

다중 거리 센서를 사용한 강의용 광역 마이크 시스템

Wide-range Lecturing Microphone System using Multiple Range Sensor

Woojin Oh*

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

ABSTRACT

In this paper, a wide-range microphone system for lectures using dual 3D sensors is proposed. A previous work using a single sensor had lowering the detecting threshold to support wide-area. However it was found that an error occurred when lecturer wears clothes with low reflectivity or has small body size. When multiple sensors are used to expand the coverage it could be cause various problems. Each sensor could show different distance to the same target. We derive the rotation angle and and compensate for lecturing microphone system using sensors on the line. The proposed method shows a little improvement in performance by about 1dB compared to the previous works but the performance is uniform in all areas regardless of reflectivity.

Keywords : Wide range microphone, Multiple range sensor, Array microphone, Self sensor adjustment

I. 서 론

강의용 광역 마이크 시스템은 배열 마이크를 이용하여 화자 추적으로 교단 영역을 적용 범위로 제공하는 비부착형 무선 마이크 시스템이다. 일반적인 무선 마이크는 헤드셋 또는 핀 마이크를 신체에 부착하는 방식으로

공용 강의실과 같은 곳에서는 관리가 어려운 단점이 있다. 광역 마이크 시스템의 마이크는 원거리 수신으로 무선 마이크처럼 화자가 자유롭게 이동하며 사용할 수 있는 장점이 있다.

배열 마이크를 이용한 광역 기능은 적응 신호처리에 기반한 방식부터 2D FMCW 레이더, 3D 거리 센서를 적용한 화자 추적까지 다양하게 연구되었다[1-6]. 거리 센서를 사용하는 경우 적응 신호처리에서 필요한 검출과 추적 알고리즘 제거되므로 구현이 간단한 장점이 있다. 논문 [6]에서는 3D 센서로 화자의 위치를 검출하고 간단한 지연과 크기 보상으로 교단 영역에서 수신되는 것을 보였다. 사용된 3D센서는 능동 적위선 방식의 CygLiDAR D1로 2m의 측정 거리, 120°의 시야각을 갖고 있다 [7]. 이 경우는 반사 면적이 큰 화자를 대부분의 교단 영역에서 검출할 수 있었다.

본 논문에서는 교단의 범위에서 모든 화자를 검출하도록 두 개의 센서를 이용한 방안을 제시한다. 이 방식은 이전 연구와 달리 반사율이 낮은 작거나 어두운 색상의 옷을 입은 화자에 대해서도 검출이 가능한 장점이 있다. 다수의 센서로 인한 문제점을 살펴보고 중앙의 피사체에 대한 오차를 보정하여 선형 배열의 마이크에 적용하는 방안을 제시한다. 제안된 방법은 광역 마이크의 성능은 전 영역에서 균일한 특성을 보이는 장점이 있다.

본 논문의 구성은 2장에서 3D 거리 센서를 이용한 강의용 배열 마이크 시스템에 대하여 알아보고 3장에서 다수의 거리 센서를 사용할 때 나타날 수 있는 문제점과 해결 방안을 제시하고 실험으로 검증하였다.

II. 거리 센서 기반의 광역 마이크

강의용 광역 마이크 시스템은 배열 구조의 마이크를 사용하여 빔 포밍(beamforming)으로 원거리 수신을 제공한다. 빔 포밍을 위한 적응 신호처리 기법은 음성 신호의 낮은 주파수 대역과 변화 폭이 큰 특성으로 인해

Received 31 March 2022, Revised 8 April 2022, Accepted 13 April 2022

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

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

Open Access <http://doi.org/10.6109/jkiice.2022.26.5.808>

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

복잡한 연산이 요구되며 정확도가 떨어지는 문제가 있다. 강의용 광역 마이크는 수신 범위가 제한된 공간이므로 거리 센서로 화자 추적이 가능하며 복잡한 신호처리를 제거할 수 있다 [1, 5-6].

2D 거리 센서는 레이저, 초음파, 레이더 등을 사용하여 반사체의 거리와 방위각을 제공한다. 이 센서는 동일 방위각에 대한 최단 거리의 반사체만 측정하므로 천정에 설치하는 광역 마이크 시스템에서는 신체 최상단이 측정되는 오차가 나타난다. 이를 해결하기 위해서는 3D 센서를 사용해야 하지만 많은 경우 해상도가 낮고 최대 측정 거리가 짧은 단점이 있다.

