

스마트 자동차의 BSD 검지를 위한 추적알고리즘에 관한 연구

김 완 태*

A Study on the Tracking Algorithm for BSD Detection of Smart Vehicles

Kim Wantae

〈Abstract〉

Recently, Sensor technologies are emerging to prevent traffic accidents and support safe driving in complex environments where human perception may be limited. The UWS is a technology that uses an ultrasonic sensor to detect objects at short distances. While it has the advantage of being simple to use, it also has the disadvantage of having a limited detection distance. The LDWS, on the other hand, is a technology that uses front image processing to detect lane departure and ensure the safety of the driving path. However, it may not be sufficient for determining the driving environment around the vehicle. To overcome these limitations, a system that utilizes FMCW radar is being used. The BSD radar system using FMCW continuously emits signals while driving, and the emitted signals bounce off nearby objects and return to the radar. The key technologies involved in designing the BSD radar system are tracking algorithms for detecting the surrounding situation of the vehicle. This paper presents a tracking algorithm for designing a BSD radar system, while explaining the principles of FMCW radar technology and signal types. Additionally, this paper presents the target tracking procedure and target filter to design an accurate tracking system and performance is verified through simulation.

Key Words : FMCW Radar, BSD Radar System, Self-Driving Car, Target Tricking, Filter

I. 서론

스마트 자동차 운행의 안전성을 확보하기 위한 기술들은 다양한 형태로 발전하고 있으며, 그중 자동차 주변 상황을 검지하여 주행 시 또는 주차 시 다양한 환경에서 안전을 확보하기 위한 기술이 중요한 요소로 제시되고 있다. 자동차 주변을 검지하기 위한 기

술로는 Ultrasonic Warning System(UWS)[, Lane Departure Warning System(LDWS)이 있으며, UWS는 초음파센서를 이용하여 근거리에서 있는 물체를 검지하는 기술로 시스템 구성이 간단한 장점이 있으나, 검지 거리가 짧다는 단점이 있다. LDWS는 전방영상 처리를 통하여 차선이탈 여부를 판단하는 시스템으로 주행 차의 운행경로에 대한 안전성을 확보할 수 있으나, 주행 차 주변 상황을 판단하기에는 다소 부

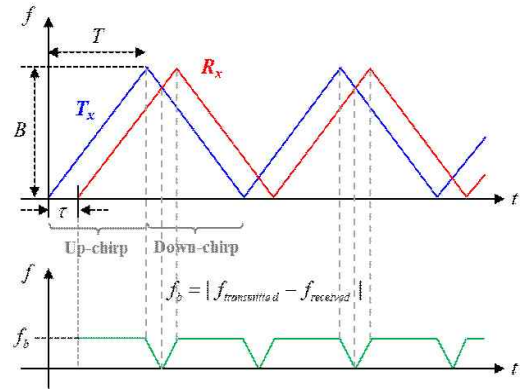
* 서일대학교 정보통신공학과 조교수(제1저자, 교신저자)

축하다는 단점이 있다[1~3]. 이러한 단점을 극복하기 위해 FMCW 레이더를 이용한 시스템이 사용되고 있으며, FMCW를 이용한 BSD 레이더 시스템은 자동차 주행 시 지속적인 신호를 송출하여 송출된 신호가 주변 목적물과 충돌한 후 반사되는 신호를 통해 목표차량과의 거리와 각도, 이동방향 및 이동속도 등을 검지하여 주행 차와의 충돌위험 및 주행상황 등을 계산하여 운전자에게 알려 줌으로서 자동차 운행의 안전을 확보할 수 있는 기술이다[4]. BSD 레이더 시스템은 현재 완성차 제조업체에서 출고되는 차량에는 대부분 적용되어 있으며, 그 활용도가 증가하고 있다. BSD 레이더 기술의 핵심은 주행 차를 중심으로 주변 차량을 검지하는 기술이며, 주변 차 감지를 위한 추적 알고리즘의 정확도가 매우 중요하다. 따라서 본 논문에서는 목표 차량 감지를 위한 추적알고리즘을 제안하고 시뮬레이션을 통해 검증한다[5]. 논문의 구성은 2장에서 FMCW 레이더의 원리를 설명하고 3장에서 추적알고리즘을 위한 시스템에 추적절차와 추적필터에 대하여 설명한다. 4장에서는 시뮬레이션을 통해 추적알고리즘을 검증하고 5장에서 결론을 설명한다.

