

논문 2010-05-12

# 차량용 FMCW 레이더의 다중 타겟 검출을 위한 신호처리부 구조 제안

(Architecture of Signal Processing Module  
for Multi-Target Detection in Automotive FMCW Radar)

현 유 진\*, 오 우 진, 이 종 훈  
(Eugin Hyun, Woojin Oh, Jong-Hun Lee)

Abstract : The FMCW(Frequency Modulation Continuous Wave) radar possesses range-velocity ambiguity to identify the correct combination of beat frequencies for each target in the multi-target situation. It can lead to ghost targets and missing targets, and it can reduce the detection probability. In this paper, we propose an effective identification algorithm for the correct pairs of beat frequencies and the signal processing hardware architecture to effectively support the algorithm. First, using the correlation of the detected up- and down-beat frequencies and Doppler frequencies, the possible combinations are determined. Then, final pairing algorithm is completed with the power spectrum density of the correlated up- and down-beat frequencies. The proposed hardware processor has the basic architecture consisting of beat-frequency registers, pairing table memory, and decision unit. This method will be useful to improve the radar detection probability and reduce the false alarm rate.

Keywords : 지능형 자동차, 차량용 레이더, 레이더, FMCW

## 1. 서론

오늘날 24GHz 및 77GHz 차량용 레이더는 지능형 자동차의 능동 안전 시스템의 핵심 센서 기술로 부각되고 있다[1]. 그 중 77GHz FMCW 레이더는 높은 성능이 요구되는 자동차 안전 시스템 분야에 효과적이며, ACC(Adaptive Cruise Control) 시스템 등과 같은 사고 경감 시스템에서 이미 상당 부분 상용화되고 있다[1][2][3].

FMCW 레이더는 일반적으로 수신 비트 신호의 주파수 스펙트럼을 분석함으로써 타겟의 거리와 속도를 구한다[3][4]. 이때 수신 비트 주파수는 타겟

과의 거리에 따른 주파수 성분과 타겟의 상대 속도에 따른 도플러 주파수의 조합으로 이루어져 있다. 따라서 다중 이동 차량들이 전방에 존재하고 검출해야 될 거리 및 속도의 검출 범위가 넓은 도로 환경을 고려하면, FMCW 차량용 레이더에서는 아래와 같은 요구 사항이 절대적으로 중요하다[5][6].

- 거리와 속도 정보를 각 타겟별로 어떻게 정확하게 구별 할 것인가
- 각 다중 타겟의 비트 주파수의 정확한 조합을 어떻게 찾아 낼 것인가

이러한 레이더의 제한점들이 거리-속도 탐지 과정에서 소위 ‘고스트 타겟(ghost target)’이나 ‘누락 타겟(missing target)’을 유발시켜 탐지 확률을 떨어뜨리고 오탐지율을 상승시키는 문제를 발생시킨다[5][6]. 이러한 문제점을 해결하기 위해 많은 방법들이 선행 연구되어 졌다. 예를 들면, 업-칩(Up-chirp) 신호와 다운-칩(Down-chirp) 신호와 별도로 도플러 주파수를 검출하기 위한 비변조 신호

\* 교신저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2010. 03. 04., 수정일: 2010. 04. 14.,

채택일 : 2010. 04. 23

현유진, 이종훈 : 대구경북과학기술원(DGIST)

오우진 : 금오공과대학교

※ 본 논문은 교육과학기술부 중점연구과제의 연구결과입니다.

호를 전송하는 방법이 있다[5]. 즉, 3개의 구간에서 수신된 업-비트 및 다운-비트 주파수 그리고 도플러 주파수를 조합하여 타겟의 거리 및 속도를 검출한다. 그러나 이 방법은 탐지해야 할 타겟의 수가 많아지면, 조합하기 위한 알고리즘이 복잡해 질 수 있다. 또한 정확한 실제 타겟의 수를 알 수 없는 상황에서 검출된 3개의 주파수만으로 타겟을 탐지할 경우 여전히 고스트 타겟을 검출하거나 누락 타겟이 발생할수 있는 가능성이 존재한다. 이에 선행 연구 [6]에서는 이를 해결하기 위한 알고리즘을 제안하였다. 이는 업-비트 주파수와 다운-비트 주파수의 가능한 조합을 테이블로 만든 후, 도플러 주파수와 수신 전력 밀도를 이용하여 가능한 조합을 찾는 방법이다. 이에 본 논문에서는 제안된 알고리즘을 효과적으로 적용할 수 있는 하드웨어 구조를 제안한다.

일반적으로 FMCW 레이더는 그림 1과 같이 삼각파 형태로 시간에 따라 주파수 변조된 연속 신호를 전송한다. 그림 1(a)는 송신 신호와 이동 타겟으로부터 수신된 신호를 나타낸다. 여기서  $B$ 는 대역폭,  $T_m$ 은 변조 주기,  $t_d$ 는 타겟에 의한 지연시간, 그리고  $f_d$ 는 이동 타겟의 상대 속도에 의한 도플러 주파수를 나타낸다. 그림 2(b)는 송신 주파수와 수신 주파수의 차이로 표현되는 비트 주파수를 나타낸다. 비트 주파수는 업-비트 주파수  $f_{bu}$ 와 다운-비트 주파수  $f_{bd}$ 로 각각 구분된다.

