감지한 후 충돌 상황을 운전자에게 경고하고 안전벨트 등을 자동으로 조작하여 충돌을 방지하는 사전 충돌 방지(Pre-crash Safety, PCS) 시스템, 전방 차량의 상대 속도를 감지하여 사고 가능성이 높을 경우, 엑셀, 브레이크, 조향 장치 등을 자동으로 조정하여 사고를 미리 막는 충돌 회피 시스템(Collision Avoidance System, CAS), 전방 차량과의 거리를 일정하게 유지하고 긴급 상황에서 비상제동을 가능하게 하는 적응 순항 제어(Adaptive Cruise Control, ACC) 시스템 등이 안전한 미래형 자동차를 위해 필요한 시스템이다[1].

능동 안전을 위한 외부 환경 인식 센서로 카메라, 광선레이더(LIDAR), 초음파, 레이더(RADAR) 등이 있다. 광선 레이더는 정확성이 아주 뛰어나다는 장점이 있지만, 날씨 변화에 따라 성능이 달라진다는 단점이 있다. 카메라는 차선인식, 전방 물체 감지, 후방 물체 감지 등 다양하게 활용되고 있지만 역시 날씨 변화에 강인하지 못하다. 초음파는 차량의 후방 감지 센서로 활용되고 있지만, 감지 거리가 짧아 다른 용도로 활용하기 어렵다. 이에 반해 레이더는 카메라, 광선 레이더와 달리 날씨 변화에 영향을 적게 받아 적응 순항 제어 시스템을 위한 센서로 많이 응용되고 있다.

* 교신저자(Corresponding Author)
논문접수 : 2010. 11. 02., 수정일: 2010. 11. 20., 2010. 12. 14., 채택확정 : 2010. 12. 15
배준형 : 대구경북과학기술원 연구원
현유진, 이종훈 : 대구경북과학기술원 선임연구원
※ 본 논문은 교육과학기술부 기관고유과제의 연구 결과입니다.

차량용 레이더 시스템은 크게 FEM(Front-end Module)과 BEM(Back-end Module)로 나누어진다[2-3]. FEM의 경우 안테나와 RF 송수신단를 포함한다. BEM의 경우 다시 신호 처리단(Signal Processing Part)과 데이터 처리단(Data Processing Part)으로 나누어진다. 신호 처리단은 레이더의 RF단으로부터 수신된 신호를 각종 알고리즘을 이용하여 표적의 거리 및 속도를 추출하는 탐지 기능을 담당한다. 이 때 레이더 신호처리 과정에서 오류 탐지(False Detection) 신호와 잡음 및 기타 외부 환경에 의해 누락된 신호가 발생하게 되면 레이더 시스템의 전체 성능을 저하 시킬 수 있다. 따라서 오류 탐지 신호와 잡음 및 기타 외부 환경에 의해 누락된 신호로부터 표적의 상태를 정확히 추정하기 위하여 데이터 처리 과정이 필요하며 이는 추적 필터를 통해 구현된다.

일반적으로 추적 필터는 동적 이득 필터 Dynamic Gain Filter)와 고정 이득 필터(Fixed Gain Filter)로 나누어진다. 대표적인 동적 이득 필터로 칼만 필터(Kalman Filter)가 있으며 이를 기반으로 하는 다양한 필터링 기술이 추적 시스템에 응용되어 왔다. 하지만 신호처리 및 데이터처리의 실시간성을 요구하는 차량용 레이더의 경우 보다 계산량이 적은 필터 구현이 요구된다. 대표적인 고정 이득 필터로 $\alpha\beta$ 필터가 있으며 이를 이용하면 동적 이득 필터보다 적은 계산량으로 비슷한 성능을 낼 수 있다. 단, $\alpha\beta$ 필터의 경우 차량의 움직임이 선형이고 측정 잡음이 백색 가우시안 분포일 때만 적용 가능한 필터이다.

일반적으로 탐지를 담당하는 신호처리단의 탐지 주기는 아주 짧고, 이는 결국 추적 기능을 담당하는 데이터처리단의 입력 데이터 샘플링 주기가 아주 짧다는 것을 의미한다. 따라서 차량의 움직임은 짧은 샘플링 주기로 인해 선형으로 볼 수 있고, 이는 결국 최적의 고정 이득 계수로 추적 가능한 $\alpha\beta$ 필터를 이용하여 추적 시스템을 구현 할 수 있다고 판단된다.

