

논문 2008-45SC-6-5

차량용 레이더 간섭 제거 신호처리 방법

(Interference Cancelation Method for Intelligent Vehicle Radar)

현 유 진*, 이 종 훈*

(Eugin Hyun and Jong-Hun Lee)

요 약

차량용 레이더 신호처리 기술에는 정확한 거리 및 속도 추출, 다중 타겟 검지, 멀티패스에 의한 클러터 제거, 다중 레이더 간섭 제거 등이 요구된다. 본 논문에서는 77GHz FMCW 레이더를 탑재한 다중 사용자들의 간섭을 제거하기 위한 방법을 제안하였다. 이는 FMCW 레이더의 특성을 이용한 것으로, 레이더를 장착하는 각 차량들이 서로 다른 주파수 스윕(Sweep) 모양의 첨 열로 신호를 송신하는 방법이다. 제안된 방법은 비록 같은 주파수 대역을 사용하는 차량이 인접 지역에 여러 대 있어도 서로간의 간섭을 회피 할 수 있어, 지능형 자동차는 물론이고, 로봇, 무인 전투 차량, 무인 자동차 등 다양한 분야에 응용할 수 있을 것으로 본다.

Abstract

The most important requirement for the automotive radars is the simultaneous target range and velocity measurement under environment of multi-target, clutter, multi-path, and so on. If the many vehicles with 77GHz FMCW(Frequency Modulation Continuous Wave) radar system are in the near area, we should consider the interference signals occurred by other radar systems because these signals reduce exact detection of range and velocity. In this paper, we propose the interference cancellation method, which each vehicle radar transmits chirp trains with the different frequency sweep shapes. The proposed method is applied into the various applications such as an intelligent vehicle, Robot, and UGV(Unmanned Ground Vehicle).

Keywords : 레이더, 차량용 레이더, FMCW, 간섭

I. 서 론

미래형 자동차의 가장 큰 이슈 중 하나는 ‘안전’이다. 전방의 차량이나 장애물을 감지한 후 충돌 가능성이 높은 경우 운전자에게 경고하고 안전벨트 등을 자동으로 조작하여 충돌을 방지하는 사전충돌방지(PCS : Pre-Crash Safety) 시스템, 전방 차량의 상대 속도를 검지하여 사고 가능성이 높은 경우 엑셀, 브레이크, 조향 장치 등을 자동으로 조정하여 사고를 미리 막는 충돌회피 시스템(CAS : Collision Avoidance System), 전방의 차량과의 거리를 일정하게 유지하고 긴급 상황에

서 비상제동을 가능케 하는 지능형 속도 제어(ACC : Active Cruise Control) 시스템 등이 안전한 미래형 자동차를 위해 필요한 시스템이다. 즉, 탑승자의 안전성 뿐 아니라, 운전자 편의성 및 교통의 효율성까지 향상 할 수 있는 안전한 지능형 자동차가 현재 그리고 미래에 실현 될 것으로 본다^[1].

이러한 안전한 자동차가 실현 가능하기 위해서는 무엇보다 중요한 것은 바로 주행 환경인식 기술이다. 이러한 주행 환경인식 기술을 위해서는 센서 및 신호처리 기술의 확보가 반드시 필요하다^[1].

능동 안전을 위한 외부 환경 인식 센서로는 카메라, 광선레이더(LIDAR ; Light Detection and Ranging), 레이더(Radar), 초음파 등이 있다. 광선레이더 센서는 현재 전방 물체 검지를 위해 가장 상용화가 잘 되어진 센서로 그 정확성이 아주 뛰어나는 장점이 있지만, 습기

* 정희원, 대구경북과학기술연구원
(DGIST)

※ 이 논문은 교육과학기술부 2008년도 중점연구과제
의 연구결과입니다.
접수일자: 2008년10월20일, 수정완료일: 2008년10월22일

가 많거나 비가 오면 성능이 현저히 떨어지는 단점을 가지고 있다.

초음파는 현재 차량의 후방 감지 센서로 활용되고 있지만, 검지 거리가 짧아 다른 응용은 사실상 어렵다^[2].

카메라의 경우 차선인식, 전방 물체 검지, 후방 물체 검지 등 다양한 분야에 활용되고 있으나, 시계가 확보되지 않는 밤, 안개 진 날 등에는 효과적이지 못하다^[2].