논문 [6]에서 사용한 3D 센서는 CygLiDAR D1로 위상차 기반의 간접 TOF(Time-Of-Flight) 방식의 능동형 적외선 센서이다. 20만원 대의 범용 2D/3D 복합 센서이며 주요 제원은 다음과 같다 [7].

- 측정 거리: 20~800cm (2D), 5~200cm (3D)
- 오차 및 분해능: ±1%, 160x60 (3D)
- 시야각: 수평 120°, 수직 65°
- 주파수 채널: 16 채널
- 크기 및 무게: 37.4x37.4x24.5mm, 28g

교단 영역에 대한 거리 측정은 최대 3m가 필요하여 검출 문턱값을 조정하여 거리 한계를 확장하였다. 이는 측정 거리가 반사체의 반사율에 따라 결정되고 사람과 같이 큰 반사체이기 때문에 가능한 것이다. 문턱값 조정으로 발생하는 문제점은 화자가 검은색 옷을 입거나 키가 작은 경우에는 반사율이 더 낮아져 검출이 어려울 수 있다는 것이다 [8-9].

이를 해결하는 방법은 다수의 센서를 사용하여 측정 영역을 확대하는 것이다. 다음 장에서는 2개의 센서로 교단 영역을 지원하는 방안을 살펴보겠다.

III. 이중 3D 거리 센서의 거리 보정

본 논문에서는 2개의 거리 센서와 4개의 마이크를 직렬 배열하여 강의용 광역 마이크 시스템을 구성하였다. 그림 1은 제안된 시스템이 교단과 평행하게 천정에 부착되는 것을 가정하여 위에서 본 형태를 보인 것이다. 다수의 3D 센서를 사용하는 경우 두가지 문제가 발생할

수 있다. 첫 번째는 센서간 간섭이 없도록 적외선 파장을 다르게 하거나 트리거 펄스로 시 분할로 동작해야 한다. 두 번째는 설치 운영에서 센서의 수평과 수직이 정확히 유지되어야 다수의 센서로부터 측정된 값을 활용할 수 있다는 것이다. 첫 번째 문제는 본 논문의 센서가 다채널을 지원한다고 제시되어 있지만 서로 다른 채널에서도 간섭이 발생하여 직렬통신으로 트리거 신호를 적용하였다. 두 번째 문제는 실제 설치에서 수평은 수평계 등의 도구로 비교적 정확히 맞출 수 있으나 교단과의 평행을 유지하는 것은 어렵다. 따라서 작은 오차가 발생할 수 있으며 그림 1의 θ 만큼 회전각이 발생하게 된다. 이를 분석하고 보정 방안을 살펴보자.

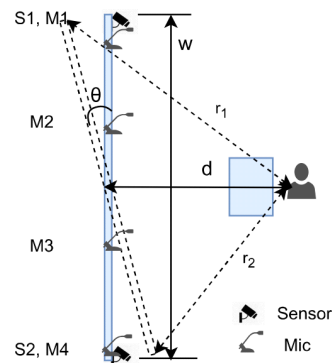


Fig. 1 Proposed wide-range microphone system with dual 3D sensor

정면의 교탁에 있는 화자와 거리가 d 이고 센서 간격이 w 라 하자. 마이크와 센서가 설치된 센서 바와 화자가 직교일 때 센서 S_1, S_2 에서 측정된 거리는 r_1, r_2 로 다음과 같다.

$$r_1 = r_2 = \sqrt{(w/2)^2 + d^2} \tag{1}$$

실제 설치과정에서 센서 바가 수직이 아닌 θ 의 오류가 있으면 거리는 각각 다음과 같이 표현된다.

$$r_1 = \sqrt{\left(d + \frac{w}{2} \sin\theta\right)^2 + \left(\frac{w}{2} \cos\theta\right)^2} = \sqrt{d^2 + (w/2)^2 + dw \sin\theta} \tag{2}$$

$$r_2 = \sqrt{\left(d - \frac{w}{2} \sin\theta\right)^2 + \left(\frac{w}{2} \cos\theta\right)^2} = \sqrt{d^2 + (w/2)^2 - dw \sin\theta} \tag{3}$$

