

FMCW 레이더 센서 기반의 강의용 광역 마이크 시스템

Widerange Microphone System for Lecture using FMCW Radar Sensor

Woojin Oh*

*Professor, School of Electronic Engineering, Kumoh National Institute of Technology, Gumi, 39177 Korea

ABSTRACT

In this paper, we propose a widerange array microphone for lecturer tracked with Frequency Modulated Continuous Waveform (FMCW) radar sensor. Time Difference-of-Arrival (TDoA) is often used as audio tracking, but the tracking accuracy is poor because the frequency of the voice is low and the relative frequency change is large. FMCW radar has a simple structure and is used to detect obstacles for vehicles, and the resolution can be archived to several centimeter. It is shown that the sensor is useful for detecting a speaker in open area such as a lecture, and we propose an wide range 4-element array microphone beamforming system. Through some experiments, the proposed system is able to adequately track the location and showed a 8.6dB improvement over the selection of the best microphone.

Keywords : Wide range microphone, FMCW radar sensor, mmWave sensor, Microphone beamforming

I. 서 론

배열 마이크 시스템은 화자가 유선 또는 무선 마이크를 사용하지 않고 원거리에서 대화가 가능한 장점이 있어 화상회의나 멀티미디어 강의에 사용되고 있다. 화상회의용 배열 마이크는 간단하면서도 화자 추적에 용이

한 탁상형을 많이 사용하며 3~5개의 마이크 중에서 1개를 선택하거나 2개의 신호를 결합하는 방식으로 간단히 구현된다. 멀티미디어 강의나 대형 화상회의에서는 천정 또는 벽면에 수십 개의 마이크로 구성된 평면형 배열 마이크를 사용하고 있다. 평면형 배열 마이크는 빔 포밍으로 넓은 영역에서 원거리 입력을 지원하지만 복잡한 신호 처리가 요구되는 단점이 있다[1]-[3].

본 논문에서는 멀티미디어 강의를 위한 배열 마이크에 FMCW 레이더(Frequency Modulated Continuous Waveform Radar)를 결합한 방식을 제안한다. 이전의 연구에서는 화자 추적을 3~5개의 배열 마이크 간 TDoA(Time Difference-of-Arrival)로 검출하고 보상하는 기법을 사용한 바 있다[2]. 이는 기존 마이크에 수신된 음성 신호와 다른 마이크의 신호들과 상호상관(Cross correlation)으로 지연을 추정하는 방식으로 음성 신호의 특성상 주기성을 갖는 경우에는 위치 추정에 오류가 발생할 수 있었다. 그러나 제안된 방식은 FMCW 레이더를 사용하므로 대상 영역에 존재하는 장애물을 수 cm의 해상도로 검출이 가능하므로 배열 마이크에는 지향성 빔포밍만 적용하면 된다.

2장에서 강의용 배열 마이크 시스템에 대한 특징과 기존 연구를 간단히 살펴보고 3장에서 FMCW와 결합한 제안된 방식을 소개하고 실험 결과를 제시하고 4장에서 결론을 맺는다.

II. 강의용 배열 마이크 시스템

멀티미디어 강의시스템에 사용되는 마이크는 관리가 쉬운 핸드헬드 또는 구즈넥형의 유무선 마이크를 많이 사용하며 이동성이 필요한 경우 무선 헤드셋 또는 핀 마이크를 사용한다. 관리와 이동성을 갖춘 원거리 마이크는 천정에 설치되어 교단에서 자유롭게 이동하는 화자의 음성을 수신하여 강의 환경에 적합한 장점이 있다.

논문 [2]에서 제안된 원거리 마이크 시스템에 대해 알

Received 2 March 2021, Revised 10 March 2021, Accepted 11 March 2021

* Corresponding Author Woojin Oh(E-mail:wjoh@kumoh.ac.kr, Tel:+82-54-478-7485)

Professor, School of Electronic Engineering, Kumoh National Institute of Technology, Gumi, 39177 Korea

Open Access <http://doi.org/10.6109/jkiice.2021.25.4.611>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

아보자. 고가의 줌(Zoom) 마이크를 사용하는 대신에 탁상형 마이크 시스템에서 많이 사용하는 단일 지향성의 카디오이드(Cardiod) 특성을 갖는 범용 마이크의 직렬 배열로 원거리 수신을 위한 빔포밍 특성을 만들었다. 배열의 마이크는 각 마이크에 수신된 음성 신호는 화자와 거리 차이에 따라 위상차가 나타나며 이를 보상하여 합치는 것이다. 이격거리는 반 파장이 요구되나 음성 신호는 20KHz 이하의 저주파수로 넓은 범위의 파장을 가져 설정에 어려움이 있다. 사람의 청각 특성과 일상적인 대화의 주파수 대역을 고려하여 주파수를 1KHz로 선택하면 이격거리는 17cm가 되어야 한다. 강의 환경에서의 빔 포밍은 근거리 신호원이 존재하는 근거리 모델이 되어 방위각을 알아도 거리 차가 존재하므로 정확한 화자 추적이 필요하다.