이에 반해 레이더 센서는 밤/낮, 날씨, 습도 등 주위 환경의 영향을 받지 않는다. 현재 레이더의 경우 지능형 자동차를 위해 24GHz 및 77GHz 대역이 활용되고 있고, 특히 77GHz FMCW 레이더의 경우는 개발이 활발히 진행되고 있다^{[2][3]}. 즉, 밀리미터파인 77GHz 대역의 경우 응용의 특성상 여러 가지 기상조건에서도 비교적 오류가 적고 사용이 용이하다는 특성을 갖고 있어 현재에는 가장 활발히 연구되고 있는 분야이다^[4].

차량용 레이더 기술은 RF 기술과 신호처리 기술로 나누어진다. 그중 신호처리 기술에는 고해상도 거리 및 속도 추출 기술, 다중 타겟 검지 기술, 다중 레이더 간섭 제거 기술, 멀티파스에 의한 클러터 제거 기술, RF 비선형 보상 기술 등이 요구 된다.

그중 도로 상에 레이더를 장착한 차량이 여러 대 있을 때, 각 반사파에 의한 간섭이 발생함으로써 정확한 타겟의 정보(거리와 속도)를 검출하는 게 어려워 질 수 있다. 이를 위해 반드시 다중 사용자들에 의해 발생한 간섭을 제거하기 위한 기술이 필요하다. 본 논문에서는 FMCW 레이더를 탑재한 다중 사용자들의 간섭을 제거하기 위한 방법을 제안 한다.

먼저 II장에서는 FMCW 레이더의 개요에 대해 소개 하며, III장에서는 레이더 간섭을 제거하기 위해 제안된 방법을 설명한다. 또한 IV장에서는 모의실험 결과를 보여주며, V장을 통해 결론짓고자 한다.

II. FMCW 레이더 개요

FMCW 방식의 레이더는 그림 1과 같이 삼각파 형상의 주파수 변조된 첨 신호를 송신하며, 그중 주파수 상승구간에서의 송신신호 수식은 (1)과 같다. 또한 이 송신신호는 타겟에서 반사되어지고, 수신신호의 수식은 (2)과 같다. 여기서 f_c 는 중심 주파수, f_0 는 시작주파수, B 는 대역폭, T_m 는 첨 주기이다. 또한 α 는 첨 레이트(Chirp rate)로 $B/(T_m/2)$ 로 표현되며, A 는 신호의 크기, θ_0 는 위상 초기값이다. 또한 t_d 는 송신신호와 수

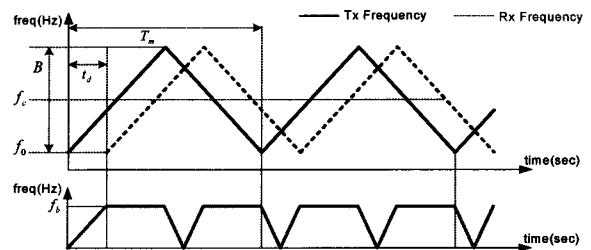


그림 1. 송신, 수신, 비트 주파수.

Fig. 1. Transmitted, received, and beat frequencies as a function of time for stationary target.

신신호 사이의 지연 시간으로, 타겟 물체와의 거리에 의해 결정된다^{[5][6]}.

$$S_{tx}(t) = Ae^{2\pi j(f_c t + \frac{1}{2}\alpha t + \theta_0)} \quad (1)$$

$$S_{rx}(t) = Ae^{2\pi j(f_c(t-t_d) + \frac{1}{2}\alpha(t-t_d) + \theta_0)} \quad (2)$$

송신신호와 반사된 수신신호의 주파수 차이를 이용하면 식 (3)과 같이 비트 신호가 구해지고, 그 비트 주파수는 식 (4)과 같이 일정한 값으로 나타난다^{[5][6]}.

$$S_b(t) = Ae^{2\pi j\left(f_c t_d + \alpha t_d + \frac{1}{2}\alpha t_d^2\right)} \quad (3)$$

$$f_b = \alpha t_d = \frac{B}{T} \cdot \frac{2R}{c} \quad (4)$$

결국, 비트 신호를 이용하여 주파수 스펙트럼을 분석하면 비트 주파수에 대응하는 거리 정보를 얻을 수 있다. 지연시간, t_d 가 길어지면, 비트주파수의 값은 크고 전력 스펙트럼 값은 낮아지게 된다.

속도 정보 역시 비트 주파수의 조합으로 얻을 수 있지만, 본 논문에서는 정지된 차량에 대해서만 일단 고려할 예정이다.