II. 관련연구

FMCW 레이더는 Range(범위), Velocity(속력), Angle(각도)를 측정할 수 있는 시스템이다. FMCW 레이더 원리는 송신기를 통해 전송된 신호가 주변 물체와 충돌 후 반사되어 수신기로 입력되는 신호를 분석하여[6, 7] Range(범위), Velocity(속력), Angle(각도)를 계산하게 되는데, 이때 발생하는 송신신호와 수신신호의 차이를 Beat Frequency 라 한다. BSD 레이더는 Beat Frequency 를 이용하여 주변 목표차량의 움직임을 예측하고 계산하게 된다. 주변 목표물을 탐지는 2 가지 상황이 고려되어야 하며 첫 번째는 목표물

이 정지되어있는 경우이며, 두 번째는 목표물이 움직이는 경우이다. <그림 1> 은 목표물이 움직이지 않는 상황에 대한 Beat Frequency 이다.



<그림 1>에서 시스템에서 전송된 Transmitt(Tx) 신호는 주변 목표물에 충돌하여 반사된 신호가 Receive(Rx) 신호로 정의되어 레이더 시스템으로 입력되게 된다. 시스템에서는 Tx 신호가 전송되고 Rx 신호가 수신되는 과정에서 시간차가 발생하게 되며, FMCW 레이더 시스템은 시간차가 발생된 Beat Frequency를 이용하여 주행차를 중심으로 주변 목표과의 R, V, A 를 분석하게 된다. <그림 1>은 고정된 목표물을 정의 하고 있으므로 Tx 신호와 Rx 신호 사이에서 시간차는 발생하고 있으나, 두 신호사이에서 bandwidth 는 동일하다. 따라서 <그림 1>에서는 Beat Frequency 와 Range 분석이 중요한 요소라 할 수 있다. <그림 1>에서 Beat Frequency 분석을 위한 관계식은 식(1) 과 같다.

$$\left\{ \frac{f_b}{\tau} = \frac{B}{\tau} \right\} \Rightarrow f_b = \tau \cdot \frac{B}{T} = \frac{2R}{C} \cdot \frac{B}{T} \quad (1)$$

식에서 B 는 bandwidth[Hz], T 는 sweep

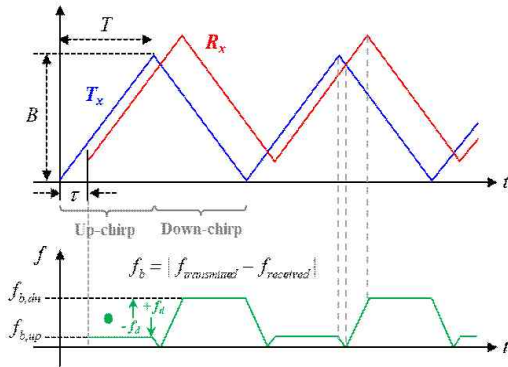
time[sec], R 은 target range[m], τ 는 time delay[sec],
 c 는 3×10^8 [m/s] 로 정의된다.

고정된 목표물에 대한 Range(R)를 분석하기 위한 식은 다음과 같다.

$$R = \frac{cTf_b}{2B} \Rightarrow R_{\max} = \frac{cTf_{b,\max}}{2B} \Rightarrow R_{\lim} = \frac{cT}{2} \quad (2)$$

식(2)에서 $f_{b,\max} = B$ 이며, 실제로 최대시간 차 τ 는 일반적으로 $0.1 \times T$ 로 정의한다.

<그림 2> 는 FMCW Radar 해석에 있어 움직이는 목표물을 정의하고 있으며, Tx 신호와 Rx 신호의 Beat Frequency는 시간차가 발생하고 있으며, 목표물의 움직임에 의한 bandwidth 의 차이가 발생하게 된다. <그림 2>에서 bandwidth 의 변화는 주파수 축의 높이로 정의된다. 시작 주파수가 일정시간 동안 증가하는 Chirp 신호의 기울기 변화를 이용하여 속도를 정의한다.



