

# FMCW 레이다 기반 휴먼 모션 인지용 레이다 영상 추출 기법

## Radar Image Extraction Scheme for FMCW Radar-Based Human Motion Indication

현 유 진 · 진 영 석 · 전 형 철

Eugin Hyun · Young-Seok Jin · Hyeong-Cheol Jeon

### 요 약

본 논문에서는 FMCW 레이다 기반으로 휴먼 모션 인식을 위한 레이다 영상 추출 알고리즘을 제안하였다. 3D(거리-속도-각도) 스펙트럼을 생성하였고, 각 좌표방향으로 압축을 통해 세 개의 마이크로-프로파일 영상을 생성하였다. 이때 몸으로부터 반사된 신호를 억제하기 위한 클러터 억제 알고리즘을 적용하였다. 생성된 거리, 도플러, 각도-영상을 향후 영상처리 및 분류기에 적용함으로써, 다양한 모션 종류를 구별할 수 있을 것으로 판단된다.

### Abstract

In this paper, we propose a radar image extraction scheme for frequency modulated continuous wave radar-based human motion indication. We extracted three-dimensional(3D) range-velocity-angle spectra and generated three micro-profile images by compressing the 3D images in all three directions in every frame. Furthermore, we used body echo suppression to make use of the weak reelection such as in hands and arms. By applying the complete images to classifiers, various human motions can be indicated.

Key words: FMCW Radar, Motion Indication, Radar Image, Human Motion, Micro Doppler

### I. 서 론

비접촉 센서 방식 기반의 휴먼 모션 기술은 특수 산업 분야를 비롯한 기능성 스마트 기기 및 콘텐츠에 접목되면서 세계적인 이슈가 되고 있다<sup>[1]</sup>. 가상현실 및 증강현실 등의 기술이 급속도로 발전을 하면서, 카메라 등과 같은 비접촉 방식의 제스처 인식 기술 또한 다양한 제품에 적용되고 있다<sup>[2]</sup>. 현재 비접촉 방식의 모션 인식 기술은 카메라 기반 그래픽 방식이 널리 사용되고 있다.

하지만 최근 웨어러블 디바이스의 차세대 인터페이스

로 레이다 센서가 새로운 솔루션으로 부각되고 있는데, 그 대표적인 사례가 ‘솔리’ 프로젝트이다. 이 기술은 구글과 인피니언과 협업을 통해 레이다 기반으로 가까운 거리에서 손가락 제스처를 인지하는 초정밀 모션 인지 기술이다. 향후 모바일 디바이스에 적용하기 위해 현재 개발이 진행 중에 있다. 카메라 기술 대신 레이다 기술을 택하면, 카메라에 의한 프라이버시 이슈를 회피할 수 있을 뿐 아니라, 도플러 정보를 효과적으로 이용함으로써 카메라가 가지지 못하는 모션도 인식할 수 있는 장점이 있다.

현재 레이다 센서 기반 휴먼 모션 인식의 대표적인 방

「이 연구는 과학기술정보통신부에서 지원하는 기관고유과제(17-o1-HRSS-05 및 18-IT-01) 및 일반사업(18-FA-07)에 의해 수행되었습니다.」

대구경북과학기술원 미래자동차융합연구센터(Department of Electronic Engineering, Future Automotive Technology Research Center, DGIST)

· Manuscript received January 4, 2018 ; Revised April 25, 2018 ; Accepted June 7, 2018. (ID No. 20180104-016S)

· Corresponding Author: Eugin Hyun (e-mail: braham@dgist.ac.kr)

법은 CW(Continuous Wave) 레이더 기반으로 미세도플러(Micro-Doppler)를 추출하여 패턴을 인식하는 방법이다<sup>[3]</sup>. 하지만 이 방법은 객체의 거리 및 각도 측정이 불가능하고, 다중 타겟 탐지가 불가능하다는 단점이 있다.

이를 극복하기 위해 인피니언社에서는 광대역 대역폭을 지원하는 60 GHz FMCW(Frequency Modulated Continuous Wave) 송수신칩셋을 출시하였다. 그러나 아직 실제 제품화 된 사례는 없고, 신호처리 알고리즘 등은 NVIDIA와 같은 큰 기관 중심으로 연구되고 있다<sup>[4]</sup>.

기존의 레이더 센서와 같은 타겟별로 한 개씩 인지되는 포인트 정보(거리, 속도, 각도) 만으로는 다양한 모션 인식에 한계가 있다. 따라서 효과적인 모션 인식을 위해 시간에 따른 마이크로 도플러, 마이크로 거리, 그리고 각도 프로파일 영상을 추출이 필요하며, 이를 위해 본 논문에서는 관련 알고리즘을 제안한다.