본 논문에서는 고정 이득 필터를 이용한 표적 추적 시스템을 설계하고 시뮬레이션을 통해 성능 및 안정도를 검증하였고 동적 이득 필터와 성능을 비교하였다. 또한 77GHz FMCW (Frequency Modulated Continuous Wave) 레이더의 실측 데이터를 이용하여 성능을 검증하였다.

본 논문의 2장에서는 추적 시스템 개요에 대해 설명을 하였고, 3장에서는 모델링된 필터를 이용한 성능 및 안정도 검증과 실측 레이더 데이터를 필터링한 결과를 나타내었으며, 4장에서 결론 및 향후 계획을 논하였다.

II. 추적 시스템의 개요

1. 개요

먼저 그림 1은 차량용 레이더의 표적 추적 시스템을 나타내고 있다.

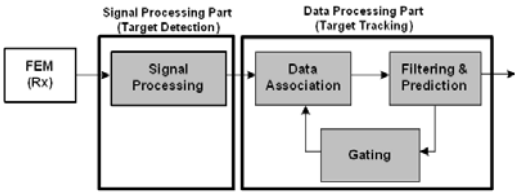


그림 1. 차량용 레이더의 표적 추적 시스템
Fig. 1. Target tracking system for automotive radar

우선 신호 처리단으로부터 표적이 탐지되면 표적 정보를 확인 및 초기화하고 추적 필터를 통한 예측된 값(이를 '예측치'라 함)과 레이더를 통해 탐지된 측정값(이를 '측정치'라 함) 사이의 관계로 표적 상태의 추정값(이를 '추정치'라 함)을 구하게 된다. 이러한 과정을 필터링 및 예측(Filtering & Prediction)이라고 한다.

클러터 환경에서 원하는 표적의 추정치를 얻기 위하여 게이팅(Gating) 및 데이터 연관(Data Association) 알고리즘을 적용한다. 게이팅(Gating)이란 어떤 측정치가 이미 기존에 존재하는 트랙인지 아니면 신생 트랙에 속하는지 결정하기 위해 범위를 설정하는 것을 말한다. 게이트는 예측치에 의해 형성이 되고 게이트 내 측정치들이 트랙의 갱신에 이용된다. 데이터 연관은 게이팅 검사를 통과한 측정치들을 사용하여 이를 트랙에 배정하는 작업이다. 이러한 표적과 측정치와의 연관 문제를 해결하기 위하여 많은 알고리즘들이 개발되어 왔다.

그 중 NN(Nearest Neighbor) 알고리즘, PDA(Probabilistic Data Association) 알고리즘, 그리고 JPDA(Joint Probabilistic Data Association) 알고리즘 등이 클러터 환경 내 단일/다중 표적 추적에 많이 사용되어 왔다[4,5]. 가장 일반적으로 많이 사용되는 NN알고리즘은 주어진 한 개의 트랙에 예측치와 가장 가까운 유효 측정치를 추적 필터에 반

영하는 방법이다. NN 알고리즘이 예측치에 가장 근접한 측정치를 트랙에 배정하는 반면, PDA 및 JPDA 알고리즘은 게이트 내 모든 측정치들을 모두 사용하여 가설 확률(Hypothesis Probability)로 계산된 가중치를 각 측정치에 곱하여 모두 합한 값으로 트랙을 갱신하는 방법이다.

다중 표적 추적에 있어, 추적의 정확도 뿐만 아니라 알고리즘의 실시간 계산 수행도 중요한 항목이다. NN을 제외한 PDA 및 JPDA는 상당히 좋은 정확도를 가지지만 실시간으로 구현할 때 문제점을 가질 수 있다[6]. NN은 복잡한 클러터 환경에서 부적절한 측정치와 연관 시 추적 능력을 잃을 수 있다. 그러므로 본 논문에서는 Fitzgerald [7]가 제안한 NNPDA(Nearest Neighbor PDA) 알고리즘을 실제 실험에서 얻은 데이터에 적용하였다.

본 논문에서는 차량 환경에 맞게 구현된 고정 이득 필터의 성능 및 안정도를 검증하고 데이터 연관 알고리즘으로 NNPDA 알고리즘을 사용하여 실제 차량 환경에서 이 알고리즘들이 사용가능함을 보였다.