<그림 2> 에서 Chirp 신호의 해석을 위한 UP Chirp 와 Down Chirp Beat Frequency 는 식 (3), (4) 와 같다.

$$f_{b,up} = \tau \cdot \frac{B}{T} - \frac{2v}{\lambda} = \frac{2RB}{cT} - f_d \quad (3)$$

$$f_{b,dn} = \tau \cdot \frac{B}{T} + \frac{2v}{\lambda} = \frac{2RB}{cT} + f_d \quad (4)$$

위 식에서 f_d 는 Doppler frequency[Hz], λ 는 wave length[m], v 는 target velocity[m/s]로 정의된다. 움직이는 목표물에 대한 Range 는 식 (5)로 정의할 수 있으며, Velocity 는 식 (6) 으로 정의할 수 있다. 또한 속도를 해석하기 위한 파장은 식 (7)로 정의된다.

$$R = \frac{cT}{4B}(f_{b,up} + f_{b,dn}) \quad (5)$$

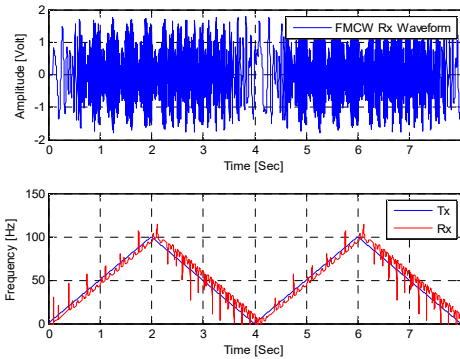
$$v = \frac{\lambda}{4}(f_{b,up} - f_{b,dn}) \quad (6)$$

$$\lambda = \frac{c}{f_c} \quad (7)$$

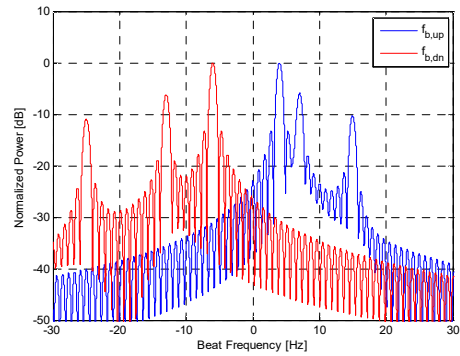
Target	Parameter	Value	Unit	Beat Frequency (Cal.)
Target 1	Time Delay (τ)	0.1	Sec	$f_{b,up} = \tau(B/T) + f_d = 4$ [Hz] $f_{b,dn} = \tau(B/T) - f_d = 6$ [Hz]
	Doppler Freq. (f_d)	1	Hz	
	Amplitude	1	Volt	
Target 2	Time Delay (τ)	0.2	Sec	$f_{b,up} = \tau(B/T) + f_d = 7$ [Hz] $f_{b,dn} = \tau(B/T) - f_d = 13$ [Hz]
	Doppler Freq. (f_d)	3	Hz	
	Amplitude	0.5	Volt	
Target 3	Time Delay (τ)	0.4	Sec	$f_{b,up} = \tau(B/T) + f_d = 15$ [Hz] $f_{b,dn} = \tau(B/T) - f_d = 25$ [Hz]
	Doppler Freq. (f_d)	5	Hz	
	Amplitude	0.3	Volt	

본 논문에서 설계하는 시스템의 기본 원리인 FMCW 레이더 신호를 조금 더 구체적으로 설명하기 위해 움직이는 목표물을 가정한 임의의 파라미터를 설정한 후 MATLAB Tool Simulation[8]을 이용하여 Time domain에서 Tx 신호에 따른 beat frequency의 형태 및 Frequency domain에서의 신호의 Spectrum 형태를 살펴보면 <그림 3>과 같다. 목표물은 3개로 설정하였으며, 시뮬레이션을 위한 Time Delay 와 Doppler Frequency, Amplitude 그리고 Beat

Frequency는 <표 1>에 정의하였다[9]. <그림 3>은 <표 1>의 파라미터 설정에 따라 수행한 시뮬레이션의 시간영역에서의 신호형태이며, <그림 4>는 주파수영역에서의 신호이다. <그림 4>를 통해 주파수 영역에서의 Spectrum을 확인했을 때 <표 1>에서 제시한 파라미터에 따라 Tx 신호와 Rx 신호가 Beat Frequency의 차이가 발생하여 Spectrum 달라진 것을 확인할 수 있다.



