

손동작 인식용 FSK RADAR의 cyclic cross correlation을 이용한 거리추정 알고리즘

양기문, 이용빈, *이성주

전자정보통신공학과, *정보통신공학과 및 지능형드론 융합전공, 세종대학교

ykm3563@itsoc.sejong.ac.kr, lyngbn99@itsoc.sejong.ac.kr, *seongjoo@sejong.ac.kr

Distance estimation algorithm using cyclic cross correlation on FSK RADAR for hand gesture recognition

Kimoon Yang, Yongbin Lee, *Seongjoo Lee

Department of Electrical Engineering, Sejong Univ.

*Dept. of Information and Comm. Eng. and Convergence Engineering for Intelligent Drone, *Sejong Univ.

요약

손동작인식은 human-computer interaction[1] 연구 분야 중 하나이다. 레이더 센서의 여러 가지 장점 덕분에 손동작인식에서 레이더 센서를 활용하는 연구가 활발히 이루어지고 있다. 기존에 손동작 인식에 사용되는 CW RADAR sensor는 거리추정이 힘들다는 한계 때문에 사용자의 포지션을 제한하는 방식으로 사용한다. 본 논문에서는 FSK RADAR sensor에서 cyclic cross correlation 기법을 사용해서 거리를 추정하는 알고리즘을 제안하였다. 얻어진 거리정보를 사용한다면 사용자와 레이더 사이의 거리를 제한 하지 않고도 손동작 인식을 효과적으로 수행할 수 있는 적응형 시스템을 완성시킬 수 있을 것으로 기대한다.

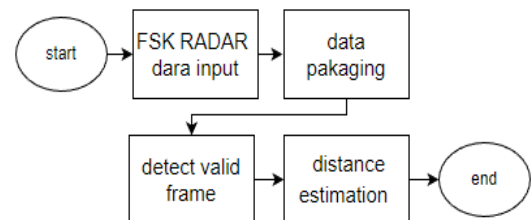
I. 서론

본 논문에서는 FSK RADAR sensor의 거리추정에서 cyclic cross correlation을 통한 알고리즘을 제안한다. 추정된 거리 정보는 손동작 인식에 활용될 수 있다. 레이더 센서는 다른 센서들에 비해 주변 환경의 영향을 받지 않고, 웨어러블 기기가 아니기 때문에 직접 착용하지 않고도 손동작 인식이 된다는 장점이 있다. 또한 카메라 센서에 비해서 프라이버시 침해 우려가 없다. 이런 장점들 때문에 손동작인식에 레이더 센서를 사용하는 연구가 활발히 이뤄지고 있다.[2] 기존에 사용되고 있는 FMCW RADAR나 펄스레이더는 하드웨어 구현이 복잡하고, 넓은 대역폭을 사용하므로 가격이 비싸다.[3] 또한 CW RADAR는 가격은 저렴하지만, 물체의 움직임만을 인식할 뿐, 거리 추정이 힘들다는 한계가 있어서 사용자의 포지션을 제한한 채로 사용한다.[4],[5] 이런 제약은 실사용에 있어서 불편함을 수반한다. 따라서 본 논문에서는 FSK RADAR를 이용한 거리추정을 통해 거리를 추정하고 손동작 인식에서의 사용을 제한함으로써 기존 방식들의 한계를 해결하고자 한다.