교단과 같이 넓은 영역을 지원하기 위해서는 반 파장 간격의 배열 마이크가 다수 필요하게 되므로 이동통신에서 사용하는 셀(Cell)을 도입하여 로밍(Roaming)으로 복잡도를 줄이기도 한다. 이전 연구에서 각 셀을 3개의 마이크 배열로 구성하고 폭이 4m인 교단에 대해 3셀로 가능함을 보인 바 있다[3].

이러한 강의용 배열 마이크 시스템에 필수적으로 요구되는 것은 화자의 위치이다. 그 방법으로 반 파장 간격의 마이크들에 수신된 신호들의 상호상관 침투치로 지연을 추정하는 TDoA 방식이다. 음성 신호는 주파수의 상대적 변화가 수백 배에 달하므로 반 파장의 이격거리를 특정하기 어렵다. 특정 파장에 대응하는 이격거리로 위치를 추정하면 다른 주파수 신호에 대해서는 오류가 발생할 수밖에 없다. 예를 들면 비주기적인 무성음 구간에서는 정확한 위치를 찾을 수 있으나 유성음 구간에서는 많은 오차가 발생하게 된다. 그러므로 화자 추적은 음성 신호에서 무성음 구간을 검출하여 상호상관으로 찾아야 한다.

III. FMCW 레이더와 결합한 배열 마이크 시스템

강의용 원거리 마이크 시스템에서 화자 추적은 성능에 영향을 미치는 중요한 요소이다. 마이크에 수신된 신호들의 상대적인 시간 지연, 전력 등을 이용하여 여러 가지 방안이 연구되어왔다. 이 방식은 무선통신 등에서 먼저 연구됐으며 음성 신호에서는 전력과 주파수의 변

화에 따라 정확도가 떨어지는 문제가 있다.

근거리에서 화자를 추적하기 위한 다른 접근 방식으로 거리와 위치를 측정하는 센서인 FMCW 레이더를 적용하였다. 밀리미터파 센서인 FMCW 레이더는 구조가 간단하고 수 m에서 수백 m까지의 범위에서 정밀하게 장애물 탐지가 가능하다. 차량용으로 개발되어 자율주행에 많이 사용되고 있으며 최근에는 단일 칩으로 상용화되어 산업용 로봇의 장애물 탐지, 실내 인원 체크, 지능형 가로등, 차량 탑승객 인식, 통행량 측정 등 다양한 분야에 활용되고 있다[4].

FMCW 레이더 IC는 밀리미터파 센서(mmWave sensor)라고도 하며 TI, NXP, Infineon 등 여러 기업에서 상용화되었다. 본 논문에서는 개발의 편리성과 다양한 종류의 IC를 제공하는 TI사의 xWR 계열의 센서를 사용하였다. TI의 EVM(Evaluation Module) 보드를 기반으로 디버그 기능과 USB 포트를 제거하고 오디오 모듈과 통신을 위한 직렬포트를 추가하여 구현한 것이다. EVM 보드와 같은 구조이므로 TI사에서 제공하는 환경을 그대로 적용할 수 있다.

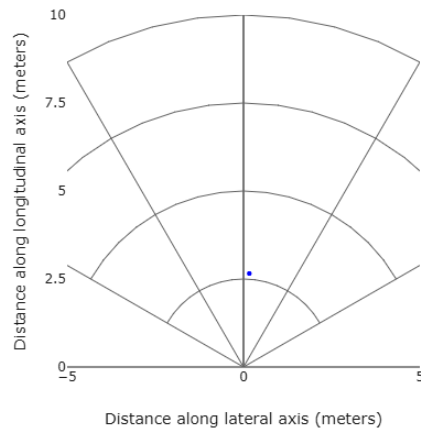


Fig. 1 Detected target in mmWave sensor

FMCW 레이더의 동작 원리와 각종 파라미터에 대한 설명은 일반적이므로 생략했으며 참고[5]에 자세히 설명되어있다. 레이더 파라미터는 TI의 mmWave Demo Visualizer를 이용하여 위치 추적에 적합한 값을 찾은 후에 마이크 시스템에서 직렬통신으로 설정하도록 하였다[6]. 거리 해상도는 최고의 해상도인 3.9cm, 초당 10번 측정으로 설정하였으며 속도와 관련된 파라미터는 본 논문과 무관하므로 낮은 값으로 하였다. 그림 1에 장