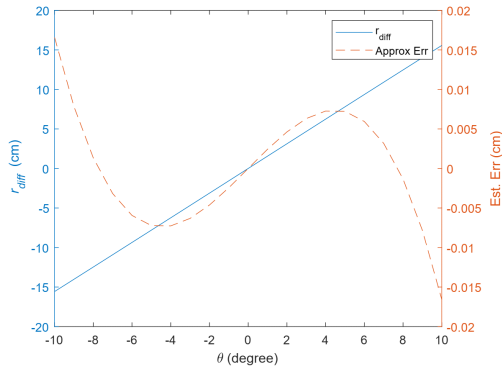


Fig. 2 Range difference(solid) and its 1st order curve fitting error(dashed) when sensor bar is tilted by θ

그림 2는 거리 $d=2m$, 센서 간격 $w=2m$ 에서 측정되는 거리 차 $r_{diff} = r_1 - r_2$ 를 보인 것이다. 실선으로 표시한 거리 차 r_{diff} 는 회전각이 없으면 0이고 각이 커질수록 큰 값이 된다. 이 값은 직선에 가까워 1차 함수로 간단히 근사화가 가능하며 그 오차를 점선으로 표시하였다. 근사화 함수는 정수형 연산을 고려하여 다음과 같이 구하였으며 0.2mm 미만의 작은 오차를 갖는다.

$$r_{app} = \frac{399}{256} \theta \quad (4)$$

여기서 θ 는 회전각으로 ± 10 도의 범위에서 유효하다.

거리 센서로 절대 위치를 구하는 방법은 논문 [5]에서 제시한 방법 사용하였다. 강연자는 항상 수직으로 서 있으므로 거리 영상에서 세로 형태로 나타나게 된다. 동일한 x값을 갖는 두 지점의 거리 측정값으로부터 화소당 거리 P 를 알 수 있다.

$$P = \sqrt{\frac{r_a^2 - r_b^2}{a^2 - b^2}} \quad (5)$$

여기서 a, b 는 거리 영상에서 두 지점의 y 값이며 r_a, r_b 는 각각 측정된 거리이다. 이로부터 화자의 상대 위치를 알 수 있으며 센서의 설치 위치가 정해져 있으므로 절대 위치도 구할 수 있다.

실험은 마이크를 교단에서 수평으로 1.3m 떨어진 위치에 2m의 직선 바에 4개의 마이크를 균등하게 배치하고 양단에 3D 거리 센서를 그림 3과 같이 설치했다. 센서와 마이크의 높이는 2.6m이며 배열 마이크의 음성 결

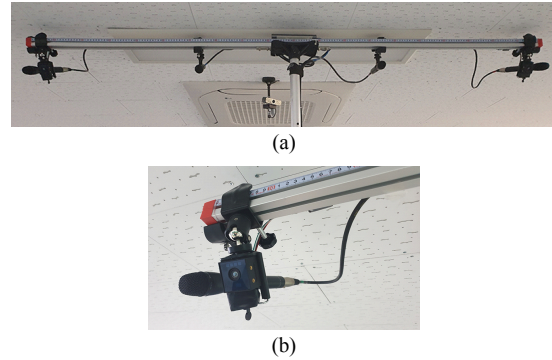


Fig. 3 Proposed microphone system with dual 3D sensors: (a) Sensor bar, (b) Detailed view of sensor and mic.

합은 다음과 같이 지연-합을 적용하였다 [2]. 센서 바는 중앙에 물체 또는 화자가 위치할 때 두 센서의 측정 거리 차이가 작아지도록 평행에 가깝게 설치한다. 측정된 거리 차로부터 센서 바의 회전 각을 추정하여 향후의 측정에서 보정 인자로 사용하게 된다.

그림 4는 중앙의 화자를 두 개의 센서에서 측정한 거리 영상이다. 수직 값이 37인 동일한 화자에 대해 측정된 거리는 1637cm와 1659cm이며 거리 차는 -2.2cm가 된다. 식 (4)으로 회전 각은 -1.41° 이 되며 2m 길이의 센서 바에서는 약 5cm의 오차이다. 최대한 정확히 설치하였음에도 어느 정도의 오차가 발생한 것이다.