2. 추적 필터

일반적으로 추적 필터는 고정 이득 필터와 동적 이득 필터로 나누어진다. 대표적인 동적 이득 필터로 등속(Constant Velocity) 모델을 사용하는 2차 칼만 필터와 Singer 모델을 사용하는 Singer 칼만 필터가 있다. 칼만 필터 방정식은 다음 식 (1)과 같다.

$$\underline{\hat{x}}(k|k)=\underline{\hat{x}}(k|k-1)+\underline{K}(k)(\underline{y}(k)-\underline{H}\underline{\hat{x}}(k|k-1)) \quad (1)$$

여기서, $\underline{\hat{x}}$는 표적의 상태, $\underline{K}$는 칼만 이득, $\underline{y}$는 측정치, $\underline{H}$는 관측 행렬, k는 스캔이다. 측정 방정식은 다음 식 (2)와 같다.

$$\underline{y}(k)=\underline{H}\underline{x}(k)+\underline{v} \quad (2)$$

여기서 $\underline{v}$는 분산 R인 0-평균 백색 가우시안 잡음이다.

칼만 이득은 다음 식 (3)과 같이 계산된다.

$$\underline{K}(k)=\underline{P}(k|k-1)\underline{H}'(\underline{H}\underline{P}(k|k-1)\underline{H}'+R)^{-1} \quad (3)$$

여기서, $\underline{P}$는 상태 잡음 공분산 행렬로 예측 공분산 행렬은 다음 식 (4)과 같다.

$$\underline{P}(k|k-1)=\underline{\Phi}\underline{P}(k-1|k-1)\underline{\Phi}'+\underline{Q} \quad (4)$$

여기서 $\underline{Q}$는 프로세스 잡음의 공분산, $\underline{\Phi}$는 상태천이행렬이다. 그러므로 갱신 잡음 공분산은 다음 식 (5)와 같다.

$$\underline{P}(k|k)=(\underline{I}-\underline{K}(k)\underline{H})\underline{P}(k|k-1) \quad (5)$$

여기서 $\underline{I}$는 단위행렬이다.

Singer 칼만 필터는 가속이 자기상관(autocorrelation) 함수인 1차 마코프(Markov) 프로세스에 의한 랜덤 표적 가속 모델로 정의한다[8-10].

$$\ddot{x}(k+1)=\rho_m\ddot{x}(k)+\sqrt{1-\rho_m^2}\,\sigma_m w \quad (6)$$

여기서 w는 균일한 분산을 가지는 0-평균 백색 가우시안 잡음, σ_m은 기동표준편차, ρ_m은 기동상관계수이다.

칼만 필터의 경우 동적 이득 계산으로 인해 계산량이 많아 상대적으로 계산량이 적은 고정 이득 필터인 $\alpha\beta$ 및 $\alpha\beta\gamma$ 필터를 사용할 수 있다.

$\alpha\beta$필터는 등속 모델을 따른다. $\alpha\beta$ 필터의 갱신 및 예측 방정식은 다음 식 (7),(8),(9)와 같다.

$$\hat{x}(k|k)=\hat{x}(k|k-1)+\alpha(y(k)-H\hat{x}(k|k-1)) \quad (7)$$

$$\dot{\hat{x}}(k|k)=\dot{\hat{x}}(k-1|k-1)+\frac{\beta}{T}(y(k)-H\hat{x}(k|k-1)) \quad (8)$$

$$\hat{x}(k|k-1)=\hat{x}(k-1|k-1)+T\dot{\hat{x}}(k-1|k-1) \quad (9)$$

여기서 $\hat{x},\dot{\hat{x}}$는 각각 갱신된 위치와 속도, α,β는 고정 이득, y는 측정치, H는 관측 행렬, k는 시간 지수, T는 샘플링 주기이다.

정상 상태 공분산 행렬은 다음 식 (10)과 같다.

$$\underline{P}=\frac{\sigma_v^2}{\alpha(4-2\alpha-\beta)}\begin{bmatrix}2\alpha^2-3\alpha\beta+2\beta & \frac{\beta(2\alpha-\beta)}{T}\\ \frac{\beta(2\alpha-\beta)}{T} & \frac{2\beta^2}{T^2}\end{bmatrix} \quad (10)$$

여기서 σ_v^2은 측정 잡음의 분산이다.