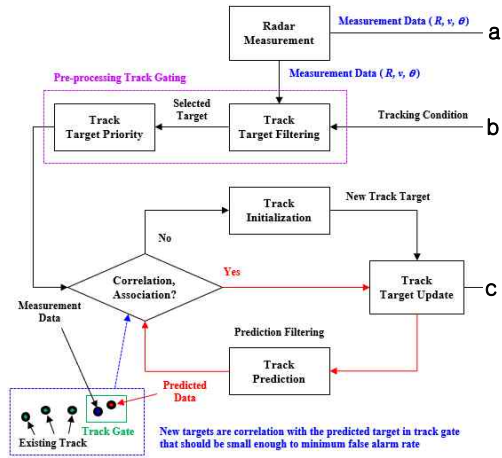
<그림 3> FMCW의 시간영역 신호(움직이는 목표물)



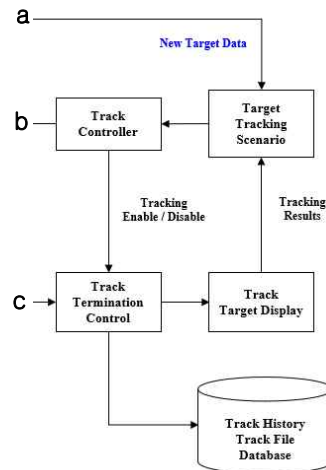
<그림 4> FMCW의 주파수영역 신호(움직이는 목표물)

으로 주변 목표 차량의 정보를 수집하는 것이다. 주변차의 정보로는 거리, 속도, 각도를 이용하며, 2장에서 정보 습득을 위한 FMCW에 대하여 설명하였다. 따라서 3장에서는 정보습득의 정확도를 높이기 위한 추적 알고리즘 제안을 제안하고 추적필터를 통한 속도, 거리, 각도에 대해 설명한다.

3.1 표적추적 알고리즘



<그림 5> 레이더 센서 컨트롤러의 추적알고리즘



<그림 6> 레이더 시스템 컨트롤러의 추적알고리즘

III. 제안 알고리즘

BSD Radar의 핵심 기술 중 하나는 주행차를 중심

<그림 5>와 <그림 6>은 하나의 그림으로 해석하며 각 그림에서의 a, b, c 는 서로 연결되어 있는 그림으로 해석한다. <그림 5>는 Radar Sensor Controller 에서의 표적추적절차를 설명한다. 레이더 센서를 통해 측정된 R, V, A 데이터는 Track Target Filtering을 수행한 후 추적대상의 우선순위를 선택 한다.

이 두과정은 Pre-processing Tarck Gating 과정으로 현재 데이터와의 상관관계와 연관성을 비교하기 위한 데이터를 제공한다. 입력된 데이터를 이용하여 상관성과 연관성을 비교한 후 관련성이 없다고 판단 되면 Track Initialization 을 거쳐 Track Target Updata를 수행하여 Radar System Controller 로 전송한다. 이때, 상관성과 연관성을 비교하여 관련성이 있다고 단판 되면 기존 데이터와 동일한 데이터로 인지하여 Track Initialization를 수행하지 않고 데이터를 업데이트 수행한다. 결과적으로 Radar Sensor Controller는 레이더 센서로 부터 입력되는 데이터에 대하여 현재 정보와 새로운 정보의 상관관계를 비교하여 Radar System Controller에 정보를 제공한다.

Radar System Controller 에서의 표적추적 절차는 새롭게 입력되는 Target Data 를 이용하여 Target Tracking Scenario 에 따라 Track Controller 기능과 Track Termination Control, Track Target Display 기능에 대하여 Loop 를 수행하며, Radar Sensor Controller 에 Tracking Condition 정보를 제공하고 Track History Track File Database 에 정보를 저장하는 기능을 수행한다.

3.2 표적추적 필터

목표물 추적에 있어 중요한 요소는 정확한 데이터 값에 의한 시스템 운용이라 할 수 있다. 따라서 논문에서는 제시하는 표적추적알고리즘의 정확도를 위해 최적화된 필터설계를 제시한다. 일반적으로 추적시스템 에는 Kalman 필터와 $\alpha - \beta - (\gamma)$ 필터가 사용되고

$\alpha - \beta - (\gamma)$ 는 측정범위를 기반으로 속도 및 일정한 가속도를 측정할 수 있으며, 칼만필터의 고정이득 공식을 사용하여 저비용으로 쉽게 구현할 수 있다[10]. 첫 번째로 범위(Range)추적을 위한 $\alpha - \beta$ Filter는 다음 식과 같다. 식(8)은 Smoothed Range, 식(9)는 Smoothed Velocity, 식(10)은 Predicted Range 이다.