만약 그림 2와 같이 도로상에서 다중의 사용자가

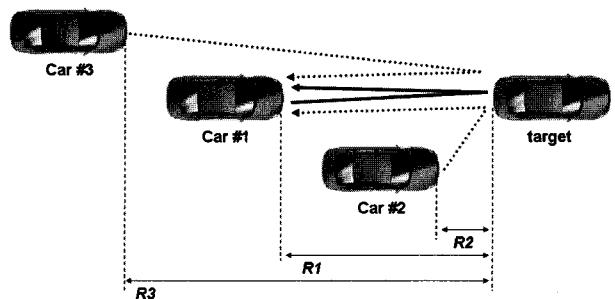


그림 2. 다중 사용자에 의한 간섭을 설명하는 예제
Fig. 2. The example of multi-user interference.

FMCW 레이더 시스템을 사용하게 되는 경우를 고려해 보자. 이 예제에서는 차량 1~3이 송신한 신호가 타겟 차량에 반사되어 모두 차량 1로 수신되는 경우를 나타낸다. 차량 1은 거리 R1~R3에 따라 각각 다른 비트 주파수를 가지는 신호들을 수신 되게 될 것이고 이 신호 중 어떤 신호가 간섭신호이고 어떤 신호가 실제 신호인지를 구별 할 수가 없다.

따라서 논문에서는 다중 사용자 모드의 FMCW 차량용 레이더 신호처리 방법에 대해 소개한다.

III. 제안된 방법

먼저 그림 3과 같이, 수신된 주파수의 스윕(Sweep) 모양이 송신 주파수의 모양의 반전된 경우를 예를 들어 보자.

이때의 비트 주파수는, $f_b = B - \alpha t_d$ 가 된다. 이는 수신신호가 지연 시간이 길어 송신신호 주파수 스윕의 반전된 모양을 가지거나, 혹은 다른 곳에서 발생한 반전된 주파수 스윕 모양을 가진 신호가 원하지 않게 수신될 때 가능한 시나리오이다. 즉, 송신신호 주파수의 스윕 모양과 수신신호 주파수의 모양이 서로 반대인 경우 αt_d 가 아닌 $B - \alpha t_d$ 비트 주파수가 나타난다.

본 논문에서는 이러한 특성을 이용하여 다중 레이더 간의 간섭을 제거하는 방법을 제안한다. 즉, 각 차량은 송신 주파수 스윕 모양의 순서를 다르게 조합한 첨열(Chirp train) 방식으로 송신신호를 전송하는 방법이다. 그림 4는 첫 번째 주파수 스윕 모양은 동일하고, 나머지 3개의 삼각파가 다른 모양으로 표현될 수 있는 첨열을 나타낸 것이다. 예를 들어, 본인의 차량이 그림 4의 삼각파 1을 사용한다면, 올바른 수신신호는 $T_{m1} \sim T_{m4}$ 구간에 모두 동일한 비트 주파수가 나타날 것이다. 그러나 삼각파 6를 사용하는 레이더가 송신한 신호

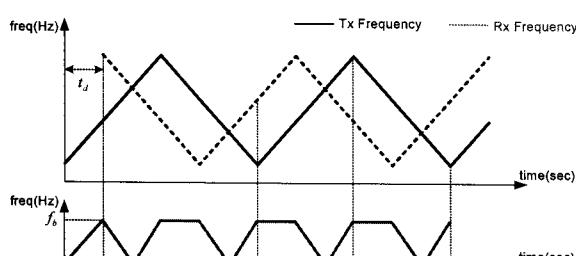


그림 3. 송수신 주파수 스윕 모양이 다른 경우의 비트 주파수

Fig. 3. Beat frequencies in case the Tx and Rx signals have the different frequency sweep shape.

가 본인 차량에 간섭 신호로 수신되면, T_{m1} (또는 T_{m4}) 구간에서는 추출된 비트 주파수 값과 T_{m2} (또는 T_{m3}) 같지 않을 것이다.

제안된 방법을 좀 더 설명하기 위해 그림 5와 6의 예제를 제시한다. 그림 5에서 구간(phase) 1과 2를 보면 비트 주파수가 αt_d 와 $B - \alpha t_d$ 가 생성됨을 알 수 있다. 여기서 αt_d 는 현재의 비트 주파수인데 반해, 구간 1에서 발생된 비트 주파수 $B - \alpha t_d$ 는 앞 주기의 주파수 성분이 자연되어 생성된 불필요한 비트 주파수이다. 자연시간, t_d 가 작다면 구간 1의 시간이 짧게 되어, 구간 1에서 발생된 비트 주파수 $B - \alpha t_d$ 는 B 에 가까워지고 전력 스펙트럼은 낮아진다. 반대로 t_d 가 커진다면 구간 2에서 발생된 비트 주파수 αt_d 는 B 에 가까워진다. 이 때 전력 스펙트럼 역시 낮아져 $B - \alpha t_d$ 가 우열 주파수(dominant frequency)가 되는 원하지 않는 상황도 발생한다.