$\alpha\beta\gamma$ 필터는 등가속 모델을 따른다. 식 (7),(8)에 다음 식 (11)이 포함되고 예측은 식 (12)와 같다.

$$\ddot{\hat{x}}(k|k)=\ddot{\hat{x}}(k-1|k-1)+\frac{2\gamma}{T^2}(y(k)-H\hat{x}(k|k-1)) \quad (11)$$

$$\hat{x}(k|k-1)=\hat{x}(k-1|k-1)+T\dot{\hat{x}}(k-1|k-1) + \frac{T^2}{2}\ddot{\hat{x}}(k-1|k-1) \quad (12)$$

$\alpha\beta$필터의 안정도는 다음 식 (13)과 같이 시스템 전달함수의 해로 판단할 수 있다.

$$|z_{1,2}|=|1-\frac{\alpha+\beta}{2}\pm\frac{1}{2}\sqrt{(\alpha-\beta)^2-4\beta}|<1 \quad (13)$$

다음 그림 2는 추적 필터 식의 예측-갱신의 반복적인 과정을 나타낸다.

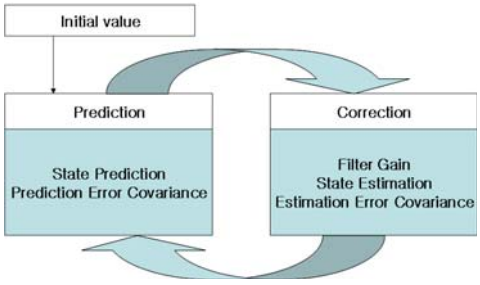


그림 2. 추적 필터 사이클
Fig. 2. Tracking filter cycle

차량용 레이더의 경우 신호 처리단에서 탐지되는 신호의 주기가 100ms 내로 짧으므로 필터링도 이 주기 안에 처리되어야 한다. 주기가 짧을 경우 차량의 움직임을 선형으로 볼 수 있고 추적 필터링에 앞서 데이터 연관 및 트랙 관리에서 데이터가 처리되는 시간까지 고려해 볼 때 Kalman 필터보다 $\alpha\beta$필터를 이용한 추적 시스템 구현이 실시간성에서 유리할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 칼만 필터보다 계산량이 적고 성능은 유사한 $\alpha\beta$필터를 이용하여 차량 추적 시스템을 설계하고자 한다.

3. 게이팅

게이팅은 어떤 관측이 기존에 존재하는 트랙 아니면 신생 트랙에 연관되는지 결정하는 과정이다. 본 논문에서는 다음 식 (14)와 같이 측정치와 예측치의 차이인 잔여(Residual)의 절대값이 일정 범위에 속하면 후보 표적으로 간주하고 아니면 신생 트랙으로 간주하였다.

$$|y_l(k)-Hx_l(k|k-1)|\le K_{Gl}\sigma_r \quad (14)$$

여기서 l은 측정치 요소, K_{Gl}은 게이팅 계수, σ_r은 잔여의 표준편차이다. 게이팅 계수 K_{Gl}은 보통 3이상으로 설정한다 [5].

4. NNPDA 알고리즘

우선 NNPDA를 설명하기 앞서 PDA를 설명한다. PDA 알고리즘은 예측된 위치에 중심을 둔 게이트 내에 속하는 모든 측정치들을 사용한다. 이들 측정치들은 동일한 표적에서 유래할 가능성이 있다.

PDA 알고리즘은 여러 개의 가설이 각 시간의 데이터로부터 생성되고 그 다음 시간의 데이터가 처리되기 전에 단 하나의 가설로 통합되는 방법이다. 먼저 게이트 내에 유효한 측정치가 없다(이것을 가설 H_0라 한다.)고 하면 H_0의 가설 확률은 다음 식 (15)와 같다.

$$p'_{i0}=\beta^N(1-P_DP_G) \quad (15)$$

여기서 N은 트랙 i의 게이트 내 측정치 수, β는 단위 면적당 신생 표적과 허위 표적의 밀도, P_D는 탐지 확률, P_G는 게이트 내 참 표적이 존재할 확률이다.

측정치 j가 존재할 가설 확률 $H_j(j=1,2,...,N)$는 다음 식 (16)과 같다.

$$p'_{ij}=\beta^{N-1}P_DP_G\frac{e^{-d_{ij}^2/2}}{P_G(2\pi)^{M/2}\sqrt{|S_i|}} \quad (16)$$

여기서 M은 측정치의 차원, S_i는 잔여의 공분산이다. 위 식 (16)을 정규화하면 다음 식 (17)과 같다.

$$p_{ij}=\frac{p'_{ij}}{\sum_{l=0}^{N}p'_{il}} \quad (17)$$

각각의 측정치들의 가설 확률들을 합하여 추정치를 계산하는 과정은 참고문헌 [5]를 참조하기 바란다.