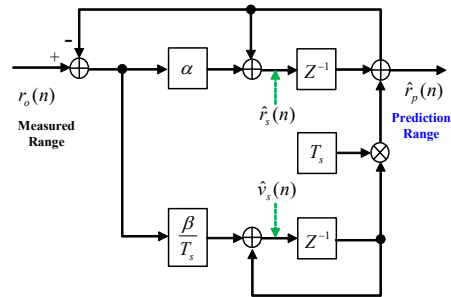
$$\hat{r}_s(n) = \hat{r}_p(n) + \alpha \cdot [r_o(n) - \hat{r}_p(n)] \quad (8)$$

$$\hat{v}_s(n) = \hat{v}_s(n-1) + \frac{\beta}{T_s} \cdot [r_o(n) - \hat{r}_p(n)] \quad (9)$$

$$\hat{r}_p(n+1) = \hat{r}_s(n) + T_s \cdot \hat{v}_s(n) \quad (10)$$

$r_o(n)$: The measured range
 $\hat{r}_p(n)$: The prediction range at the measurement time
 $\hat{r}_s(n)$: The smoothed rage after n -th observation
 $\hat{v}_s(n)$: The smoothed velocity after n -th observation
 T_s : The time between measurements

위식을 이용하여 $\alpha - \beta$ Filter 설계를 위한 시스템 구조는 <그림 7>과 같다.



두 번째로 $\alpha - \beta - (\gamma)$ Filter 를 이용한 Range 및 Velocity 추적을 위한 정의는 다음 식과 같다. 식 (11)은 Smoothed Range, 식 (12)는 Predicted Velocity, 식 (13)은 Smoothed Acceleration, 식 (14)는 Predicted Range 를 나타낸다.

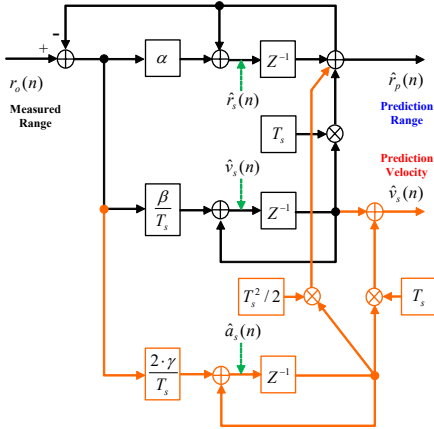
$$\hat{r}_s(n) = \hat{r}_p(n) + \alpha \cdot [r_o(n) - \hat{r}_p(n)] \quad (12)$$

$$\hat{v}_s(n) = \hat{v}_s(n-1) + T_s \cdot \hat{a}_s(n-1) + \frac{\beta}{T_s} \cdot [r_o(n) - \hat{r}_p(n)] \quad (13)$$

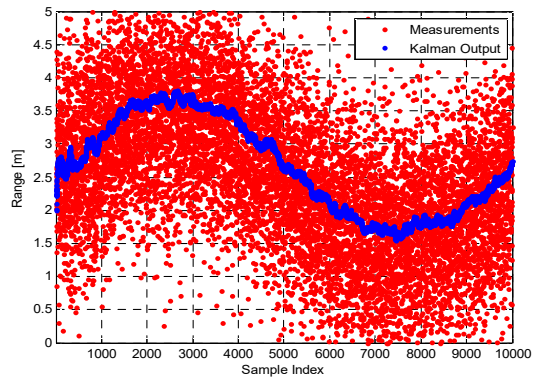
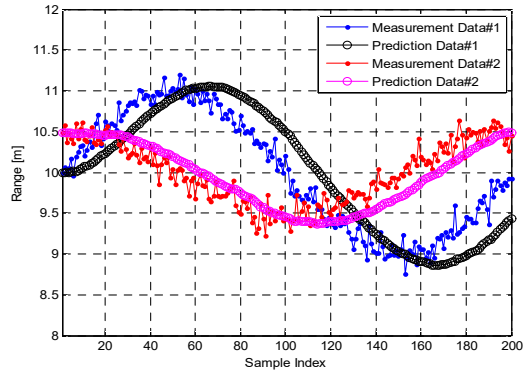
$$\hat{a}_s(n) = \hat{a}_s(n-1) + \frac{2 \cdot \gamma}{T_s^2} \cdot [r_o(n) - \hat{r}_p(n)] \quad (14)$$

$$\hat{r}_p(n+1) = \hat{r}_s(n) + T_s \cdot \hat{v}_s(n) + \frac{T_s^2}{2} \cdot \hat{a}_s(n) \quad (15)$$