II. 본론

본 논문에서 제안하는 시스템의 블록도는 그림1과 같다. FSK RADAR sensor는 f_1 와 f_2 주파수를 갖는 두 개의 반송파를 교대로 전송한다. data packaging 단계에서는 레이더로부터 얻은 신호를 적절히 분류하는 작업을 한다. 또한 이 단계에서 수신된 신호에 대한 decimation도 수행한다. detect valid frame 단계에서는 신호를 사이의 유효한 프레임들을 찾는다.[6] 유효한 프레임을 찾음으로써 모션이 없을시 낭비되는 전

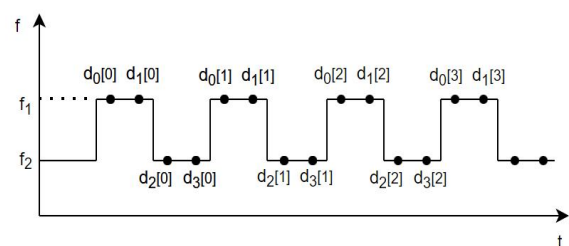
력소모를 감소시킨다. 마지막단계에서는 제안하는 알고리즘을 통해서 target과 radar사이의 distance를 추정한다.



<그림 1> Proposed system

2.1. data packaging

FSK RADAR는 f_1 와 f_2 주파수를 갖는 두 개의 반송파를 교대로 전송한다. 레이더로부터 얻어지는 샘플 데이터를 $d_0[n]$, $d_1[n]$, $d_2[n]$, $d_3[n]$ 의 데이터 행렬에 순환적으로 추가되도록 분류한다.



<그림 2> FSK RADAR sensor의 수신신호 분류

* 교신저자 : 이성주

2.2. distance estimation

FSK RADAR는 두 종류의 반송파를 사용하고, 그 둘의 위상 차이를 이용하여 거리를 구한다. 손동작 인식 시스템에서 FSK RADAR의 두 반송파 주파수의 차이는 아주 작고, 도플러 주파수의 차이는 거의 없다.[7] 따라서 두 반송파의 도플러 주파수가 같다고 가정하면(i.e., $f_{d,1} \cong f_{d,2} = f_d$), 위상차를 계산할 때 도플러 주파수에 의한 영향은 상쇄되므로 쉽게 위상차를 구할 수 있다. 그리고 이렇게 구한 위상차를 이용해서 식 (1)의 거리를 구할 수 있다.

$$D = \frac{c\Delta\phi}{4\pi\Delta f} \quad (1)$$

target과 radar 사이의 distance 추정은 다음과 같은 과정으로 이루어진다. 우선 동작으로 인해 발생하는 도플러 주파수가 몇 샘플동안 지속되는지 구해야한다. 유효 프레임 내에서 N 포인트 FFT를 취하면 가장 큰 값을 갖는 bin이 도플러 주파수 일 것이다. 그 bin을 이용해서 상대적인 지점을 구한 후, 도플러주파수의 지속시간인 n_{df} 을 구할 수 있다.

유효한 데이터 프레임은 f_1 주파수 그룹과 f_2 주파수 그룹으로 나눌 수 있다. 두가지 반송파 주파수 그룹사이에 cyclic cross correlation을 적용한다. 이에 대해 식 (2)로 정의한다.

$$R_{i,i+c}[k] = \sum_{l=0}^{n_{df}-1} d_i[S+l] d_{i+c}[S+l+k] \quad (2)$$

S는 유효 프레임의 시작 지점을 나타낸다. cross correlation이 순환적으로 수행되기 때문에, 그 결과에 대한 가장 큰 값의 위치는 두 시그널의 위상차를 의미한다. 식 (3)을 통해 위상차를 정의 할 수 있다.

$$\Delta\tilde{\phi}_i = \frac{2\pi * \argmax(|R_{i,i+c}[k]|)}{n_{df}} \quad (3)$$

식 (3)번을 통해 얻는 값들에 평균을 취해서 위상차를 구할 수 있다. 마지막으로 위상차들의 평균값을 식 (1)에 적용해서 distance값을 구할 수 있다.