NNPDA 알고리즘은 PDA 알고리즘과 동일한 방식으로 가설 확률 p_{ij}를 구한다. 그러나 가설 확률 계산이 수행된 후 하나 또는 몇 개의 측정치만 트

랙에 할당된다. 즉, NN 알고리즘이 예측치에 가까운 측정치가 할당되는데 반해, NNPDA는 가설 확률이 높은 측정치가 트랙에 할당된다. 특히 NNPDA 알고리즘 방식은 실시간 구현에 용이할 뿐만 아니라 다중 근접 표적 추적에 우수하다고 알려져 있다 [7].

Ⅲ. 설계 및 실험 결과

1. 설계

제안된 추적 필터 및 데이터 연관 알고리즘을 이용한 추적 시스템을 그림 3와 같이 나타내었다.

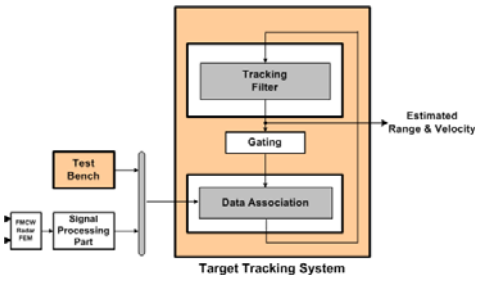


그림 3. 모의실험을 위한 표적 추적 시스템
Fig. 3. Target tracking system for simulation

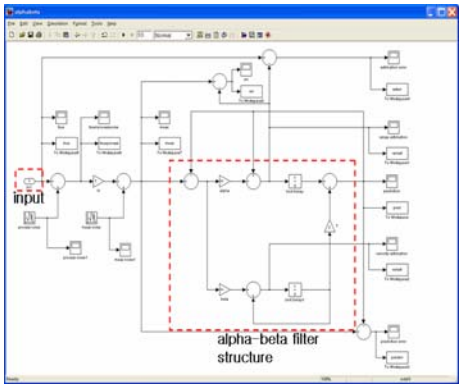


그림 4. αβ필터의 시뮬링크 모델
Fig. 4. Simulink model of αβ filter

첫 번째로 표적의 측정치를 생성하는 모의 데이터 생성기를 이용한 테스트 벤치를 먼저 설계하였다. 이는 가상의 표적 정보를 생성하여 추적 성능을 검증 할 수 있다. 두 번째로 FMCW 레이더의 송수신모듈과 신호 처리단을 설계하였다. 이로써 실제 도로에서 획득한 표적 정보를 이용하여 추적 성능을 비교 및 검증할 수 있다.

구현된 고정 이득 필터인 αβ 필터의 성능을 비교 검증하기 위해 칼만 필터도 구현되었다. 또한 데이터 연관 알고리즘은 NNPDA를 구현하였다.

다음 그림 4는 시뮬링크(Simulink)로 모델링된 αβ필터를 나타낸다.

2. 실험 결과

다음 그림 5는 모델링된 αβ필터의 성능 및 안정도를 검증하기 위해 2대의 차량에 대한 모의 데이터를 생성하여 시뮬레이션한 결과이다. 차량 1에 해당하는 데이터1(Data1)은 $7m/s$ 의 속도이고, 차량 2에 해당하는 데이터2(Data2)는 $5m/s$ 의 속도로 움직이는 예제이다.

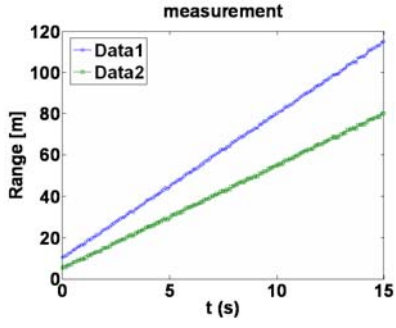
이 때 이득은 최적의 통계적 기동 지수를 고려하여 $\alpha=0.75$, $\beta=0.5$ 로 선택하였다 [11]. 데이터 샘플링 주기는 0.1초로 설정하였다.

그림 5 (a)는 테스트 벤치의 모의 데이터 생성기를 통해 발생된 표적의 모의 데이터이며, 그림 5 (b) 구현된 추적 시스템을 통해 얻어진 거리 추정치이다. 또한 그림 5 (c)는 실제 표적과 거리 추정치의 오차를 나타낸다.