다음으로 그림 6은 구간 1과 2 모두 주파수 모양이 다른 경우로, 이 구간에는 우열 주파수는 나타나지 않고, 0에서 $B - \alpha t_d$ 까지 골고루 아주 낮게 전력 스펙트

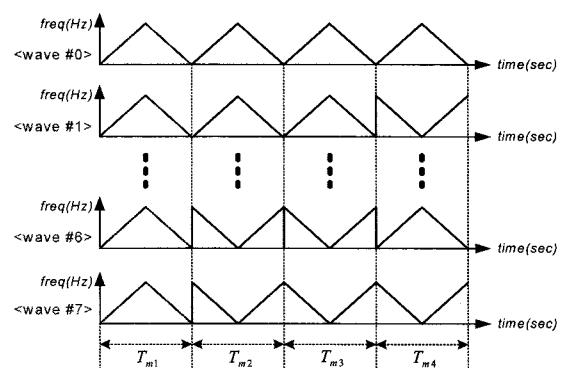


그림 4. 구현 가능한 다양한 첨열

Fig. 4. The frequency sweep types of transmitted signals.

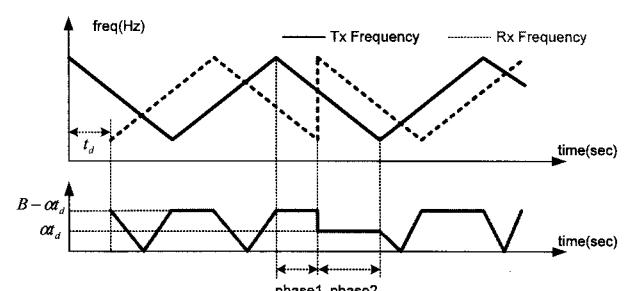


그림 5. 간섭신호에 의한 비트 주파수의 모양을 설명하기 위한 예제 1

Fig. 5. The first example for beat frequency shape due to interference signal.

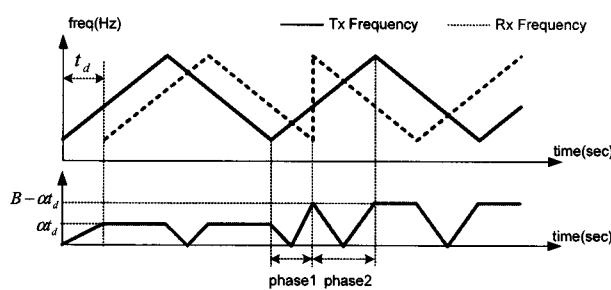


그림 6. 간섭신호에 의한 비트 주파수의 모양을 설명하기 위한 예제 2

Fig. 6. The second example for beat frequency shape due to interference signal.

럼을 가지며 주파수가 분포될 것이다.

그림 5와 6에서 살펴보았듯이, 비트 주파수는 크게 두 개의 구간으로 구분되어 생성된다. 구간 1에서는 지연 시간에 의해 수신신호의 그전 주파수 모양이 현재 비트 주파수에 영향을 준다. 구간 2에서는 원래 원하는 송수신신호에 의해 비트 주파수가 생성된다. 즉, 두 개의 구간의 송수신 주파수의 기울기 모양이 같은지 여부에 따라 비트 주파수가 결정되된다.

여러 대의 레이더가 그림 4와 같이 다양한 주파수 스윕을 가지는 경우, 이 다양한 스윕 모양의 신호들이 각각의 지연시간을 가지며 수신될 것이다. 이때, 자신의 차의 레이더에서 송신한 주파수 스윕 모양을 기준으로 비트 주파수를 구하면 표 1과 같은 성분들이 나타난다. 여기서 유일한 αt_d 비트 주파수 성분을 가지는 경우는, 자신이 송신한 신호를 그대로 수신한 경우이며, 나머지 3가지 경우는 간섭 신호에 의해 발생할 수 있는 비트 주파수들이다.

위의 결과에서 알 수 있듯이, 주파수 스펙트럼 상에서 나타난 여러 개의 우열 주파수 성분들 중, αt_d 와 $B - \alpha t_d$ 를 구별해 낼 수 있어야 간섭 성분을 제거할 수 있다.

만약 t_d 가 $T/2$ 인 경우에는 $\alpha t_d = B - \alpha t_d$ 가 되고, 두 비트 주파수는 모두 $B/2$ 가 된다. 이 경우 원하는

표 1. 송수신 주파수 모양에 따른 비트 주파수 값
Table 1. The four beat frequency types classified by the frequency sweep shapes.