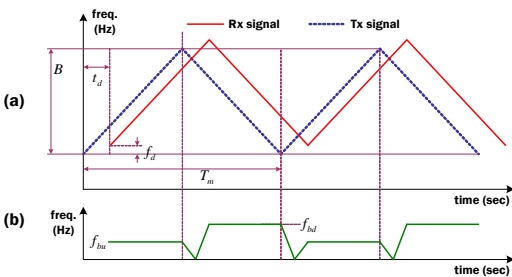


그림 1. 삼각파 형태로 변조된 FMCW 레이더 파형: (a) 송신 및 수신 신호 주파수, (b) 비트 주파수  
Fig. 1. FMCW radar waveform modulated with a triangle frequency sweep in the time domain for a single moving target, (a) frequency plot of the transmitted and received signal, (b) the corresponding beat frequency

업-비트 주파수 및 다운-비트 주파수는 타겟과의 거리 및 타겟의 상대 속도의 조합으로 표현되며,

이는 식(1)과 (2)와 같이 표현된다. 여기서  $f_r$ 은 거리 비트 주파수(Range beat frequency)이며  $f_d$ 는 도플러 주파수이다. 여기서, 음수  $f_d$ 는 타겟이 레이더와 가까워지고 있음을 나타내며, 양수  $f_d$ 는 타겟이 점점 멀어지고 있음을 나타낸다. 따라서 검출된 비트 주파수들을 이용하여 거리와 속도를 구할 수 있다.

$$f_{bu} = f_r + f_d \tag{1}$$

$$f_{bd} = f_r - f_d \tag{2}$$

다중 타겟 환경에서는, 여러개의 업-비트 및 다운-비트 주파수가 검출 되므로, 이 두 주파수를 얼마나 더 정확하게 페어링(Pairing)하느냐에 따라 탐지 성능이 결정된다. 여기서 페어링이라 함은, 같은 타겟으로 부터 수신되어진 업- 및 다운-비트 주파수를 찾아 조합하는 과정을 나타낸다.

이렇게 페어링을 통해 검출 가능한  $f_r$ 과  $f_d$ 의 예제를 그림 2의  $f_d - f_r$  다이어그램으로 나타내었다 [4]. 여기서 음의 기울기를 가지는 두 개의 실선은 측정된 두 개의 업-비트 주파수  $f_{bu1}$ 와  $f_{bu2}$ 에 의해 각각 조합 가능한  $f_d$ 와  $f_r$ 의 집합을 표현한다. 양의 기울기를 가지는 두 개의 점선은 역시  $f_{bd1}$ 와  $f_{bd2}$ 에 의해 각각 가능한 거리-비트 주파수 및 도플러 주파수를 나타낸다.

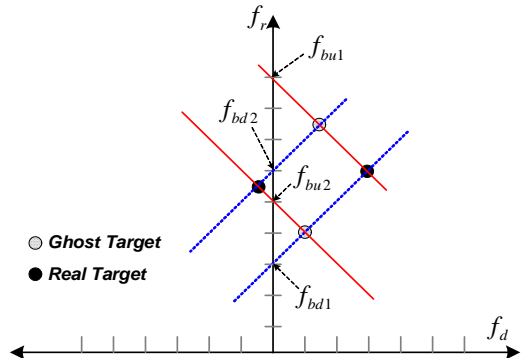


그림 2. 두 개의 타겟으로 부터 측정된 업-칩 및 다운-칩에 의한  $f_d - f_r$  다이어그램 예  
Fig. 2. Example  $f_d - f_r$  diagram for two targets measured with up- and down-chirps

이때 페어링이 가능한 업-비트 주파수와 다운-비트 주파수의 교차점이 4개가 나타나며, 이중 2개는 실제 타겟이지만, 나머지 2개는 고스트 타겟이

다. 여기서 고스트 타겟이라 함은 실제로 존재하지 않음에도 불구하고, 식 (1)과 (2)를 만족하는 허위 타겟을 나타낸다[5][6].

결론적으로, 다중 타겟 환경에서 정확한 거리 및 속도의 동시 검출을 위해서는 다중 첩과 같은 새로운 송신파형 모양이 적용되어야 한다[3]. 또한 실제 타겟들의 업- 및 다운-비트 주파수의 유일 조합을 찾기 위한 페어링 알고리즘도 요구된다.

이러한 페어링 알고리즘을 포함한 탐지 알고리즘들은 다중 타겟 검출 적용시 복잡해짐으로 인해 DSP(Digital Signal Processor)를 이용하여 소프트웨어로 구현하는데 한계가 있다. 이를 위해 탐지 알고리즘을 FPGA(Field Programmable Gate Array)로 구현하는 방법이 요구된다.

본 논문에서는 다중 타겟을 효과적으로 검출 가능한 페어링 알고리즘을 소개하고, 이 알고리즘이 동작 가능한 하드웨어 구조를 소개한다. 먼저 II장에서는 제안된 알고리즘 및 하드웨어 구조를 설명한다. 또한 III장에서는 모의실험 결과를 보여주며, IV장을 통해 결론짓고자 한다.