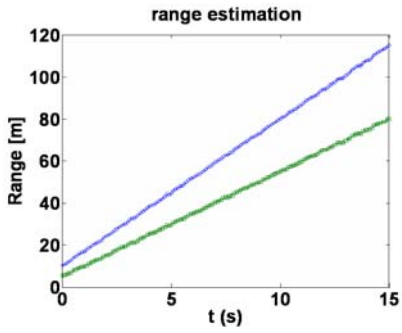
시뮬레이션 결과 데이터1의 RMS오차는 $0.0199[m]$, 데이터2의 RMS오차는 $0.0874[m]$ 로 결과가 산출되었다.

정상 상태 잡음 공분산 결과는 다음과 같다. 안정도 판정은 해가 $|z_{1,2}|=0.7906$ 으로 z-평면의 단위원 내부에 존재하므로 구현된 필터는 안정함을 알 수 있다.

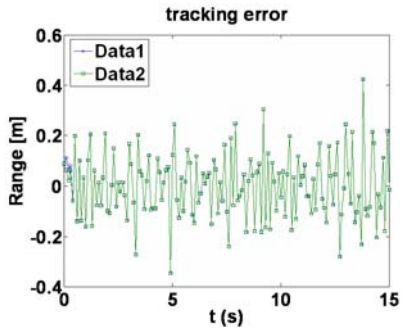
$$\underline{P}(k|k)=\begin{bmatrix}0.06 & 0.3\\ 0.3 & 3\end{bmatrix}$$



(a)



(b)



(c)

그림 5. 시뮬레이션 결과 ((a) 모의 데이터 (b) 거리 추정치 (c) 추적 오차)
Fig. 5. Simulation results

다음 그림 6은 각 추적 필터 별 성능을 몬테칼로(MonteCarlo) 시뮬레이션 1000회로 계산한 결과이다. 본 과제의 77GHz FMCW 레이더의 규격에 따라 측정 오차를 0.3으로 설정하였다.

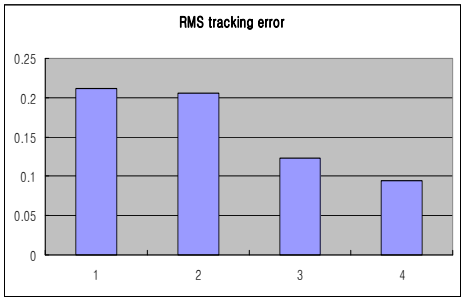


그림 6. 추적 필터 별 RMS 추적 오차
(1. $\alpha\beta$ 필터 2. $\alpha\beta\gamma$ 필터 3. 2차 칼만 필터 4. Singer 칼만 필터)
Fig. 6. RMS rror for tracking filters

계산 결과 Singer 칼만 필터의 RMS 추적 오차가 상대적으로 가장 작지만 계산량을 고려해 볼 때 약간의 오차를 감안한다면 $\alpha\beta$ 필터도 사용가능함을 알 수 있다.

다음은 실제 개발된 77GHz FMCW 레이더 [1-3]로 전방 이동 차량을 측정한 결과를 이용하여 추적 필터의 성능을 검증하였다.

다음 그림 7과 같은 환경에서 추적할 표적은 전방 이동 차량이다. 전방 이동 차량은 종단 방향으로 진행하고, 이동 차량의 오른편에는 정지 차량이 세워져 있다. 이 밖에 클러터나 노이즈도 존재한다고 가정한다.

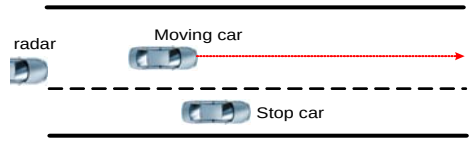


그림 7. 77GHz FMCW 레이더 측정 실험환경
Fig. 7. Environment for 77GHz FMCW radar data acquisition

실험을 위한 레이더 신호 처리단의 파라미터는 다음 표 1에 레이더 데이터 처리단의 파라미터는 표 2에 나타내었다.