송수신 주파수의 기울기 모양이 같은가?		구간 2에서	
구간 1에서	예	예	아니오
	아니오	αt_d	$B - \alpha t_d$

신호와 간섭신호를 전혀 구별 할 수 없는 상황이 발생할 수 있다.

그러나 일반적으로 차량용 레이더에서는, 지연시간 t_d 가 T_m 의 반주기인 T 의 10% 이내가 되는 타겟만이 관심을 둔다^[6]. 즉, $f_b \leq 0.1B$ 인 비트 주파수 외에는 RF 상에서 LPF에 의해 모두 필터링 되어 질 것이다. 또한 신호처리부에서 샘플링 주파수 이상의 주파수들은 필터링 된다. 따라서 주파수 $B - \alpha t_d$ 는 항상 $0.9B$ 이상이 되므로 모두 필터링 될 것이고, 실제로 남은 비트 주파수는 αt_d 중 $0.1B$ 이하의 값만 나타날 것이다.

그림 2의 예제에서 3대의 차량이 각기 다른 주파수 스윕을 가지는 경우, 차량 1로 수신된 비트 신호의 주파수 스펙트럼의 예제를 그림 7에 나타내었다. 4개의 구간인 $T_{m1} \sim T_{m4}$ 의 모든 구간에서 동일한 주파수 성분이 나타나는 비트 주파수 αt_{d1} 가 바로 원하는 성분이며, 4개의 구간에서 동일한 주파수 성분이 나타나지 않는 αt_{d3} 는 다른 차량에 의한 간섭 비트 주파수 성분이다. 또한 제안된 방법의 특성상 나타 날 수 있는 비트 주파수 αt_{d2} , $B - \alpha t_{d2}$, $B - \alpha t_{d3}$ 은 RF 단의 LPF나 신호처리부의 디지털 필터에 의해 모두 제거된다.

본 논문에서 제안된 방법에서는, 또한 그림 3과 같이 첫 번째 주파수 모양은 모든 차량이 동일하게 사용한다. 그 이유는 다른 차량에 의한 간섭 주파수가, 공교롭게 본인의 주파수 모양과 위상이 반대인 경우를 방지하기 위해서이다. 첫 주파수 모양을 제외한 나머지 모양은 각 차량들이 다르게 가짐으로써 서로의 간섭을 제거할 수 있다.

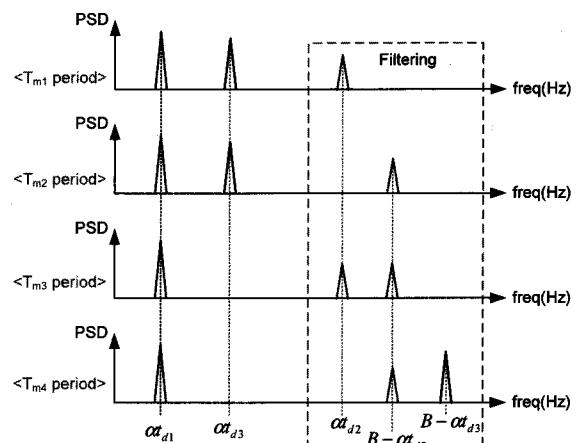


그림 7. 제안된 방법이 적용되는 경우의 첨연 각 구간 비트 신호 스펙트럼 예제

Fig. 7. The example of range profiles in case using the proposed method for $T_{m1} \sim T_{m2}$.

IV. 모의실험

그림 8과 9는 제안된 알고리즘을 Matlab으로 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 중심 주파수 f_c 는 76.5GHz이고, 대역폭 B 는 1GHz이다. 또한 첨 주기 T_m 은 0.25ms이며, 첨 열의 개수는 4개이다. ADC 샘플링 주파수는 20MHz로 시뮬레이션 된 레이더의 최대 측정 가능 거리는 이론상 약 200m이다. 도로상 차량은 그림 2와 같이 모두 3대이다. 멀티팩스 환경은 따로 고려하지 않았으며, 오직 가우시안 잡음환경만(SNR=-10)을 고려하였다.