애물이 검출된 예를 보였다. 점은 화자이며 교탁과 같은 다른 장애물도 나타날 수 있으나 RCS(radar cross section) 문턱값을 조정하여 제거할 수 있다. 검출된 장애물의 위치정보는 센서 보드에서 직렬통신으로 거리와 방위각의 조합으로 마이크 시스템에 전달된다.

그림 2는 개발한 FMCW 레이더 센서 보드와 4개의 직렬배열 마이크로 구성된 원거리 마이크 시스템이다. 가운데 기둥에 레이더 센서를 배치하고 마이크를 교단의 크기를 고려하여 50cm 간격으로 4개를 배치하였다. 화자 추적이 레이더로 센서로 처리되므로 이격거리는 반 파장이 아닌 마이크의 수신 거리와 화자의 영역을 고려하여 결정할 수 있다. 참고로 논문에서 사용한 이격거리 50cm는 약 340Hz의 주파수에 해당한다.

각 마이크에 수신된 신호의 결합은 거리에 의한 시간 지연 $d_i(t)$ 에 따른 보상으로 이루어진다[7].

$$y(t) = \sum_{i=0}^3 s_i m_i(t - d_i(t)) \quad (1)$$

여기서 $m_i(t)$ 는 i 번째 마이크 신호이며 s_i 는 마이크 신호의 반전을 보상하는 부호 값이다. 이전의 상호상관 방식에서는 반전된 경우 상관 값이 음수로 나오기 때문에 자동으로 보상이나 레이더 센서를 사용한 경우 별도의 검출 방안이 필요하다.

그림 3(a)는 정면 1.3m에 스피커를 설치하고 0.1ms 폭의 임펄스를 발신하여 수신한 신호이다. 4번이 반전된 것을 알 수 있듯이 정확한 화자 추적으로 지연 보상이 된 신호는 부호로 쉽게 판별할 수 있다. 반전 보상 부호는 처음에 결정되면 마이크 전원이 인가된 동안에는 변화하지 않는다. 그림 3(b)는 음성에서 보상이 된 신호이며 개별 마이크의 신호보다 훨씬 커진 것을 확인할 수 있다.

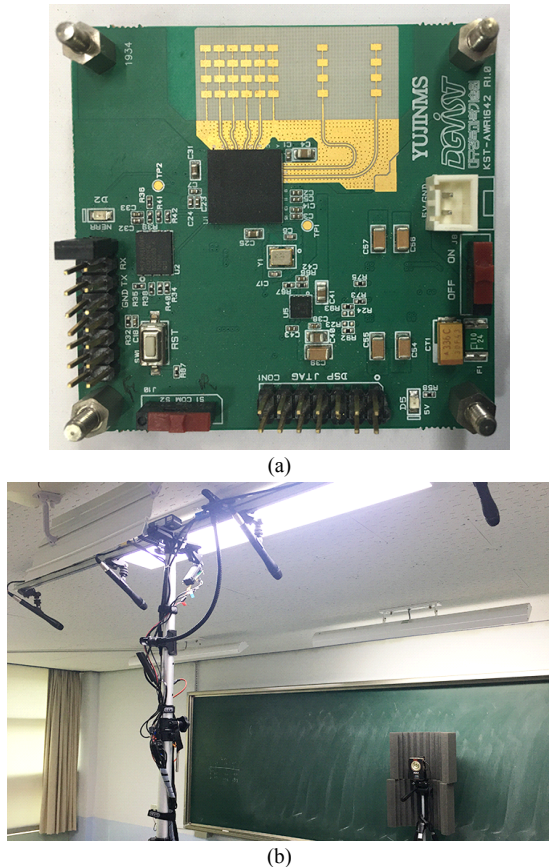


Fig. 2 Array microphone system with radar sensor for lecture: (a) Radar Sensor Board (b) Overall System

