차량용 레이다 센서의 장착 기울기에 따른 수신 신호 세기 변화에 관한 연구

김준호, 정태원, 박찬울, 이성욱

한국항공대학교 항공전자정보공학과

keemjuno@kau.kr, wjdxoone@kau.kr, chanyul97@kau.kr, swl90@kau.ac.kr

A Study on Change in Received Signal Strength with respect to Tilt Angle of Automotive Radar Sensor

Kim Junho, Jeong Taewon, Park Chanul, Lee Seongwook

Korea Aerospace University

요 약

본 논문에서는 차량용 레이더 센서의 초기 장착 각도 변화 여부를 판단하기 위하여 수신 신호 세기를 이용하는 방법에 대해 제안한다. 우선 정면의 정지 표적에 대하여 고도각 방향으로(-45° ~ 45°) 레이다 신호의 송신 각도를 바꿔가며 신호를 취득한다. 다음으로 거리 프로파일을 이용하여 레이다 기울기에 대한 수신 신호의 세기 값을 비교하였다. 이때, 송신 각도가 초기 설정 각도인 0°에 비해 증가 혹은 감소할 때 신호의 세기가 최대 10.78 dB까지 감소하는 것을 확인할 수 있다.

Ⅰ. 서 론

최근 차량용 자율주행 시스템이 고도화됨에 따라 자동차 산업에서 레이다, 카메라, 라이다 등 차량용 자율주행을 위한 인지 센서들의 사용이 증가하고 있다. 이러한 센서들은 운전자 지원 시스템과 운전자의 안전을 위한 각종 기능들을 제공한다. 하지만 자동차의 경우 주행 중 다양한 외부의 물리적인 충격으로 인해 이러한 센서들의 장착 각도가 왜곡될 수 있다. 특히 전자파를 사용하여 물체를 감지하는 레이다의 경우 장착 각도가 기울어져 송출 신호가 지면이나 하늘을 향하게 될 경우 심각한 탐지 성능 저하를 야기한다[1]. 본 논문에서는 레이다의 기울기에 따른 신호 세기를 측정하여 차량용 레이다 센서의 초기 장착 각도 변화 여부를 파악할 수 있는지 알아본다.

Ⅱ. 본 론

가. 주파수 변조 연속 파형 레이다 신호 모델

본 논문에서는 차량용 레이다에 주로 사용되는 주파수 변조 연속 파형(Frequency-modulated continuous wave, FMCW) 레이다 시스템을 사용한다. FMCW 레이다 시스템에서는 시간에 따라 주파수가 선형적으로 변하는 신호를 송출하며 전송된 신호는 (1)과 같이 표현된다. 여기서 A, f_c, B, T_c는 각각 진폭, 중심주파수, 대역폭, 처프 폭을 나타낸다.

$$s_t(t) = A_t \cos(2\pi f_c t + \pi \frac{B}{T_c} t^2). \quad (1)$$

송신 신호가 표적에 의해 반사되어 수신된 신호는 아래와 같이 표현되며, 여기서 K는 표적의 개수를 나타낸다.

$$s_r(t) = \sum_{k=1}^{K} A_{r,k} \cos(2\pi(f_c + f_{d,k})(t - t_{0,k}) + \pi \frac{B}{T_c}(t - t_{0,k})^2). \quad (2)$$

이렇게 수신된 신호는 주파수 혼합기에서 송신 신호와 곱해진 다음 저역통과 필터를 통과하게 되고, 그 결과 기저 대역 신호는 (3)과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} s_{d,I}(t) &= LPF(s_t(t) \times s_r(t)) \\ &\simeq \sum_{k=1}^{K} \frac{A_t A_{r,k}}{2} \cos[2\pi(\frac{B}{T_c} t_{0,k} - f_{d,k})t + 2\pi t_{0,k} f_c]. \end{aligned} \quad (3)$$