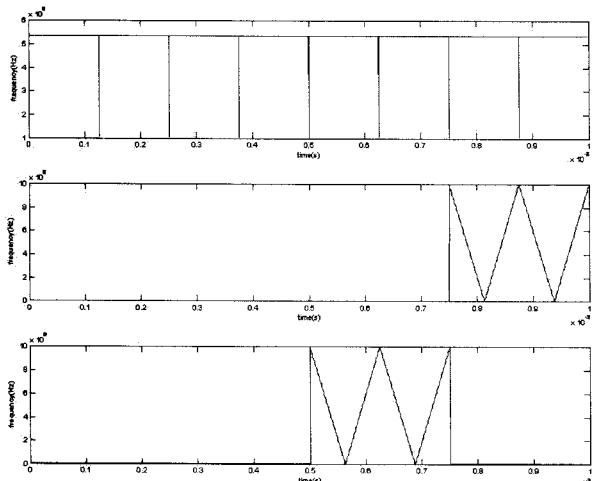


그림 8. 제안된 방법이 적용된 비트 주파수 (주파수 스윕 모양이 0, 1, 2인 경우)

Fig. 8. The beat frequencies as a function of time in case frequency sweep shapes of three radars are 0, 1, and 2.

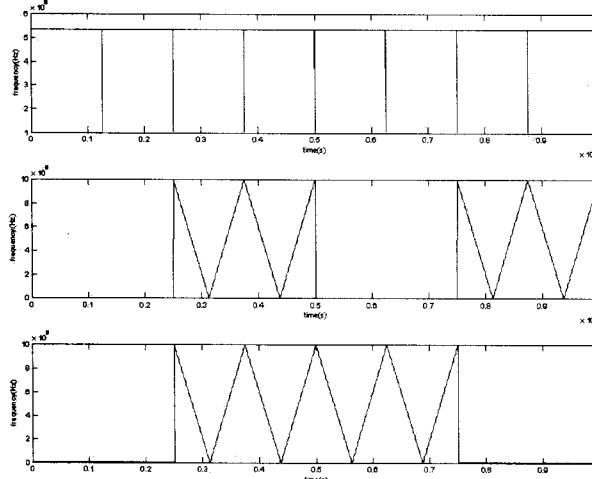


그림 9. 제안된 방법이 적용된 비트 주파수 (주파수 스윕 모양이 0, 5, 6인 경우)

Fig. 9. The beat frequencies as a function of time in case frequency sweep shapes of three radars are 0, 5, and 6.

다. 또한 각 차량의 속도가 동일하다고 가정하여, 상대 속도 0인 경우만을 고려하였다.

그림 8과 9는 차량 1의 수신 신호를 통해 검출된 비트 주파수를 시간 축에서 보여주고 있다. 즉, 레이더 3 개로부터 각각 송신되어 타겟 차량으로부터 반사된 신호의 비트 주파수를 나타낸다. 여기서 타겟 차량과 각 차량과의 거리는 R1이 100m, R2가 0m, R3가 200m로 가정하였다. 먼저 그림 8에서는, 차량 1은 그림 4의 과형 0, 차량 2는 과형 1, 그리고 마지막으로 차량 3은 과형 2와 같은 삼각파 모양을 가진 경우의 시뮬레이션 결과이다. 그림 9는 차량 2와 3인 과형 5와 6의 삼각파 모양을 가진 경우의 시뮬레이션 결과이다. 각 시뮬레이션에서 보듯이, 차량 1에 의해 전송되어 타겟 차량으로부터 반사된 수신신호의 비트 주파수의 트립거리(trip distance)가 200m(타겟과의 거리는 100m)에 해당하는 5.3MHz가 일정하게 나타난다. 그러나 차량 2와 차량 3에 의해 송신되어 차량 1로 수신된 신호의 비트 주파수인, 2.7MHz(트립거리가 100m)와 8MHz(트립거리가 300m)인 비트주파수는 모든 구간에서 나타나지 않는다. 즉, 차량 1의 입장에서 보면 자신이 송신한 레이더 신호의 삼각파와 모양이 같은 구간에서만 27MHz 비트주파수가 일정하게 나오는 것이다.

위의 두 개 예제에 해당하는 비트 신호를 4개의 구간으로 나누어 FFT를 통해 주파수 스펙트럼을 추출하여 그림 10과 11에 나타내었다. SNR은 -10dB이며, 가로축은 거리로 나타내었다. PSD1~PSD4는 첨 열의 4개 구간에서의 각각 비트 주파수이다. 여기서 우열 주파수가 4개의 구간에 모두 존재하는 경우만이 차량 1로부터 생

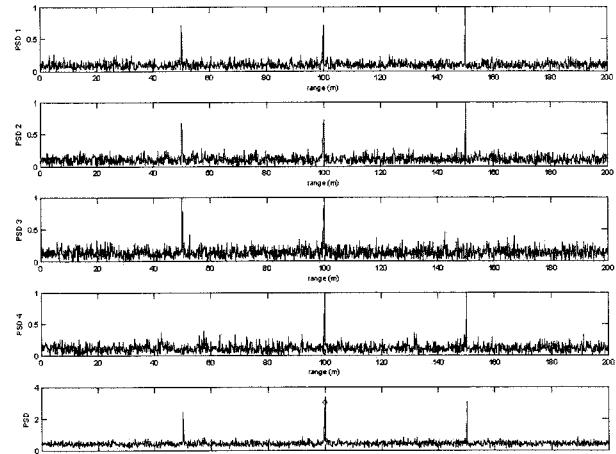


그림 10. 정규화 된 타겟들의 거리 정보(주파수 스윕 모양이 그림 8의 경우)

Fig. 10. Normalized range profiles in case of figure 8.