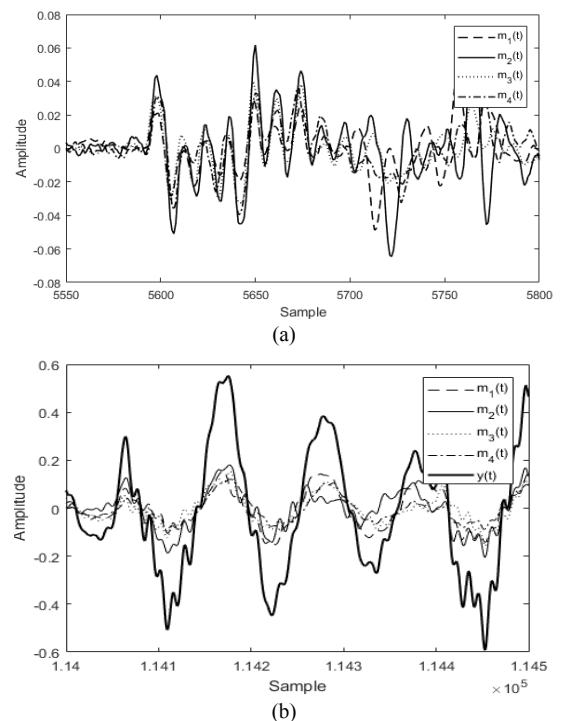


Fig. 3 Experiment results with (a) impulse and (b) voice

마지막으로 표 1은 1.3m 떨어진 위치에서 교단의 영역인 좌우로 2m씩 이동하며 측정된 이득을 보였다. 보상된 전력과 마이크 신호 중 가장 큰 전력을 비교하였으며 평균 8.6dB의 성능 개선이 확인되었다.

Table. 1 Performance improvement in various position

position	-2 m	0 m	2 m
P_y	0.0019	0.0026	0.0016
$\max(P_{m_i})$	1.81E-4	5.06E-4	2.28E-4
$dB(P_y/P_{m_i})$	10.21	7.10	8.46

IV. 결 론

본 논문에서는 FMCW 레이더로 화자를 추적하는 강의용 광대역 배열 마이크를 제안하였다. 일반적인 화자 추적은 음성 신호에 TDoA로 위치를 검출하였으나 정확도가 떨어져 이를 해결하기 위한 다양한 연구가 진행되어 왔다.

FMCW 레이더는 구조가 간단하여 차량용 장애물 감지에 많이 사용되고 있으며 근거리의 경우 수 cm의 해상도를 얻을 수 있어 강의와 같이 특정 영역에 화자가 위치하는 경우에 유용할 것이다. 본 논문에서는 FMCW 센서로 3.9cm의 정확도로 위치 추적한 후 4개의 배열 마이크만 사용하여 4m의 영역에 광대역 수신기 가능함을 보였다. 실험 결과 제안된 시스템은 최적 마이크를 선택하는 경우보다 8.6dB의 성능 개선을 보였다.

향후에는 다수의 화자가 있는 경우에 FMCW 레이더와 음성 TDoA를 결합하여 이를 구분하기 위한 연구를 수행하고 동급의 마이크를 다수 사용하여 위치 추적과 빔포밍한 결과와 비교할 예정이다.

ACKNOWLEDGEMENT

This research was supported by Kumoh National Institute of Technology(2018-104-070)

REFERENCES

[1] J. Benesty, M. M. Sondhi, and Y. Huang, *Springer handbook of speech processing*, New York, NY: Springer, 2008.

[2] M. Yiwere and E. J. Rhee, “3-D Sound Source Localization using Energy-Based Region Selection and TDOA,” *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 21, no. 2, pp. 294-300, Feb. 2017.

[3] W. Oh, “Wide Coverage Microphone System for Lecture Using Ceiling-Mounted Array Structure,” *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 22, no. 4, pp. 624-633, Apr. 2018.

[4] E. Yavari, C. Song, V. Lubecke, and O. Boric-Lubecke, “Is there anybody in there?: Intelligent radar occupancy sensors,” *IEEE Microwave Magazine*, vol. 15, no. 2, pp. 57-64, 2014.

[5] S. Rao, Introduction to mmWave sensing: FMCW radars [Internet], 2017. Available: <https://training.ti.com/node/1139153>.

[6] Texas Instrument. (Apr, 2020). User's Guide: mmWave Demo Visualizer [Internet]. Available: <https://www.ti.com/lit/ug/swru529c/swru529c.pdf>.

[7] S. Seo and M. Kim. “3D Impulsive Sound-Source Localization Method through a 2D MEMS Microphone Array using Delay-and-Sum Beamforming,” in *Proceedings of the 9th International Conference on Signal Processing Systems (ICSPS 2017)*, Auckland, New Zealand, pp. 170-174, 2017.