(3)의 기저 대역 신호가 아날로그-디지털 변환기를 통과하여 샘플링된 동위상 및 직교 위상 신호는 각각 (4)와 (5)와 같이 표현될 수 있다.

$$\begin{aligned} s_{d,I}[n] = \sum_{k=1}^{K} \frac{A_t A_{r,k}}{2} \cos[2\pi(\frac{B}{T_c} t_{0,k} - f_{d,k})n + 2\pi f_c t_{0,k}] \\ (n = 0, T_s, ..., (N-1)T_s), \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} s_{d,Q}[n] = \sum_{k=1}^{K} \frac{A_t A_{r,k}}{2} \sin[2\pi(\frac{B}{T_c} t_{0,k} - f_{d,k})n + 2\pi f_c t_{0,k}] \\ (n = 0, T_s, ..., (N-1)T_s). \end{aligned} \quad (5)$$

따라서, (4)와 (5)가 합쳐진 최종 IQ 복조 신호는 (6)과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} s_d[n] &= s_{d,I}[n] + s_{d,Q}[n] \\ &= \sum_{k=1}^{K} \frac{A_t A_{r,k}}{2} \exp[j2\pi(\frac{B}{T_c} t_{0,k} - f_{d,k})n + 2\pi f_c t_{0,k}] \\ &\quad (n = 0, T_s, ..., (N-1)T_s). \end{aligned} \quad (6)$$

마지막으로 디지털 신호 처리기에서는 (6)의 신호에 고속 푸리에 변환(Fast Fourier transform, FFT)을 적용하여 아래와 같은 주파수 영역 신호를 얻는다.

$$S_d[k] = \sum_{n=0}^{N-1} s_d[n] \exp(\frac{-j2\pi kn}{N}) \ (k = 0, 1, ..., N-1). \quad (7)$$

최종적으로 FFT를 적용한 (7)의 수신 신호를 사용하면 표적까지의 거리를 추정할 수 있다.

나. 실험 및 측정

본 논문에서는 Texas Instruments사의 AWR1642BOOST 레이다 센서가 장착된 DCA1000EVM 보드를 사용하여 측정을 진행하였으며, 표 1 과 같이 레이다 시스템 파라미터를 설정하였다. 이때, 그림 1과 같이 1 m 거리에서 차량의 후면부를 탐지하였으며, 통상적으로 차량용 레이다가 장착되는 높이인 지면 0.6 m에서 측정을 진행하였다. 레이다 기울기에 따른 신호 세기 변화를 관측하기 위해 -45° ~ 45° 사이의 각도를 15° 간격으로 나누어 총 7가지 경우의 서로 다른 각도 기울기(-45°, -30°, -15°, 0°, 15°, 30°, 45°)에서의 레이더 신호를 측정하였다.

그림 2 는 레이다 기울기가 0° ~ 45°인 경우에 대한 수신 신호 세기 측정 결과를 나타낸다. 표적이 존재하는 약 1 m 부근에서 피크가 발생하며 기울기가 증가함에 레이다의 방향이 하늘을 향하기 때문에 반사되어 돌아오는 신호의 세기가 감소하는 결과를 보인다. 초기 장착 각도(0°)에 비해 15°, 30°, 45°의 기울기 변화가 발생하는 경우, 수신 신호 세기가 각각 3.91 dB, 10.16 dB, 10.78 dB 감소하는 결과가 나타났다. 그림 3의 경우 레이다가 지면을 바라보는 경우의 신호 측정 결과로 그림 2와 동일하게 1 m 부근에서 피크가 관찰되며, 장착 각도가 -15°, -30°, -45°로 변화함에 따라 수신 신호 세기가 각각 2.3 dB, 5.59 dB, 8.31 dB 감소하는 결과를 보인다.