## II. 제안된 알고리즘

본 논문에서는 사람의 팔 동작을 인식하기 위해 최대 탐지 속도는 15 km/h 이하, 속도 해상도는 0.2 m/s, 거리 해상도는 0.2 m로 설계하였다. 이를 위해 변조주기( $T$ )는 800 us, 대역폭은 1 GHz, 램프 개수( $M$ )는 64개가 되도록 그림 1과 같이 파형을 설계하였다.

그림 2는 본 논문에서 설계한 신호처리 알고리즘 순서이다. 설명의 용이성을 위해 단일 이동 타겟이 존재한다고 가정할 경우, 각 프레임별 입력 신호는 식 (1)과 같이 표현된다. 여기서  $n, m, l, k$ 는 각각 샘플 번호, 램프 번호, 수신 채널 번호, 그리고 프레임 번호를 나타낸다. 또한  $A_r, f_r, \theta, f_D$ 는 타겟의 반사 신호 크기, 거리 주파수, 각도 위치, 도플러 주파수를 각각 나타낸다. 또한 여기서 수신 안테나들의 간격이 반파장인 경우이다.

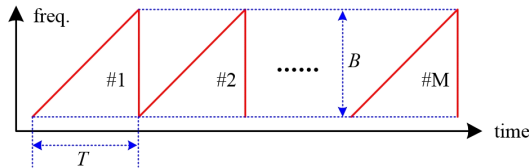


그림 1. 설계된 FMCW 레이더 파형  
Fig. 1. Designed FMCW radar waveform.

$$S(n, m, l) = A_r e^{j2\pi(nf_r + 2l\sin\theta + mTf_D)} \quad (1)$$

램프 별 수신신호는 거리-처리(range-processing) 단계에서 식 (2)와 같이 윈도우잉(windowing)과 FFT(Fast Fourier Transform)가 적용된다. 여기서  $w(n)$ 은 윈도우 함수를 나타내고  $r$ 은 거리-빈 인덱스이다.

$$X(r, m, l) = \sum_{n=0}^{N-1} S(n, m, l)w(n)e^{-j2\pi qn/N} \quad (2)$$

동일한 기법으로 도플러-처리(Doppler-processing)와 디지털빔포밍(digital beamforming)을 적용하면 거리-속도-각도 3D 스펙트럼  $Z(r, d, a)$ 가 생성된다. 여기서  $d$ 와  $a$ 는 도플러-빈 인덱스와 각도-빈 인덱스를 나타낸다.

손이나 팔 동작을 인식코자 할 때, 상대적으로 높은 반사율을 가지는 몸(body)이 가장 큰 클러스터이다. 그래서 제안된 알고리즘에서는 도플러-처리 단계 이전에 이 클러스터의 신호크기를 억제할 수 있는 ‘Body echo suppression’ 알고리즘을 적용하였다. 본 알고리즘은 선행연구 [5]의 내용을 기반으로 설계하였다.

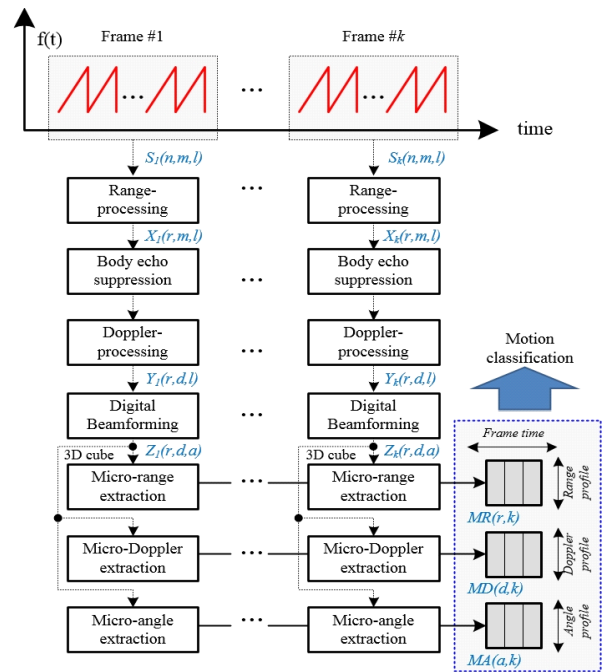


그림 2. 제안된 마이크로-프로파일 추출 방법  
Fig. 2. Proposed method for micro-profile extraction.