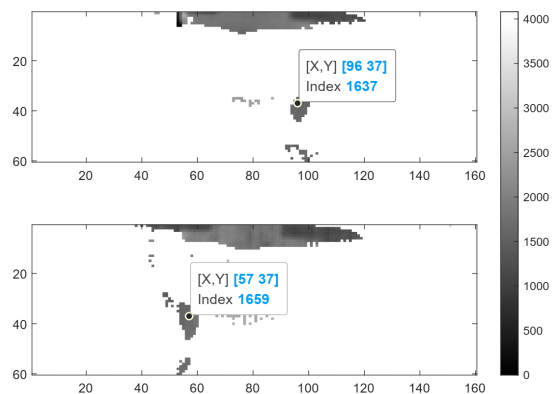


Fig. 4 Range image of dual 3D sensor: Speakers at center ($[x,y]$ and index are pixel position and measured distance in cm, respectively)

표 1은 이전 결과와 비교하기 위하여 동일 조건인 교단의 영역인 좌우로 2m씩 화자를 이동하며 측정하였다.

배열 신호처리 없이 가장 큰 전력의 마이크 신호로 처리한 경우와 단일 및 이중 3D 센서를 적용한 성능을 비교하였다. 제안된 이중 센서 방식의 중앙부 성능은 단일 센서와 동일한 결과를 보였다. 교단의 좌우 양단에서는 이전보다 성능이 개선되어 중앙부와 비슷한 수준이 되었다. 제안된 방식의 성능 개선은 단일 센서와 비교해서 1dB 정도의 적은 개선을 보이지만 적외선 반사율이 낮은 어두운 색의 옷을 착용하거나 작은 체구의 화자에 대해서도 정확히 동작한다는 장점을 갖고 있다.

Table. 1 Performance comparison in various position

Method \ Position	-2 m	0 m	2 m
None: $\max(P_{m_i})$	1.81E-4	5.06E-4	2.28E-4
Single 3D Sensor [6]	0.0025 (11.4dB)	0.0031 (7.9dB)	0.0023 (10.0dB)
Proposed Dual 3D Sensor	0.0032 (12.5dB)	0.0031 (7.9dB)	0.0030 (11.2dB)

IV. 결 론

본 논문에서는 두 개의 3D 센서를 이용한 강의용 광역 마이크 시스템을 제안하였다. 단일 센서를 사용한 이전 연구가 교단 영역을 지원하기 위하여 문턱값을 낮추는 방법을 사용하였으나 낮은 반사율을 갖는 옷을 착용하거나 체구가 작은 경우에 오류가 발생하는 것을 확인하였다. 영역을 넓히기 위하여 두 개의 센서를 적용하였으며 이때 발생하는 문제점을 살펴보고 해결 방안을 제시하였다. 설치의 부정확성으로 나타나는 회전각을 분석하고 이를 보상하는 방안을 제안하였다. 제안된 방식은 이전 연구보다 1dB 내외의 적은 성능 개선을 보이지만 전 영역에서 성능이 균일해졌고 화자의 특성에 무관하게 안정적으로 동작하는 장점이 있다.

ACKNOWLEDGEMENTS

This research was supported by Kumoh National Institute of Technology (2019104079)

REFERENCES

- [1] J. Benesty, M. M. Sondhi, and Y. Huang, *Springer handbook of speech processing*, New York, NY: Springer, 2008.
- [2] S. -W. 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.
- [3] 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, Mar-Apr. 2014.
- [4] M. Hansard, S. Lee, S. O. Choi, and R. Horaud. *Time-of-flight cameras: principles, methods and applications*, New York, NY: Springer Science & Business Media, 2012.
- [5] 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.
- [6] W. Oh, "Widerange microphone system using 3D range sensor," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 25, no. 10, pp. 1448-1451, Oct. 2021.
- [7] 2D/3D Dual CygLiDAR D1 User Manual, Ver 1.0.9 [Internet] <https://www.cybot.com/downloads>
- [8] J. Kim, K. Kwak, and K. Bae, "Experimental analysis and internal calibration of the 3D LIDAR reflectivity," *Journal of the Korean Institute of Control, Robotics and Systems*, vol. 23, no. 7, pp.574-582, Jul. 2017.
- [9] B. -S. Park, D. -W. Kim, and Y. -H. Seo "A method of improving the quality of 3D images acquired from RGB-depth camera," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 25, no. 5, pp. 637-644, May. 2021