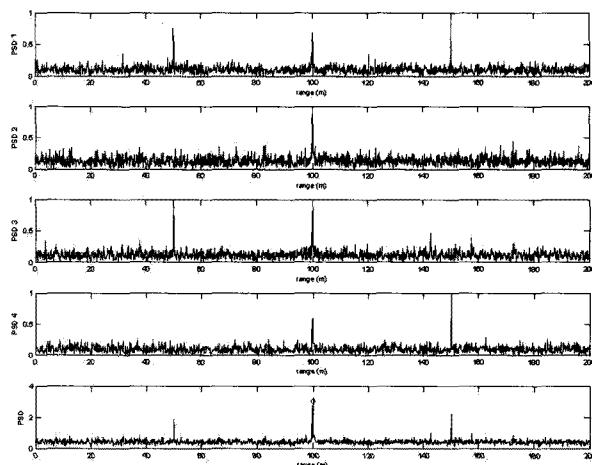


그림 11. 정규화 된 타겟들의 거리 정보(주파수 스윕 모양이 그림 9의 경우)

Fig. 11. Normalized range profiles obtains in case of figure 9.

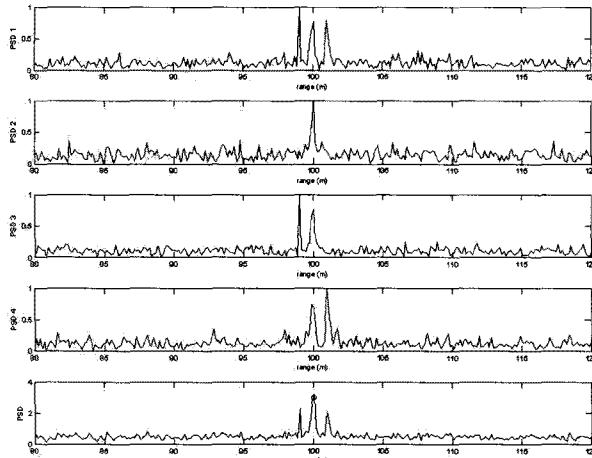


그림 12. 정규화된 타겟들의 거리 정보(3대의 차량이 가까이 있는 경우)

Fig. 12. Normalized range profiles when 3 cars are in near area.

성된 비트 신호의 주파수에 해당한다. 본 시뮬레이션에서는 PSD1~PSD4의 주파수 스펙트럼을 모두 더하여 (그림 10과 그림11의 맨 아래 결과) 가장 값이 높은 스펙트럼에 해당하는 값을 타겟으로 인식하는 가장 간단한 방법을 선택하였다. 맨 아래 결과에서 보면 마지막 결과에서 보듯이 R1에 해당하는 100m 값이 검지되는 걸 알 수 있다. 여기서 가로축은 거리로 환산되어 표현되어 있다. 또한 간섭 신호는 마치 50m 타겟(트립거리 100m)과 150m 타겟(트립거리 300m)을 검지하며 나타내게 된다.

그림 12는 R2와 R3가 모두 99m와 101m인 상황에 대한 비트 신호의 주파수 스펙트럼이다. 각 차량의 삼각파 모양을 포함한 다른 조건은 그림 8의 예제와 동일

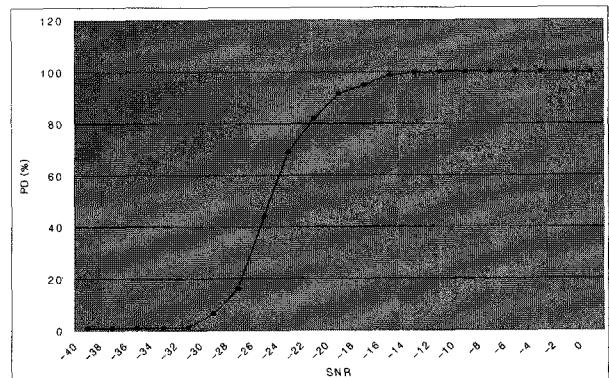


그림 13. SNR이 0~-40dB일때의 탐지 확률

Fig. 13. The probability of detection in case of SNR from 0 to -40dB.