## II. 제안된 방법

앞서 설명하였듯이 삼각형 형태의 변조 모양을 가지는 FMCW 송신파형으로는, 실제 타겟을 위한  $f_{bu}$ 와  $f_{bd}$ 의 유일 조합을 생성하는데 한계가 있다. 즉, 식 (3)과 (4)를 만족하는 모든 조합이 고스트 타겟이 될 수 있다. 여기서  $f_{bu_i}$ 는 검출된  $i$  번째 업-비트 주파수이며,  $f_{bd_j}$ 는 검출된  $j$  번째 다운-비트 주파수이다. 이때  $i=1\sim n$ ,  $j=1\sim m$ 이며,  $n=1\sim N$ ,  $m=1\sim N$  값을 가진다. 여기서  $N$ 은 검출된 타겟의 수이다.

$$f_r = \frac{f_{bu_i} + f_{bd_j}}{2} \quad (3)$$

$$f_r = \frac{f_{bu_i} - f_{bd_j}}{2} \quad (4)$$

실제 각 타겟에 해당하는  $f_{bu_i}$ 와  $f_{bd_j}$ 의 정확한 조합을 찾기 위해서는 송신 파형에 비변조 연속 신호를 전송하는 방법이 필요하다. 일반적으로 그림 3과 같은 사다리꼴 형태의 주파수 변조 방식이 사용된다[7]. 그림 3의 사다리꼴 형태 중 평탄 영역이

비변조 연속신호(Continuous signal; CW)가 전송되는 부분이며, 이 구간동안에 바로 타겟의 상대 속도에 의한 도플러 주파수가 측정된다. 이때 업- 및 다운-비트 주파수와 도플러 주파수  $f_{d_k}$ 는 식 (5)와 같은 상관관계를 가지게 되며, 식 (5)를 만족하는 3개의 검출 주파수를 페어링 함으로써 타겟의 거리 및 속도를 추정 할 수 있다. 여기서  $k=1\sim l$ 이며,  $l=1\sim N$ 으로 검출된 도플러 주파수의 개수를 나타낸다.

$$f_{bu_i} - f_{bd_j} = 2f_{d_k} \quad (5)$$

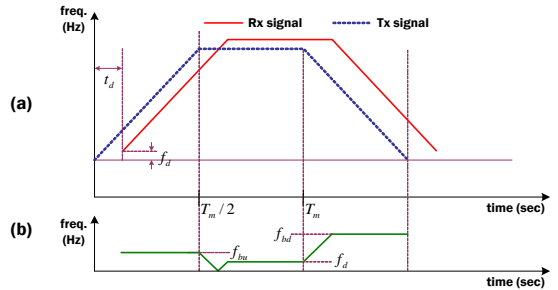


그림 3. 비변조된 연속 신호를 가지는 사다리꼴 변조 형태의 FMCW 레이더 파형

Fig. 3. FMCW radar waveform modulated with a trapezoid shape in frequency-time domain including an un-modulated continuous wave for a single moving target

그림 4는 3개의 타겟이 있는 경우 그림 3의 사다리꼴 형태의 송신파형을 통해 검출된  $f_d - f_r$  다이어그램 예제를 나타낸다. 여기서 검출된 업-비트 및 다운-비트 주파수, 그리고 도플러 주파수의 교차점은 3개가 나타남을 알 수 있다. 만약 그림 2와 같이 송신 파형의 주파수 스위치가 삼각파형이라면 4개의 고스트 타겟이 검출되어 높은 오경보율을 발생 할 것이다.

그림 4와 같이 송신 파형이 사다리꼴 형태의 주파수 스위치를 가지게 되면, 그림 3의 경우와 비교하여 고스트 타겟 검출에 따른 탐지 오류를 상당히 줄일 수 있다. 그러나 이 방법은 타겟의 수가 많아지면, 업- 및 다운-비트 주파수와 도플러 주파수의 페어링을 위한 알고리즘이 복잡해질 수 있다. 또한 실제 타겟의 수를 정확하게 알 수 없으므로, 여전히 고스트 타겟이 검출 될 수 있다. 다시 말해 검출된

도플러 주파수가 여러개인 경우 식 (5)를 만족하는 조합으로 여전히 고스트 타겟이 검출될 수 있다.

게다가 2개 이상의 타겟들의 거리와 속도가 각각 다름에도 불구하고, 식 (1)과 (2)에서와 같이 도플러 쉬프트(Shift) 인해 업-비트 주파수 또는 다운-비트 주파수가 같은 값을 가질 수 있다. 이 경우 검출된 비트 주파수가 하나의 타겟으로부터 수신된 것인지 여러개의 타겟으로부터 생성된 것인지 알 수가 없기 때문에 '누락 타겟'을 초래시켜 탐지 확률을 떨어뜨리게 된다[6].

이러한 고스트 타겟과 누락 타겟의 문제점들을 해결하기 위해, 선행 연구[6]를 통해 새로운 페어링 알고리즘을 제안하였다.

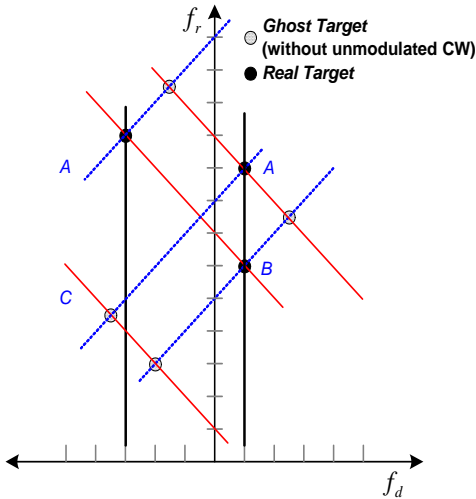


그림 4. 사다리꼴 변조 신호를 이용하여 검출된 3개 타겟에 대한  $f_d - f_r$  다이어그램 (고스트 타겟이 검출되지 않은 경우)

Fig. 4. FMCW radar waveform modulated with a trapezoid shape in frequency-time domain including an un-modulated continuous wave for a single moving target

본 논문에서는 그림 5와 같이 본 알고리즘을 지원하기 위한 신호처리부 하드웨어 구조를 제안한다. 전체 하드웨어 구조는 크게 레지스터(Register), 판단 유닛(Decision unit), 페어링 테이블로 나누어진다.