생성된 3D 스펙트럼  $Z(r, d, a)$ 를 거리-빈 좌표방향으로 신호를 압축하고, 프레임별로 연속 저장하여 최종 마이크로-거리  $MR(r, k)$ 를 식 (3)과 같이 생성한다. 동일한 방법으로 각 도메인 방향으로 압축을 통해 마이크로-도플러  $MR(d, k)$ , 마이크로-각도  $MR(a, k)$  영상도 생성할 수 있다. 각 영상은 모션 인식 알고리즘에 적용되며, 이는 향후 이슈로 본 논문에서는 다루지 않는다.

$$MR(r, k) = \sum_{a=0}^{A-1} \sum_{d=0}^{D-1} |Z(r, d, a)| \quad (3)$$

### III. 실험 결과

설계된 알고리즘을 검증하기 위해 그림 3과 같이 실험 환경을 구축하였다. FOV(Field of View)가 90도인 송신 안테나 1개와 수신 안테나 8개로 구성된 24 GHz FMCW 레이더 전단과 실시간 데이터 로깅이 가능한 하드웨어 보드, 그리고 알고리즘을 구현한 PC로 구성하였다.

본 논문에서는 그림 4와 같이 두 개의 시나리오를 고려하였다. 좌측 그림은 오른손을 앞뒤로 왕복하고 있으며, 오른쪽은 팔을 좌우로 왕복하고 있는 경우이다.

그림 5는 첫 번째 시나리오의 마이크로 도플러 영상을 나타내며, 가로축은 프레임 번호이며, 각 51.2 ms(=T · M)

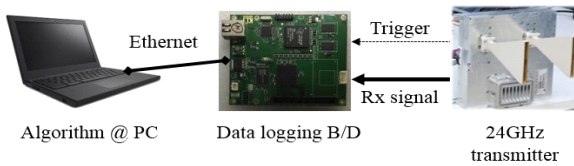


그림 3. 실험 환경  
Fig. 3. Measurement set-up.

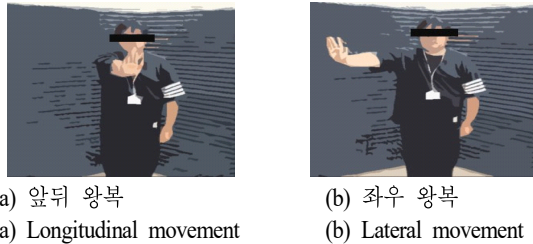


그림 4. 실험 시나리오  
Fig. 4. Measurement scenarios.

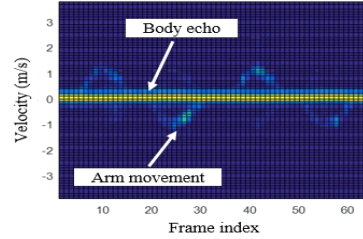


그림 5. 첫 번째 시나리오의 마이크로 도플러 영상(클러스터 억제 미적용)  
Fig. 5. Micro-Doppler images without body echo suppression (The first scenario).

를 나타낸다. 이때 클러스터 신호를 억제하지 않은 경우이다. 따라서 몸으로부터 반사된 신호의 크기가 높아 팔로부터 반사된 신호는 희미하게 나타남을 알 수 있다.

그림 6은 동일 시나리오에서 클러스터 억제 알고리즘을 적용한 경우의 마이크로 프로파일 영상이다. 먼저 거리 영상(그림 6(a))에서는 몸을 중심으로 팔이 앞뒤로 움직임을 확인할 수 있다. 다음 속도(그림 6(b)) 프로파일에서는 그림 5와 비교하여 팔의 움직임이 뚜렷함을 확인할 수 있다. 마지막으로 각도(그림 6(c)) 정보에서는 0도 기준으로 분포됨을 확인할 수 있다.

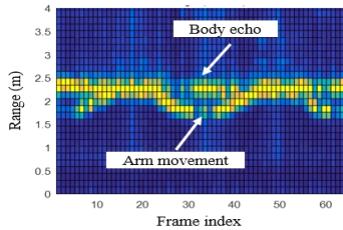
그림 7은 두 번째 시나리오의 결과이다. 횡방향 움직임으로 인해 거리 영상은 거의 몸에 붙어 있으며, 도플러 성분은 거의 0으로 나옴을 확인할 수 있다. 그러나 각도는 (+) 영역에서 움직임을 확인할 수 있다.