위식을 이용하여 $\alpha - \beta - (\gamma)$ Filter 설계를 위한 시스템 구조는 <그림 8>과 같다.



통해 Filtering 성능을 확인하고 추적알고리즘에 대하여 검증한다. <그림 9> 는 논문에서 제시한 2 개의 Filter 구조 중 $\alpha - \beta - (\gamma)$ Filter 에 대한 시뮬레이션 결과로서 거리, 속도, 각도가 각 다른 2개의 목표물을 가정하여 시뮬레이션을 수행하였으며, Filtering 을 수행하지 않은 Measurement Data #1 과 Measurement Data #2 에 대하여 Filtering 을 수행한 후 출력된 Prediction Data #1, Prediction Data #2 의 비교를 통해 성능을 확인 하였다.



IV. 알고리즘 평가

4.1 표적추적 필터의 성능검증

본 논문에서는 BSD 레이더를 이용한 주변 감지 시스템을 설계하는데 있어 정확한 목표물을 감지하기 위한 신호처리에서 중요한 요소인 Track Target Filtering 구조 와 추적알고리즘을 제안하였다. 따라서 제안하는 알고리즘을 검증하기 위해 시뮬레이션을

Filtering 성능을 확인하기 위해 200개의 샘플 데이터를 이용해 시뮬레이션 한 결과 Filtering을 수행하기 Range[m] 대한 신호의 퍼짐 정도가 Filtering을 수

행한 후 신호가 속도와 각도를 벗어나지 않으며 일관성 있게 개선되는 것을 확인할 수 있다.

<그림 10>은 $\alpha - \beta$ Filter의 성능을 검증한 결과 그래프 이며 Kalman Filter를 모델링 하여 검증하였다. 입력되는 10,000 개의 Measurement 데이터에 대하여 Filtering 을 수행한 후 데이터와 비교하여 성능을 검증하였다.

시뮬레이션 결과 불규칙한 데이터 샘플에 대하여 Filtering 을 수행한 수 각도와 속도를 벗어나지 않으며, Range[m]에 대하여 퍼짐현상이 개선되는 것을 확인할 수 있었다.

4.2 추적알고리즘 성능검증

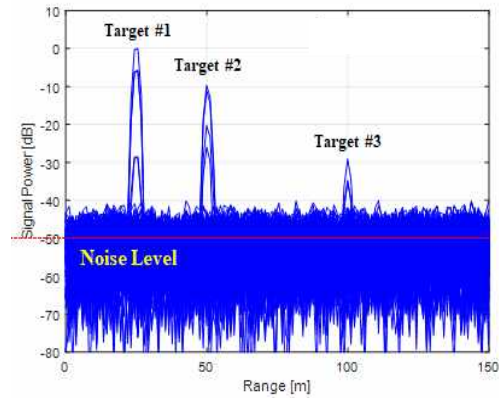
추적알고리즘에 대한 시뮬레이션 성능을 검증하기 위한 시험환경은 <표 2>와 같다. 성능 검증을 위한 목표물은 3개로 정의하였으며, Target #1 은 정지되어 있는 목표물을 가정하였고, Target #2 는 움직이는 목표물을 가정하였다. Target #3 는 정지되어 있는 목표물을 가정하였으나, Target #1 과 거리와 SNR 을 달리 하여 서로 다른 목표물임을 정의하였다.