먼저 레지스터는 업-비트 주파수 레지스터, 다운-비트 주파수 레지스터, 도플러 주파수 레지스터로 나누어진다. 각 레지스터에는 수신된 비트 신호를

FFT 처리한 후, 검출된 비트 주파수 값들이 저장된다. 특히, 업- 및 다운-비트 신호 레지스터에는 PSD(Power spectrum density)도 함께 저장된다.

판단 유닛은 각 레지스터에 저장된 정보를 이용하여 페어링 가능 여부를 결정한다. 결정된 결과는 페어링 테이블에 반영되어 가능한  $f_{bu}$ 와  $f_{bd}$ 의 조합을 찾아내는 구조이다.

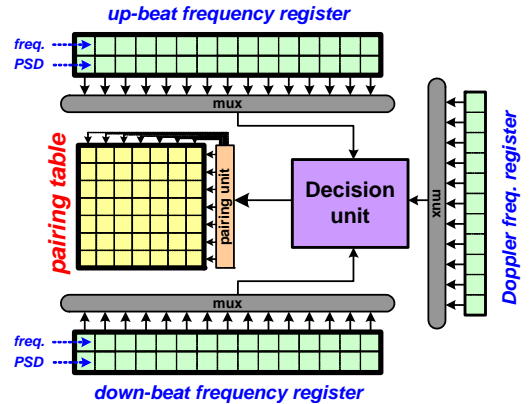


그림 5. 페어링 알고리즘을 위해 제안된 신호처리부의 상위 구조

Fig. 5. The block diagram of proposed signal processing module for pairing algorithm

그림 5에서 페어링을 결정하는 과정은 크게 두 단계로 나누어진다. 첫 번째는 각 레지스터에 저장된 업- 및 다운-비트 주파수, 도플러 주파수를 이용하여, 식 (5)를 만족하는  $f_{bu}$ 와  $f_{bd}$ 의 조합을 결정하는 단계이다. 그러나 첫 번째 방법으로는 실제 타겟을 정확하게 페어링하는데 한계가 있다. 즉, 단지 검출된 업- 및 다운-비트 주파수의 정보만으로는 실제 타겟의 수가 얼마인지도 알 수 없기 때문이다. 이를 위해 수신 비트신호의 PSD를 이용하여 페어링을 완성하는 방법을 두 번째 단계로 제안한다.

먼저, 첫 번째 단계를 보다 자세히 설명하기 위해 예제를 그림 6과 같이  $f_d - f_r$  다이어그램으로 나타내었다. 이 예제에서는 실제 타겟이 4개가 존재하며, 검출된 업- 및 다운-비트 주파수도 4개인 경우이다. 또한 3개의 도플러 주파수가 검출되었다. 이들 값을 이용하여, 식 (5)를 만족하는  $f_{bu}$ 와  $f_{bd}$ 의 조합을  $f_{bu} - f_{bd}$  페어링 테이블로 표현하면 그림 7(a)과 같다.

만약 모든 업-비트 주파수와 다운-비트 주파수가 유일한 조합으로 페어링이 된다고 가정하면, 그

림 7(b)와 같이 결론을 낼 수 있다.

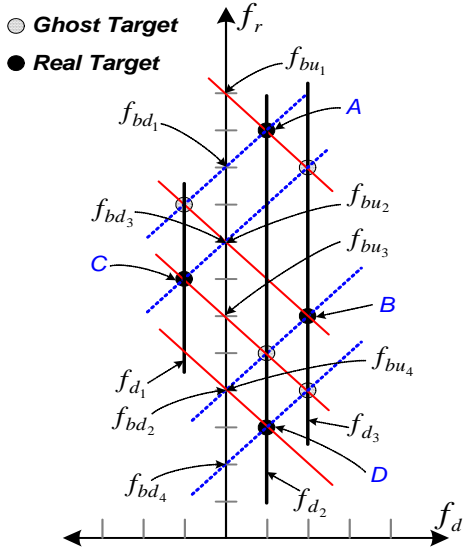


그림 6. 사다리꼴 변조 신호를 이용하여 검출된 4개 타겟에 대한  $f_d - f_r$  다이어그램 예제 (고스트 타겟이 검출된 경우)

Fig. 6. Example of an  $f_d - f_r$  diagram for four targets measured with an unmodulated CW signal (with ghost target)