파라미터	값
중심주파수, f_c	77 GHz
대역폭, B	3 GHz
처프 폭, T_c	0.1 ms
처프 개수, N_c	128
샘플 개수, N	256
샘플링 주기, T_s	0.1 μs

표 1. 레이다 시스템 파라미터

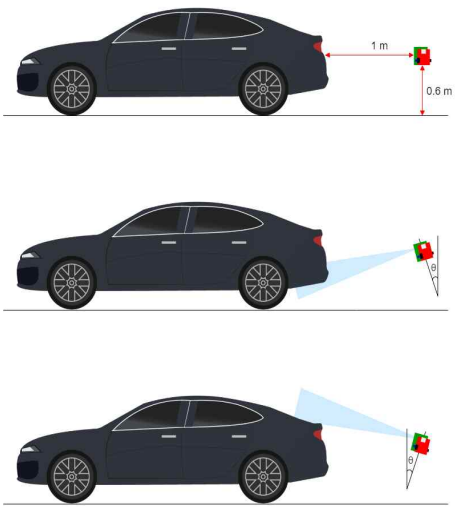

그림 1. 레이다 신호 측정 환경 예

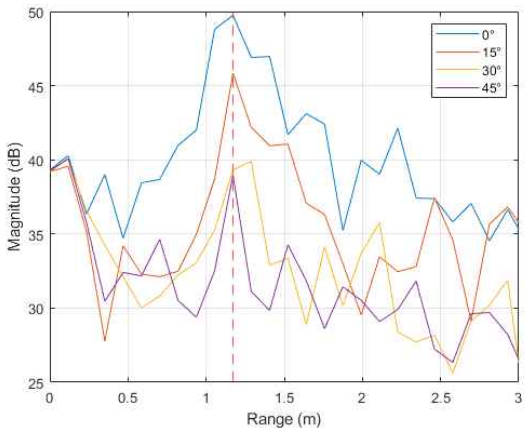

그림 2. 0°, 15°, 30°, 45° 기울기에서의 수신 신호 세기 측정 결과

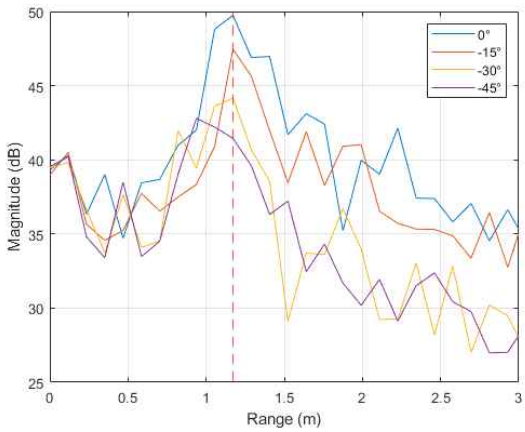

그림 3. 0°, -15°, -30°, -45° 기울기에서의 수신 신호 세기 측정 결과

Ⅲ. 결 론

본 논문에서는 총 7개의 레이더의 장착 기울기에 대하여 전방 차량의 후면을 탐지하였으며, 각 경우에 대하여 수신 신호 세기를 분석해 보았다. 그 결과 레이더가 정면(0°)으로 장착되었을 때에 비해 다른 경우들(-45°, -30°, -15°, 15°, 30°, 45°)에서 신호 세기들이 감쇄함을 확인하였다. 따라서, 신호 세기를 이용하면 차량용 레이다 센서의 초기 장착 각도 변화 여부를 파악할 수 있을 것으로 예상한다. 추후 다양한 거리에서 여러 차종에 대한 추가 측정을 통해 레이다 기울기에 따른 신호의 특징들을 파악하여 레이다 센서가 기울어진 각도를 추정하는 방법에 대한 연구를 진행할 예정이다.

ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by the Technology development Program (S3291987) funded by the Ministry of SMEs and Startups (MSS, Korea).

참 고 문 헌

[1] J. Jung, S. Lee, S. Lim, and S.-C. Kim, “Machine learning-based estimation for tilted mounting angle of automotive radar sensor,” IEEE Sensors Journal, vol. 20, no. 6, pp. 2928 - 2937, March 2020.