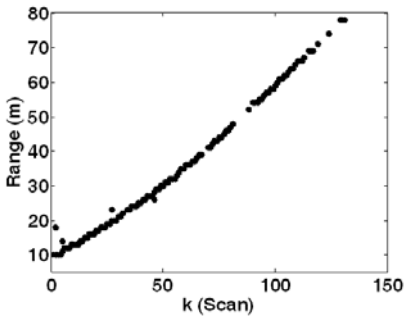
표 1. 레이더 신호 처리단 파라미터
Table 1. Radar signal processing parameters

center frequency	77GHz
bandwidth	300MHz
range resolution	0.5m
ADC sampling frequency	3MHz
maximum detection range	100m

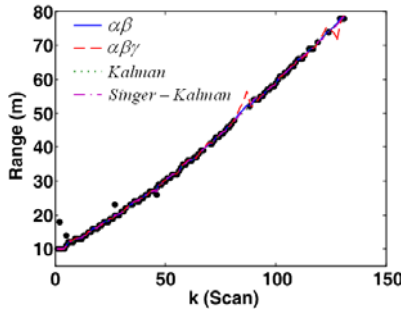
표 2. 레이더 데이터 처리단 파라미터
Table 2. Radar data processing parameters

fixed gain	$\alpha = 0.75$ $\beta = 0.5$
process error	0.3m
measurement error	0.3m
gate size	3.5m
sampling period	100ms

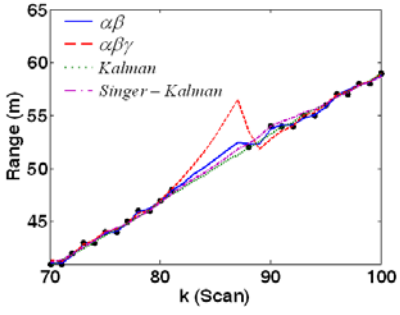
다음 그림 8은 77GHz FMCW 레이더 실측 데이터와 추적 필터들로 처리된 거리 추정치를 나타낸 결과이다. 여기서 X축은 시간 지수(Time Index)로써 0.1초씩의 간격, Y축은 거리[m]이다.



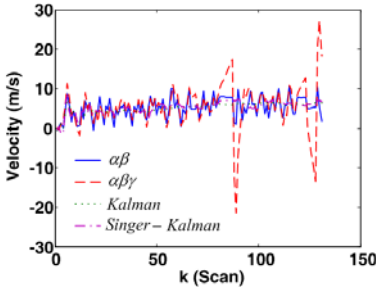
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 8. 추적 필터들에 대한 필터링 결과
((a)실측 데이터, (b) 거리 추정 결과,
(c) 거리 추정을 확대한 결과, (d) 속도 추정 결과)
Fig. 8. Filtering results for tracking filters

본 실험 환경에서 총 131개의 데이터 샘플을 획득하였으며, 이 중 클러터가 존재하는 구간은 스캔 지수 k가 2, 5, 27, 46번인 구간, 측정치가 누락된 구간은 스캔 지수 k가 33, 68, 69, 82~87, 120~123,125~128번이다. 입력된 표적의 정보 중에서 클러터 성분은 게이팅을 통해 제거되고, 탐지가 누락된 부분은 추적 필터를 통해 보상되는 것을 확인할 수 있다. 그리고 게이트 내 다중 표적의 연관 작업은 NNPDA 알고리즘으로 처리하였다. 실험 결과 $\alpha\beta$ 필터에 최적화된 이득을 반영하면 동적 이득 필터와 유사한 성능을 얻을 수 있는 것으로 판단되었다. $\alpha\beta\gamma$ 필터의 경우 그림 8 (c), (d)에서 보듯이 모델링 오차로 인해 스캔 지수 k가 82~87과 120~128인 측정치가 누락된 구간에서 급격한 속도 변화가 발생하여 약간의 발산이 일어난다. 그러므로 차량의 움직임에는 등속 모델이 더 적합함을 알 수 있다.

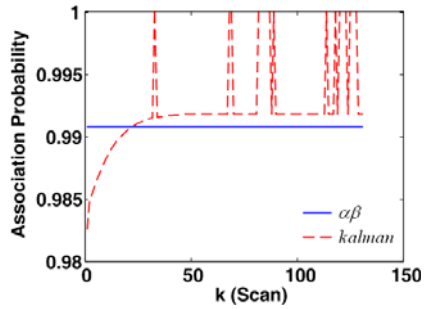


그림 9. 각 스캔 구간에서의 연관 확률
Fig. 9. Association probability of scan index

다음 그림 9는 각 스캔 구간마다 정확한 데이터 연관 확률(Probability of Correct Association)을 나타낸 결과이다. 데이터 연관 확률은 표적을 상실하거나 잘못된 연관을 수행할 때 급격히 낮아진다. NNPDA 알고리즘과 결합된 고정 이득 및 동적 이득 필터 모두 98%이상의 연관 확률을 나타내고 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 차량용 레이더 시스템을 위한 표적 추적 알고리즘을 차량 환경에 맞게 설계하고 검증하였으며, 실제 개발된 77GHz FMCW 레이더의 실측 데이터를 데이터 연관 및 추적 알고리즘으로