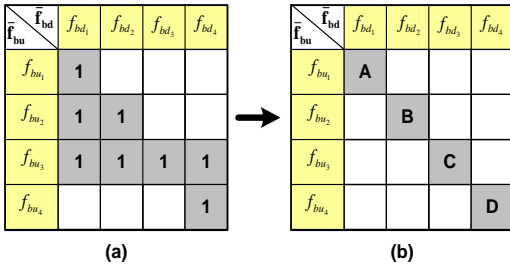


그림 7. 그림 5의 예제에 적용된 페어링 알고리즘 처리 결과의  $f_{bu} - f_{bd}$  페어링 테이블

Fig. 7. Result of pairing algorithm in the example of figure 5

페어링 알고리즘의 첫 번째 단계를 수행하기 위한 판단 유닛의 상세 설계를 그림 8과 같이 나타내었다. 검출된 N개의 업-비트 주파수와 M개의 다운-비트 주파수의 조합이 L개의 도플러 주파수들의 2배값과 하나라도 같게 되면, 페어링 유닛(Pairing unit)을 통해 페어링 테이블 해당 위치에 체크됨으

로써 페어링된  $f_{bu}$ 와  $f_{bd}$ 를 표시한다. 이때 동작 속도 향상을 위해 도플러 주파수와의 비교를 병렬로 처리 할 수 있는 구조로 설계하였다.

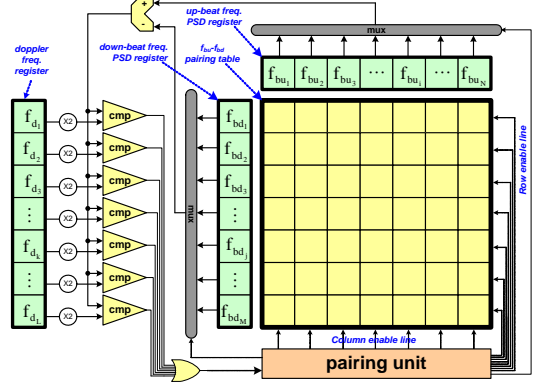


그림 8. 도플러 주파수를 이용한 제안된 페어링 알고리즘 첫 번째 단계의 하드웨어 구조  
Fig. 8. Hardware design for the proposed pairing algorithm first step using doppler frequency

그러나 단순히 (5)를 이용한 페어링은 한계점이 있다. 즉, 실제 타겟의 수가 얼마인지도 알 수 없을 뿐더러, 그림 7(b)의 결과가 실제 타겟을 정확하게 나타낸 페어링된 것인지 아닌지 역시 알 수가 없다.

이를 설명하기 위한 또 다른 예제를 그림 9와 같이 나타내었다. 이 예제에서는 실제 타겟이 4개이지만, 검출된 업- 및 다운-비트 주파수와 도플러 주파수는 각각 3개인 경우이다. 검출된 값을 식 (5)를 이용하여 그림 10(a)와 같이  $f_{bu} - f_{bd}$  페어링 테이블로 나타낼 수 있다. 여기서 빗금친 부분은 실제로는 검출되지 말아야 할 고스트 타겟을 나타낸다. 만약 모든 업-비트 주파수와 다운-비트 주파수가 유일한 조합으로 페어링 된다고 가정하면, 그림 10(b)나 (c)와 같이 나타낼 수 있다. 그림 (b)에서는 4개의 타겟 중 1개만 정확하게 검출되고 3개의 누락 타겟과 2개의 고스트 타겟이 발생되었다. 그림 (c)에서는 3개의 타겟이 검출되었지만 역시 1개의 누락 타겟이 발생한다. 그 이유는 그림 9에서 나타나 있듯이 타겟 A와 B의 업-비트 주파수가  $f_{bu3}$ 로 동일하며, 타겟 B와 D로부터 수신된 다운-비트 주파수가  $f_{bd3}$ 로 같기 때문이다. 하지만 그림 8의 알고리즘 구조로만으로는 이러한 상황을 알 수가 없다.

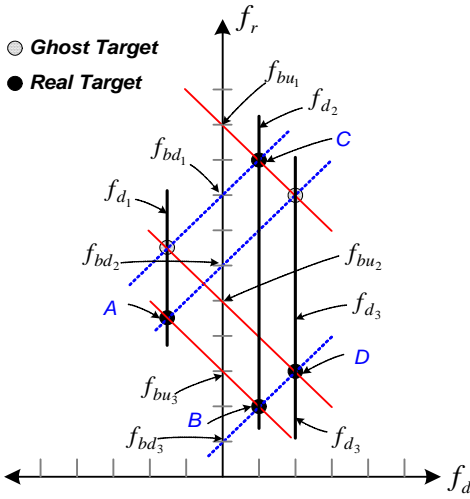


그림 9. 사다리꼴 변조 신호를 이용하여 검출된 4개 타겟에 대한  $f_d - f_r$  다이어그램 예제 2 (고스트 타겟이 검출된 경우)

Fig. 9. Another example of an  $f_d - f_r$  diagram for four targets measured with an unmodulated CW signal (with ghost target)

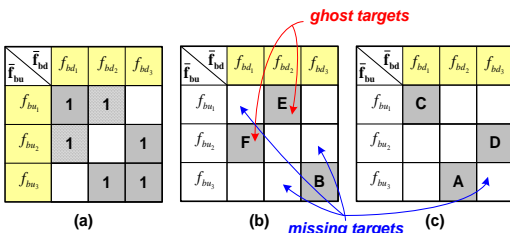


그림 10. 그림 9의 예제에 적용된 첫 번째 페어링 알고리즘 처리 결과의 페어링 테이블  
Fig. 10. Result of first pairing algorithm in the example of figure 9

이에 본 논문에서는 이를 해결하기 위해 PSD를 이용한 두 번째 페어링 단계를 제안한다. 먼저 동일한 하나의 타겟으로부터 수신된 업-비트 주파수와 다운-비트 주파수는 동일한 전력밀도를 가진다고 가정할 수 있다. 따라서 그림 8과 같은 첫 단계에서 페어링된 업-비트 주파수와 다운-비트 주파수 조합들 중에서, PSD가 동일한 값을 찾을 수 있다면 보다 정확한 페어링을 완성할 수 있다.