<표 2> 추적알고리즘 검증을 위한 파라미터

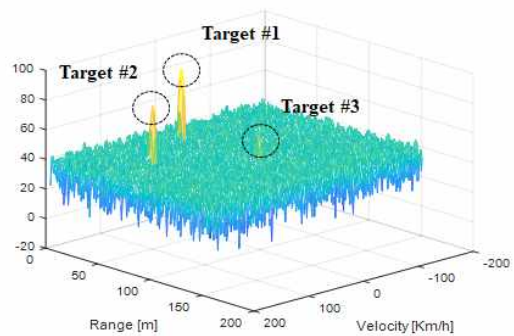
Parameter	Value
Target #1 (Stationary Target)	R = 25 m
	V = 0 Km/h
	SNR = 10 dB
Target #2 (Moving Target)	R = 50 m
	V = 100 Km/h
	SNR = 0 dB
Target #3 (Stationary Target)	R = 100 m
	V = 0 Km/h
	SNR = -20 dB

<그림 11>은 거리와 SNR 을 고려하여 시뮬레이션 을 수행하였으며, 시뮬레이션 결과로 추적된 신호의

스펙트럼을 검출하여 도출 하였다. <그림 12> 는 추적알고리즘을 검증하기 위해 <표 2>를 참고하여 목표물의 거리와 속도를 동시에 나타냈으며 <표 2>에서 정의하고 있는 3가지 요소에 대한 성능을 검증 하였다. 시뮬레이션 결과 <그림 11>은 25m 거리의 목표물과 50m 거리의 0 dB 목표물 그리고 100m 거리에서 -20dB 의 목표물에 대해 정확히 추적된 신호의 스펙트럼을 확인할 수 있었다. <그림 12> 는 25m 거리에서 0 km/s 의 10 dB 목표물과 50m 거리에서 100 km/s 로 이동하는 0 dB 목표물 그리고 100m 거리에서 0 km/s 의 -20dB 의 목표물에 대해 거리와 속도를 동시에 나타낸 그래프 이며 시뮬레이션 결과 각 목표물이 정확히 추적된 것을 확인할 수 있었다.



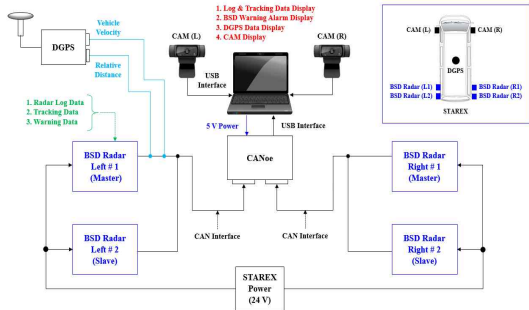
<그림 11> 추적알고리즘 성능검증(거리, SNR)



<그림 12> 추적알고리즘 성능검증(거리, 속도, SNR)

4.3 추적알고리즘 성능검증

본 논문에서의 BSD 레이더의 표적 추적에 대한 검증은 위해 KS X ISO 17387 표준화 문서에 정의된 성능 검증하기 위한 항목 중 추적알고리즘과 관련된 항목에 대하여 성능시험을 수행 하였다. BSD 레이더의 최대탐지거리를 검증하기 위해 타겟 시뮬레이터상의 전방 차량의 거리는 50m, 52m, 55m 로 설정하고, 타겟의 크기는 10m² 로 설정하였다. 최대 감지 속도를 측정하기 위한 시험은 타겟 시뮬레이터상의 전방차량은 50m, 거리는 시속 130km/h, 140km/h, 150km/h 로 설정하였다. 최대탐지각도를 검증하기 위한 시험은 차량 모사를 위한 10m² 의 Corner Reflector를 좌우 방향으로 ±75° 에 해당되는 지점에 설치하였다. 응답속도 검증을 위해 타겟 시뮬레이터상의 전방차량은 50m 거리에서 차속 100km/h 로 설정하였다.



<그림 13> BSD 레이더 성능시험 구성도

<표 3> 성능 시험 결과

항목	단위	결과
1. 최대탐지거리	[m]	55
2. 최대탐지속도	[km/h]	150
3. 최대탐지각도	[O]	150
4. 응답속도	[ms]	34.64