처리하여 클러터를 제거하고 탐지 확률을 높였다. 실험 결과 전방 이동 차량의 움직임이 짧은 샘플링 주기로 인하여 선형 프로세스일 경우 고정 이득 필터와 동적 이득 필터 모두 추적이 가능하고, 특히 $\alpha\beta$ 필터의 이득을 최적화할 경우 상대적으로 적은 계산량으로 추적이 가능함을 알 수 있었다. 데이터 연관 알고리즘은 추적의 정확도 및 실시간성을 고려하여 NNPDA 알고리즘을 적용하였다. 향후 다양한 환경에서의 실험 데이터 획득과 실시간 추적 시스템을 위한 계산량이 적고 정확도가 높은 효율적인 추적 알고리즘에 대한 연구가 필요하다.

참고문헌

[1] 현유진, 이종훈, "차량용 레이더 간섭 제거 신호 처리 방법", 대한전자공학회 논문지 제45권 SC 편 제6호, pp. 35-41, 2008.

[2] 현유진, 오우진, 이종훈, "FFT 및 CFAR를 이용한 차량용 FMCW레이더 탐지 모듈 구조 설계", 대한임베디드공학회 추계학술대회, 2009.

[3] 현유진, 오우진, 이종훈, "77GGHz FMCW 레이더 이동 차량 검출 기법", 제6회 국방정보 및 제어기술 학술대회, pp. 112-114, 2010.

[4] 임상석, "다중표적용 추적 기술", 한국전자파학회 전자파기술, 제8권 제1호(통권 21호), pp. 43-56, 1997.

[5] Blackman S., Popoli R., "Design and analysis of modern tracking systems", Artech House, Nordwood US, 1999.

[6] 이문식, 김용훈, "밀리미터파 대역 차량용 레이더를 위한 순서통계 기법을 이용한 다중 표적의 데이터 연관 필터", 대한전자공학회 논문지 SP, 제37권 제5호, pp. 94-104, 2000.

[7] R.J.Fitzgerald, "Development of practical PDA logic for multi target tracking by microprocessor", Multitarget-Multisensor Tracking: Advanced Applications, Y. Bar-Shalom(Ed.), Nordwood, MA: Artech House, 1990.

[8] R.A. Singer, "Estimating optimal tracking filter performance for manned maneuvering targets", IEEE Transaction on Aerospace and Electronics, AES-5, pp. 473-483, 1970.

[9] 배준형, 이종훈, "차량용 레이더 시스템을 이용한 기동 표적 추적 필터 성능에 관한 연구", 대한임베디드공학회 추계학술대회, 2009.

[10] 배준형, 현유진, 이종훈, "차량용 레이더 추적 시스템 개발을 위한 고정이득 필터 설계", 제 6회 국방정보 및 제어기술 학술대회, pp. 118-121, 2010.

[11] Bar-Shalom, Rong Li, Kirubarajan, "Estimating with applications to tracking and navigation", John Wiley & Sons, 2001.

저 자 소 개

배 준 형

2004년 : 한국항공대학교 항공전자공학과 학사.
2006년 : 한양대학교 전기공학과 석사.
2006년~현재, 대구경북과학기술원 연구원

관심분야 : 최적제어, 강인제어, 레이더 신호처리, 표적 추적.
Email : baejunh@hanmail.net

현 유 진

1999년 : 영남대학교 전자공학과 학사.
2001년 : 영남대학교 전자공학과 석사.
2005년 : 영남대학교 전자공학과 박사.

현재, 대구경북과학기술원 선임연구원.
현재, 영남대학교 전자공학과 겸임교수.
관심분야 : 레이더 신호처리, DSP설계.
Email : braham@dgist.ac.kr

이 종 훈

1996년 : 성균관대학교 전자공학과 학사.
1998년 : 성균관대학교 전기전자컴퓨터공학과 석사.
2002년 : 성균관대학교 전기전자컴퓨터공학과 박사.

2002~2005년 : 삼성전자 네트워크 통신사업부 선임연구원.
현재, 대구경북과학기술원 선임연구원(과제책임).
현재, 영남대학교 정보통신공학과 겸임교수.
관심분야 : 레이더/비전 융합 신호처리, 차량용 레이더.
Email : jhlee@dgist.ac.kr