2.3. 실험환경

RADAR model name	K-MC1
sampling rate	31.25 Kbps
Δf	9 MHz
손동작 방식	위에서아래로 동작
타겟과 레이더 사이의 거리	30, 60, 90 (cm)
항목당 데이터수	각각 80개

<표1> 실험 환경

2.4. 실험결과

- 거리 추정 정확도

	30cm	60cm	90cm	평균
정확도	80%	88%	71%	80%

<표2> 거리 추정 오차

각 거리별로 80회의 실험을 진행하였고, 거리의 오차 범위가 10cm이내 인 경우에 거리를 제대로 추정한 것으로 하였다. 60cm의 경우가 가장 정확도가 높았고, 90cm의 경우가 가장 낮은 정확도를 보였다.

III. 결론

본논문에서는 도플러 레이더에 cyclic cross correlation 기법을 적용해서 레이더와 타겟사이의 거리 추정 알고리즘을 제안했다. 제안한 알고리즘을 통해서 약 80%의 정확도로 거리를 측정했고, 60cm에서 가장 높은 정확도를 보였다. 또한 손동작이 일어나는 유효프레임 검출을 통해서 전력소모를 최소화 할 수 있도록 고려하였다. 이를 통해서 기존의 사용자의 위치를 고정시키는 방식 대신, 포지션에 구애받지 않는 적응형 손동작 인식 시스템을 완성할 수 있을것으로 기대한다. 추후에 더 다양한 거리와 동작들에서 더 높은 정확도를 얻을 수 있도록 연구를 계속할 계획이다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 산업통상자원부의 시장선도를 위한 한국 주도형 K-Sensor 기술개발(R&D)사업(과제번호 1415181734) 및 과학기술정보통신부 재원으로 한국연구재단(No. 2020R1A2C1007546)의 지원을 받아 수행된 연구이며, 검증을 위한 EDA관련 툴은 IDEC의 지원을 받았다.

참 고 문 헌

- [1] Alex Roney Mathew, A. Al Hajj and A. Al Abri, "Human-Computer Interaction (HCI): An overview," 2011 IEEE International Conference on Computer Science and Automation Engineering, Shanghai, China, 2011, pp. 99-100, doi: 10.1109/CSAE.2011.5953178.
- [2] Ahmed, S.; Kallu, K.D.; Ahmed, S.; Cho, S.H. Hand Gestures Recognition Using Radar Sensors for Human-Computer-Interaction: A Review. Remote Sens. 2021, 13, 527. <https://doi.org/10.3390/rs13030527>
- [3] P. Goswami, S. Rao, S. Bharadwaj and A. Nguyen, "Real-Time Multi-Gesture Recognition using 77 GHz FMCW MIMO Single Chip Radar," 2019 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE), Las Vegas, NV, USA, 2019, pp. 1-4, doi: 10.1109/ICCE.2019.8662006.
- [4] A. A. Pramudita, Lukas and Edwar, "Contactless Hand Gesture Sensor Based on Array of CW Radar for Human to Machine Interface," in IEEE Sensors Journal, vol. 21, no. 13, pp. 15196-15208, 1 July1, 2021, doi: 10.1109/JSEN.2021.3073263.
- [5] S. Y. Kim, H. G. Han, J. W. Kim, S. Lee and T. W. Kim, "A Hand Gesture Recognition Sensor Using Reflected Impulses," in IEEE Sensors Journal, vol. 17, no. 10, pp. 2975-2976, 15 May15, 2017, doi: 10.1109/JSEN.2017.2679220.
- [6] Yu, M.; Kim, N.; Jung, Y.; Lee, S. A Frame Detection Method for Real-Time Hand Gesture Recognition Systems Using CW-Radar. Sensors 2020, 20, 2321. <https://doi.org/10.3390/s20082321>
- [7] C. Li, J. Wang, D. Rodriguez, A. Mishra, Z. Peng and Y. Li, "Portable Doppler/FSK/FMCW Radar Systems for Life Activity Sensing and Human Localization," 2019 14th International Conference on Advanced Technologies, Systems and Services in Telecommunications (TELSIKS), Nis, Serbia, 2019, pp. 83-93, doi: 10.1109/TELSIKS46999.2019.9002367.