이를 설명하기 위해 위의 예제의 두 번째 페어링 결과를 그림 11에 나타내었다. 그림 9의 예제에서는 유일한 하나의 타겟으로부터 수신된 비트 주

파수는  $f_{bu_1}$ 과  $f_{bd_1}$ 이므로, 그림 11(a)과 같이 이 두 개의 주파수에 해당하는 PSD만 같은 값을 가진다. 따라서  $f_{bu_1}$ 과  $f_{bd_1}$ 의 조합에 두 번째 페어링 결과 체크되고, 이를 그림 11(b)의 페어링 테이블에 나타내었다. 이때  $f_{bu_1}$ 과  $f_{bd_1}$ 의 조합은 유일하므로  $f_{bu_2}$ 와  $f_{bd_1}$ ,  $f_{bu_1}$ 와  $f_{bd_2}$  조합은 불가능하므로, 그림 11(c)와 같은 최종 결과를 내릴 수 있다.  $f_{bu_3}$ 와  $f_{bd_3}$ 는 두 개의 타겟으로부터 동시에 수신되어진 값이라는 것을 결과적으로 알 수 있다.

이렇게 수신된 전력 밀도를 이용한 두 번째 페어링 알고리즘의 판단 유닛 하드웨어 구조가 그림 12에 나타나 있다. 즉, 첫 번째 페어링 결과에 수신 전력 밀도를 비교하여 페어링 테이블에 그 결과 값을 반영하는 구조이다.

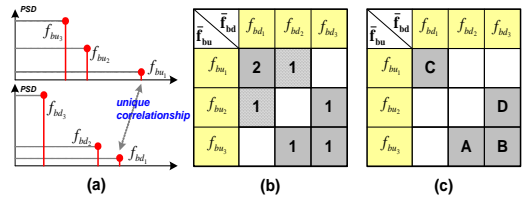


그림 11. 수신 전력 밀도를 이용한 두 번째 페어링 알고리즘 처리 결과의 페어링 테이블  
Fig. 11. Result of second pairing algorithm using the received power density

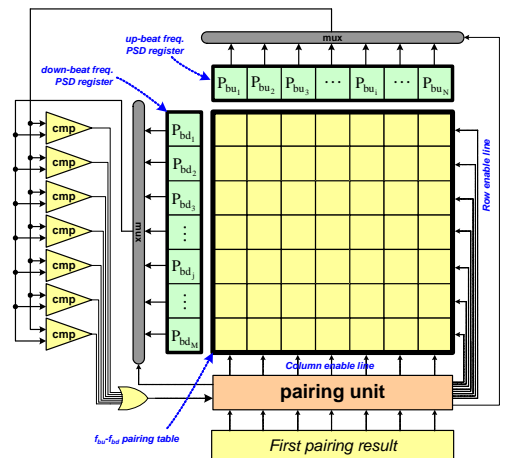


그림 12. 수신 전력을 이용한 제안된 페어링 알고리즘 두 번째 단계의 하드웨어 구조  
Fig. 12. Hardware design for the proposed pairing algorithm second step using received PSD

### III. 모의실험 결과

제안된 알고리즘은 먼저 MATLAB을 이용하여 모의실험 되었다. 전송된 신호의 대역폭은 300MHz, 중심 주파수는 76.5GHz, 그리고 변조주기는 1ms이다.

가상의 도로 환경은 그림 13과 같이 나타내었다. 3대의 차가 도로 상에서 이동하고 있으며, 2개의 타겟이 도로의 가장 자리에 세워져 있는 경우이다. 만약 레이더를 장착한 차량의 속도가 35km/h라면, 정지타겟의 상대 속도는 -35km/h일 것이다. 그리고 나머지 이동 차량들의 거리 및 속도, 그리고 이에 따른 업-비트 주파수, 다운-비트 주파수, 그리고 도플러 주파수를 표 1에 나타내었다.

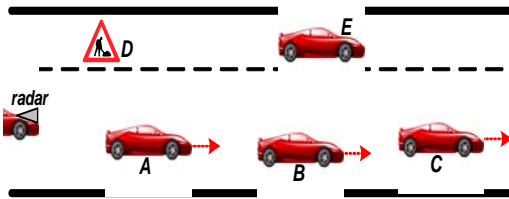


그림 13. 제안된 방법의 모의실험 예제  
 Figl. 13. The simulation example of the proposed method

표 1. 모의실험을 위한 타겟별 거리 및 속도 정보  
 Table 1. Range and velocity information of each target for simulation

구분	상태	거리 (m)	상대 속도 (km/h)	업-비트 주파수 (kHz)	다운-비트 주파수 (kHz)	도플러 주파수 (kHz)
타겟 A	이동 차량	40	106	145	175	15.0
타겟 B	이동 차량	80	100	305	334	14.2
타겟 C	이동 차량	150	90	587	612	12.8
타겟 D	정지 표지판	35	-35	145	135	-4.958
타겟 E	정지 차량	85	-35	345	335	-5

그림 14는 모의실험을 통해 각 타겟으로부터 검출된 비트 주파수와 PSD를 나타내고 있다. 여기서 x축은 주파수를 y축은 데시벨 단위의 PSD를 나타낸다. 검출된 업- 및 다운-비트 주파수와 도플러 주파수는 표2와 같다.