V. 결론

본 논문에서의 스마트 자동차의 BSD 검지를 위한 레이더 시스템에서 정확한 목표물 검출을 위한 추적 알고리즘과 Filter 구조를 제안하였다. 알고리즘 제안을 위한 BSD 레이더 시스템의 원리인 FMCW 에 대하여 원리를 설명하였고, BSD 레이더 시스템이 목표물을 정확히 추적하기 위한 추적알고리즘 그리고 신호처리의 정확도를 높이기 위한 추적 Filter 구조를 제안한 후 시뮬레이션을 통해 제안하는 추적알고리즘에 대하여 검증하였다. Fitter 구조에 대하여 검증한 결과 <그림 9> 와 <그림 10> 에서와 같이 거리에 대한 신호의 퍼짐 정도가 Filtering을 수행한 후 속도와 각도를 벗어나지 않으며 일관성 있게 개선되는 것을 확인할 수 있었고, <그림 11> 과 <그림 12> 에서 거리와 속도 그리고 SNR이 서로 다른 3개의 목표물에 대하여 정확히 추적하고, 추적한 결과를 신호의 스펙트럼을 통해 확인할 수 있었다. BSD 레이더에 관련한 표준화 문서(KS X ISO 17387)를 검증하기 위한 BSD 레이더 성능시험을 <그림 13> 과 같이 환경을 구성하여 <표 3> 과 같이 추적알고리즘에 관련된 항목을 검증하였다. 따라서 본 논문에서 제시한 추적 알고리즘을 통해 보다 정확한 BSD 레이더 시스템의 목표물 추적을 위한 시스템을 설계할 수 있다는 것을 확인할 수 있었다.

참고문헌

- [1] 최병관, “자율주행자동차 오픈플랫폼 온톨로지 구축을 위한 스마트디바이스 연구,” 디지털산업정보학회 논문지, 제15권, 제3호, 2019, pp.1-14.
- [2] 박우빈 · 김문성 · 이우찬, “자율주행 환경의 전자기 해석을 위한 사용 및 자체 시뮬레이터 개발 동향,” 디지털산업정보학회 논문지, 제17권, 제4호,

2021, pp.31-42.

[3] H. Jung, J. Min, and J. Kim "An efficient lane detection algorithm for lane departure detection," 2013 IEEE Intelligent Vehicles Symposium, 2013, pp.976-981.

[4] M. H. Song, C. I. Kim, K. S. Lee and M. S. Kim, "Development of a Blind Spot Detection System by Using Ultrasonic Sensors which Based on Simulation," IEIE, 2016, pp.1189-1192.

[5] Blanche, J., Flynn, D., Lewis, H., Couples, G. and Cheung, R. "Analysis of geomaterials using frequency modulated continuous wave radar in the X-band. In Proceedings of the 2017 IEEE 26th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE)," Edinburgh, UK, 19-21 June 2017, pp.1376-1381.

[6] Nakagawa, K., Mitsumoto, M. and Kai, K. "Development of Millimeter-wave Radar for Latest Vehicle Systems," In Advanced Microsystems for Automotive Applications, 2005, Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2005, pp. 257-268.

[7] Wang, G., Wu, J., Xu, T. and Tian, B. "3D Vehicle Detection With RSU LiDAR for Autonomous Mine," IEEE Trans. Veh. Technol. 2021, 70, pp.344-355.

[8] Mahafza, B.R. Radar Systems Analysis and Design Using MATLAB, Chapman and Hall/CRC: Boca Raton, FL, USA, 2005.

[9] Lee, C., Yoon, C., Kong, H. J., Kim, H. C. and Kim, Y., "Heart Rate Tracking Using a Doppler Radar With the Reassigned Joint Time-Frequency Transform," IEEE Antennas Wirel. Propag. Lett. Vol.10, 2011, pp.1096-1099.

[10] Yildiz, R., Barut, M. and Zerdali, E. "A

comprehensive comparison of extended and unscented kalman filters for speed-sensorless control applications of induction motors," IEEE Trans. Ind. Inform. 16, 2020, pp.6423-6432.

[11] 기술표준원. "KS X ISO 17387: 지능형 교통체계-차로변경지원장치-성능 요구사항 및 시험절차," 지식경제부, 2012.12.

■ 저자소개 ■



김 완 태
(Kim Wantae)

2011년 3월-현재 서울대학교
정보통신공학과 조교수
2011년 2월 한국항공대학교 정보통신과
(공학박사)
2004년 2월 한국항공대학교 정보통신과
(공학석사)
관심분야 : 통신시스템 설계, IoT 시스템,
모바일 응용 S/W, AI Smart Car
E-mail : wtkim@seoil.ac.kr

논문접수일 : 2023년 3월 23일
수정접수일 : 2023년 4월 13일(1차)
2023년 5월 4일(2차)
게재확정일 : 2023년 5월 11일