### IV. 결론

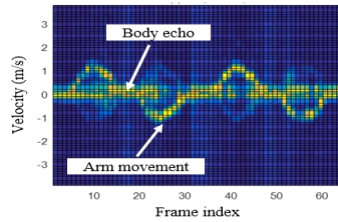
본 논문에서는 FMCW 레이더 기반으로 휴먼 모션인식을 위한 거리, 도플러, 각도-영상 추출 알고리즘을 제안하였다. 본 알고리즘으로부터 생성되는 영상을 확인하기 위해, DGIST 첨단레이더 연구실에서 개발한 24 GHz FMCW 레이더 송수신모듈과 실시간 데이터 로깅 하드웨어를 기반으로 실험환경을 구축하였다.

아울러 실제 사람의 손과 팔을 종방향 및 횡방향으로 왕복하며, 생성된 레이더 영상을 확인하였다.

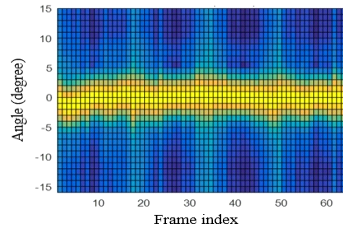
향후에는 보다 다양한 시나리오 기반으로 영상을 생성할 것이며, 생성된 영상을 기반으로 분류기를 통해 실제 모션 인식의 성능을 검증할 예정이다.



(a) 마이크로-거리 프로파일 영상  
(a) Micro-range profile image



(b) 마이크로-도플러 프로파일 영상  
(b) Micro-Doppler profile image



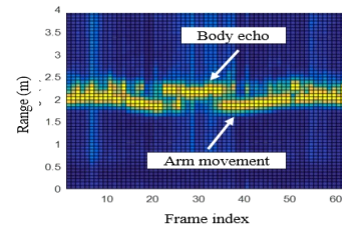
(c) 마이크로-각도 프로파일 영상  
(c) Micro-angle profile image

그림 6. 첫 번째 시나리오의 마이크로 프로파일 영상(클러터 억제 적용)

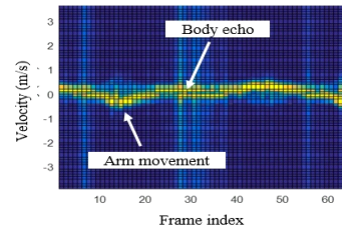
Fig. 6. Micro-profile images with body echo suppression (The first scenario).

### References

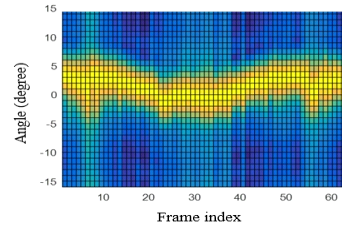
- [1] S. Mitra, T. Acharya, "Gesture recognition: A survey," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, vol. 37, no. 3, pp. 311-324, May 2007.
- [2] 장주용, 류문욱, 박순찬, "거리영상 기반 동작인식 기술동향," *전자통신동향분석*, 29(1), 2014년 2월.
- [3] Y. Kim, B. Toomajian, "Hand gesture recognition using micro-Doppler signatures with convolutional neural network," *IEEE Access*, vol. 4, pp. 7125-7130, Oct. 2016.
- [4] P. Molchanov, S. Gupta, K. Kim, and K. Pulli, "Multi-



(a) 마이크로-거리 프로파일 영상  
(a) Micro-range profile image



(b) 마이크로-도플러 프로파일 영상  
(b) Micro-Doppler profile image



(c) 마이크로-각도 프로파일 영상  
(c) Micro-angle profile image

그림 7. 두 번째 시나리오의 결과

Fig. 7. Results of the second scenario.

- sensor system for driver's hand-gesture recognition," in *2015 11th IEEE International Conference and Workshops on Automatic Face and Gesture Recognition (FG)*, Ljubljana, May 2015, pp. 1-8.
- [5] E. Hyun, Y. S. Jin, and J. H. Lee, "A pedestrian detection scheme using a coherent phase difference method based on 2D range-Doppler FMCW radar," *Sensors*, vol. 16, no. 1, p. 124, Jan. 2016.
- [6] 현유진, 진영석, "딥러닝 기반 휴먼모션 인식을 위한 FMCW 레이더 센서의 마이크로-거리 및 마이크로-도플러 추출 기법," 2017년 한국전자파학회 하계종합학술대회논문집, 2017년 8월, 5(1), pp. 24-26.