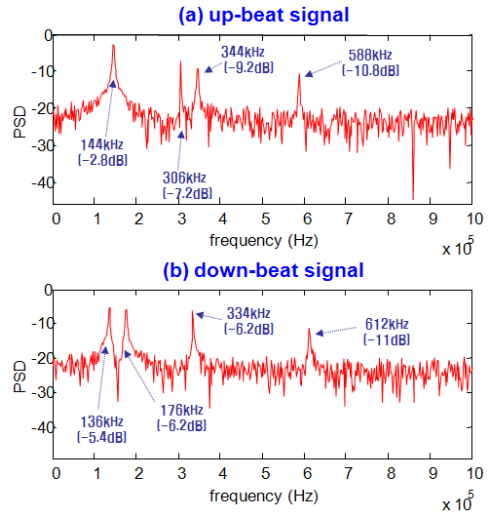


그림 14. 모의 실험을 통해 검출된 PSD 및 업-비트 주파수와 다운-비트 주파수

Figl. 14. The PSDs and beat frequencies in up- and down-beat signals for five targets in the example shown in figure 13.

표 2. 모의실험을 통해 검출된 업- 및 다운-비트 주파수와 도플러 주파수

Table 2. Up-beat and down-beat frequencies and doppler frequency measured by simulation

구분	주파수 (KHz)	PSD (dB)	
업-비트 주파수	$f_{bu_1}$	144	-2.8
	$f_{bu_2}$	306	-7.2
	$f_{bu_3}$	344	-9.2
	$f_{bu_4}$	588	-10.8
다운-비트 주파수	$f_{bd_1}$	136	-5.4
	$f_{bd_2}$	176	-6.2
	$f_{bd_3}$	334	-6.2
	$f_{bd_4}$	612	-11
도플러 주파수	$f_{ld_1}$	-4	-
	$f_{ld_2}$	12	-
	$f_{ld_3}$	14	-
	$f_{ld_4}$	16	-

먼저 업-비트 주파수와 다운-비트 주파수, 그리고 도플러 주파수를 이용하여 첫 번째 페어링을 수행하면 그림 15(a)와 같은 결과가 나온다. 이때  $f_{bu_1}$ 과  $f_{bd_1}$  만이 거의 동일한 PSD를 가지기 때문에, 그

림 15(b)와 같은 두 번째 페어링이 이루어지고, 결국 그림 15(c)와 같이 최종 페어링이 완성된다. 즉,  $f_{bu_1}$ 은 이동 차량 A와 정지 타겟 D로부터 수신되어진 업-비트 주파수이며, 이동 차량 B와 정지 차량 E로부터 검출된 다운-비트 주파수가  $f_{bd_3}$ 임을 추정할 수 있다.

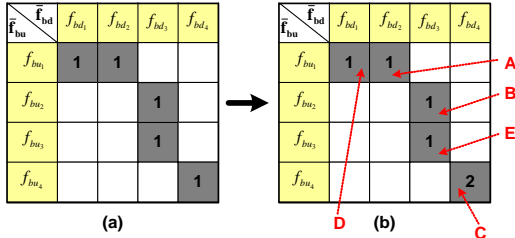


그림 15. 제안된 페어링 알고리즘이 표 2의 측정 값에 적용되어진 결과

Fig. 15. Result of the proposed pairing algorithm in the example of table 2

다음은 Modelsim 환경에서 verilog HDL을 이용하여 제안된 페어링 알고리즘을 동작 모델로 구현하였다. 그림 16에 시뮬레이션 결과에 따른 파형을 나타내었다. 또한 각 신호선의 의미가 표 3과 나타내었다.

그림 16의 시뮬레이션 결과에는 두 단계의 페어링 알고리즘이 적용되어 있다. 먼저 그림(1)에서, FFT\_Done 신호가 활성화 되어진게 확인되면, 업-비트 주파수와 다운-비트 주파수를 차례로 스캔해서 상관관계를 확인 후, 그 결과를 페어링 테이블에 나타낸다. 두 번째 페어링인 그림(2)에서는 첫 번째 페어링을 통해 검출된 비트 주파수들만 스캔하여, PSD의 상관관계를 확인 후, 그 결과를 페어링 테이블

블에 최종 나타낸다.