하다. 차량 간 거리가 1m 정도 떨어진 경우에도, 우열 주파수의 분포가 앞서 설명한데로 나타남을 알 수 있다. 다만, 멀티페스 성분이나, 클러터가 발생하는 경우 이들을 정확하게 구분하기 위해서는 보다 정밀한 전력 스펙트럼이 필요할 수 있다. 그럴 경우 FFT 만을 통해서는 고해상도 스펙트럼을 얻는 것이 힘들기 때문에, MUSIC(MUltiple SIgnal Classification)등과 같은 고해상도 알고리즘이 적용 되어야 할 것이다.

마지막으로 SNR을 0~-40dB 범위에서 2dB씩 증가시키며, 각각 1000개의 경우에 시뮬레이션을 통해 탐지 확률을 구하였다. 차량2와 3의 각 삼각파 모양은 과형 1과 2이고 나머지 조건이나 검지 방법은 앞선 시뮬레이션과 동일하다. 그림 13에서 보듯이 SNR이 -20dB 일 때 까지는 90% 이상의 탐지 확률을 나타내다가, 그 이후로 SNR이 떨어지는 경우에는 급격히 탐지 확률이 낮아지는 걸 알 수 있다.

본 논문에서는, 정지된 차량에 대해서만 고려하였으나, 움직이는 차량의 경우 역시 FMCW 특성상 FFT를 통해 도플러 주파수를 검지할 수 있다. 또한 멀티페스, 클러터 등 다양한 환경이 함께 향후 고려되어야 될 것이다.

V. 결 론

본 논문에서는 77GHz FMCW 레이더를 탑재한 다중 사용자들의 간섭을 제거하기 위한 방법을 제안하였다. 이는 FMCW 레이더의 특성을 이용한 것으로, 레이더를 장착한 각 차량은 서로 다른 주파수 모양의 첨 열을 송신함으로써, 간섭 신호에 의해 발생한 비트 주파수를 제거하는 방법이다. 이는 수식과 시뮬레이션을 통해 증

명되었다.

제안된 방법을 이용하면 비록 같은 주파수 대역을 사용하는 차량이 인접 지역에 여러 대 있어도 서로간의 간섭을 회피 할 수 있어, 지능형 자동차는 물론이고, 로봇, 무인 전투 차량, 무인 자동차 등 다양한 분야에 응용할 수 있을 것으로 본다.

참 고 문 헌

- [1] 양인범, '자동차 전장기술', IT Soc magazine vol. 24, 2008년 5월, pp. 44-51.
- [2] SupplierBusiness, Market report : Active Safety System Report, July, 2007.
- [3] 김동호, 조평동, "차량용 레이더 응용 기술 및 발전 방향", 전자통신동향분석 제18권 제1호, 2003년 2월, pp. 33-41.
- [4] 배창호, '차량 레이더 기술 동향 연구', 전자통신동향분석 제21권 제4호, 2006년 8월, pp. 142-151.
- [5] Graham M Brooker, "Understanding Millimetre Wave FMCW Radars", 1st International Conference on Sensing Technology, New Zealand, 2005, pp. 152-157.
- [6] Bassem R. Mahafza, Radar Systems Analysis and Design Using MATLAB, Chapman & Hall/CRC, 2005, pp. 119-129.

저 자 소 개



현 유 진(정회원)

1999년 2월 영남대학교
전자공학과 학사 졸업.
2001년 8월 영남대학교
전자공학과 석사 졸업.
2005년 8월 영남대학교
전자공학과 박사 졸업.
2005년 6월 ~ 현재 DGIST(대구경북과학기술
연구원) 융합신호처리 연구팀,
선임 연구원
2006년 3월 ~ 현재 영남대학교 전자정보공학부
겸임교수
<주관심분야 : SoC, DSP, 차량용 레이더, 지능형
자동차>



이 종 훈(정회원)

1996년 2월 성균관대학교
전자공학과 학사
1998년 2월 성균관대학교 전기
전자및컴퓨터공학과 석사
2002년 2월 성균관대학교 전기
전자및컴퓨터공학과 박사
2002년 1월 ~ 2005년 7월 삼성전자 통신연구소
책임연구원
2005년 7월 ~ 현재 DGIST(대구경북과학기술
연구원) 융합신호처리 연구팀,
과제책임자
2006년 3월 ~ 현재 영남대학교 전자정보공학부
겸임교수
<주관심분야 : Optical interconnection, UWB, 레
이더, 지능형 자동차>