표 3. HDL을 이용한 시뮬레이션 파형의 각 신호 Table 4. The signal name and description of wave of simulation results

구분	신호이름	의미
입력 신호	CLK	클럭신호
	RTS	리셋신호
	FFT_Done	FFT가 완료되었으므로, Pairing을 시작하라는 신호
내부 신호	1st_Scan_Enable	1단계 Pairing이 진행되고 있음
	2nd_Scan_Enable	2단계 Pairing이 진행되고 있음
	Up_beat_freq_Index	Pairing을 위해 선택된 업-비트 주파수의 인덱스
	Down_beat_freq_Index	Pairing을 위해 선택된 다운-비트 주파수의 인덱스
	Pairing_Table	Pairing 결과가 반영된 테이블
출력 신호	1st_Pairing_Done	첫 번째 Pairing이 완료되었음
	2nd_Pairing_Done	두 번째 Pairing이 완료되었음

#### IV. 결 론

본 논문에서는 다중 타겟 환경에서 FMCW 차량용 레이더를 위한 페어링 알고리즘 및 하드웨어 구조를 제안하였다. 먼저 업-비트 주파수 및 다운-비트 주파수 그리고 도플러 주파수를 이용하여 상관관계가 있는 값들의 페어링을 실행한다. 이를 통해

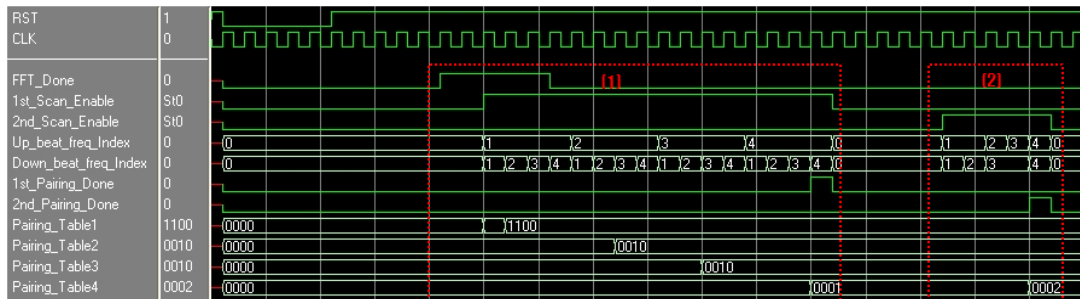


그림 16. HDL을 이용한 시뮬레이션의 결과 파형

Fig. 16. The wave of simulation results using HD



상당한 고스트 타겟이 제거될 수 있다. 첫 번째 페어링을 통해 검출된 각 비트 주파수에 상응하는 수신 전력 밀도를 이용하여 두 번째 페어링을 완성한다. 이를 통해 고스트 타겟 제거는 물론이고 누락 타겟 발생도 상당 부분 해결할 수 있다. 이러한 두 단계 페어링을 통한 다중 타겟의 거리와 속도 검출 방법은 검출 확률을 향상시킬 수 있을 뿐 아니라, 오경보율도 줄일 수 있어 레이더 탐지 모듈의 성능을 향상시킬 수 있다.

제안된 알고리즘은 먼저 모의실험을 통해 알고리즘 검증이 이루어 졌다. 또한 본 알고리즘을 효과적으로 지원하기 위한 하드웨어 구조를 제안하였으며, 이는 HDL을 이용하여 구현 및 동작과정 검증이 이루어졌다.

본 하드웨어 구조는 향후 FPGA로 구현되는 탐지 모듈에 적용 예정이다. 또한 필드 테스트를 통해 제안된 알고리즘의 검증이 필요하며, 펄스 레이더와 같은 다른 변조 방식과 비교 분석도 필요할 것이다.

## 참고문헌

- [1] SupplierBusiness, Market report : Active Safety System Report, SupplierBusiness, 2007.
- [2] Folster, F., Rohling, H., Lubbert, U., "An automotive radar network based on 77GHz FMCW sensors", IEEE Radar Conference 2005, pp. 871-876, May, 2005.
- [3] Rohling, H., Moller, C., "Radar waveform for automotive radar systems and applications", IEEE Radar Conference 2008, pp. 1-4, May, 2008.
- [4] Hermann Rohling, Marc-Michael Meinecke, "Waveform design principles for automotive radar systems", IEEE CIE International Conference on Radar, pp. 1-4. 2001.
- [5] Shunji Miyahara, "New algorithm for multiple object detection in FM-CW radar", SAE Technical paper series, March, 2004.
- [6] Eugin Hyun, Jong-Hun Lee, "A method for multi-target range and velocity detection in automotive FMCW radar", Proceedings of the 12th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, pp. 7-11, Oct. 2009.
- [7] Mitsumoto, M., Kirimoto, T., Uehara, N., and Inatsune, S., "FMCW automotive radars using only inphase channel", SAE 1999 World Congress, Jan, 1999.

**저 자 소 개**

**현 유 진**



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

현재, 대구경북과학기술원(DGIST) 융합신호처리연구팀 선임연구원.

현재, 영남대학교 전자공학과 겸임교수.  
관심분야 : 레이더 DSP, DSP Processor 구현.  
Email : braham@dgist.ac.kr  
braham@yumail.ac.kr

**오 우 진**



1989년 : 한양대학교 전자공학과 학사.  
1991년 : 한국과학기술원 전자공학과 석사.  
1996년 : 한국과학기술원 전자공학과 박사.

1996년~1998년, SK 텔레콤 선임연구원.  
현재, 금오공과대학교 전자공학부 교수.  
관심분야 : 레이더 신호처리, 통신 신호처리.  
Email : wjoh@kumho.ac.kr

**이 종 훈**



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

2002년~2005년, 삼성전자 네트워크 통신사업부 선임연구원.

현재, 대구경북과학기술원(DGIST) 융합신호처리연구팀 과제책임자.  
현재, 영남대학교 정보통신공학과 겸임교수.  
관심분야 : 차량용 레이더, 차량용 비전 센서, 지능형 자동차.  
Email : jhlee@dgist.ac.kr