

스마트 디바이스를 활용한 가청, 비가청 신호 기반 피난방향 탐지 기법 연구

Study on the direction detection based on audible and non-audible signals using smart devices

Byeongchun Hyun^{a,1}, Younguk Yun^{a,2}, Yohan Park^{a,3}, Youngok Kim^{a,*}

^a Department of Electronic Engineering, Kwangwoon University, 20 Kwangwoonro, Nowon-gu, Seoul, 139-701, Republic of Korea

ABSTRACT

This paper proposes a direction estimation scheme with directional speaker and smart device for evacuation guidance. When there is worst disaster environment filled with smoke and noisy sound, evacuee can not get any information about evacuation routes. The proposed scheme can be used for detecting evacuation routes with audible and inaudible signal from directional speaker. At this point, evacuee can get evacuee guidance by using smartphone application that the proposed scheme is applied. The performance of the proposed scheme is evaluated by experiment with three different types of smart devices in large indoor environment. The purpose of experiment is to detect the direction of transmitted signal from directional speaker. Therefore, The experiment is conducted by analyzing the strength of transmitted signal by distance. The experimental results show that even if the smart device is located up to 20m away from the speaker, it is possible to detect the sending direction of the signal. We confirmed the possibility of the proposed technology in 8kHz and 20kHz signal detection by smart device.

KEYWORDS

Directional speaker
Audible·Inaudible
signal
Smart-device
Direction estimation

본 논문에서는 재난 발생 시 지향성 스피커와 스마트 디바이스를 활용한 피난 방향 탐지 기법을 제안하고자 한다. 본 논문에서 제안하는 기법은 연기, 소음 등의 원인으로 출구 방향 조차 알 수 없는 최악의 재난 환경에서 지향성 스피커로부터 송출되는 가청·비 가청 주파수 대역의 안내 방송을 스마트 디바이스로 수신함으로써, 피난 경로를 안내받을 수 있는 기법이다. 제안하는 기법의 성능평가는 대형 실내공간에서 제조사가 다른 3종류의 스마트 디바이스를 이용하여 스피커로부터 송출되는 소리 신호의 방향을 탐지하여 스피커가 설치된 출구 방향을 탐지하는 것으로 평가하였다. 또한, 거리별 신호 세기와 주파수 특성을 통한 신호 검출 실험을 수행하였다. 실험결과를 통해 스마트 디바이스가 스피커로부터 최대 20m까지 떨어져 있더라도 신호의 송출 방향 탐지가 가능함을 확인하였고, 스마트 디바이스로 8kHz와 20kHz 신호 검출을 통해 본 논문에서 제안하는 기술에 대한 가능성을 확인하였다.

지향성 스피커
스마트 폰
가청·비 가청 신호
피난방향 탐지

© 2017 Korea Society of Disaster Information All rights reserved

* Corresponding author. Tel. 82-2-940-5404. Email. kimyoungok@kw.ac.kr

1 Tel. 82-10-2987-6805. Email. harue6805@nate.com

2 Tel. 82-10-9069-9925. Email. yyu0907@kw.ac.kr

3 Tel. 82-10-3234-3451. Email. elutriation1117@kw.ac.kr

ARTICLE HISTORY

Received Jan. 13, 2017

Revised Jan. 25, 2017

Accepted Mar. 02, 2017

1. 서론

급격한 산업의 발달, 사회의 발전, 인구의 증가와 더불어 건축물에 문화시설, 상업시설, 주거시설 등 대규모의 초고층 건축물들이 다양하고 복잡하게 형성되고 있다. 이에 따라 잠재적인 재난 위험이 커지고 있으며 지하 건축물이나 고층 건축물에 화재가 발생할 경우 인명 및 물적 피해도 증가할 것이다. 따라서 재난 상황 시 패닉 현상을 줄이고 능동적인 피난 안내 활동이 이루어질 수 있도록 대피하는 사람에게 제공되는 피난 안내 기술 및 시스템 개발이 필요하다. 하지만 재난 상황을 대비하기 위한 여러 연구가 있었지만, 이는 소단위의 기술, 피난 유도 알고리즘에 대한 연구, 단순한 형태의 시뮬레이터 수준의 연구 등 이는 실제로 활용되기 어려운 수준의 연구만 있었다. 실제 피난 경로 안내 시스템으로 활용되기 위해서는 인원을 고려한 분산 대피 유도, 대피자의 위치 인식, 심리 연구 등 다양한 기술이 복합되어야 할 것이다.

본 연구는 재난 상황 발생 시 실내 공간에서 승객 및 대피하는 사람에게 최적 피난 경로 안내를 제공하는 것을 목표로 지향성 스피커와 스마트 디바이스를 활용한 피난 방향 탐지 기법을 제안하고자 한다. 비록 실내공간의 카메라를 활용한 많은 연구가 진행되고 있지만, 재난 상황 시 분진, 가스등에 의한 시야 확보의 어려움으로 실제 재난 상황에서는 많은 제약이 따른다. 본 논문에서는 지향성 스피커를 활용하여 시야 확보가 어려운 상황에서도 제약 없이 사용될 수 있는 피난 방향 탐지 기법을 제안하며, 모의실험을 통해 제안하는 기법의 활용 가능성을 확인한다.

2. 시스템 모델

기존에 연구된 피난유도기법 중, 대표적으로 CCTV를 활용한 카메라 기반의 피난유도연구가 있지만, 실제 재난 상황에서 발생하는 유해가스, 분진, 연기 등으로 피난유도에 있어서 한계점들을 보인다. Fig. 1은 재난 발생 시 제안하는 기법의 시스템 모델을 나타내고 있다. Fig. 1에서 볼 수 있듯이, 재난 지역으로부터 연기가 확산되기 전, 지향성 스피커의 직진성을 활용하여 가청 대역의 대피 안내 방송을 송출함으로써 대피자가 재난 상황을 인지하고 현장을 대피하도록 유도한다. 그리고 연기가 확산된 후에는, 대피자의 청력과 시력만으로 피난 경로를 탐색할 수 없으므로, 지향성 스피커에서 가청, 비 가청 신호를 송출하여 대피자가 스마트 디바이스를 통해 피난 방향을 안내받게 된다.



Fig. 1 A conceptual diagram of the proposed technology (left), a direction detection app (right)

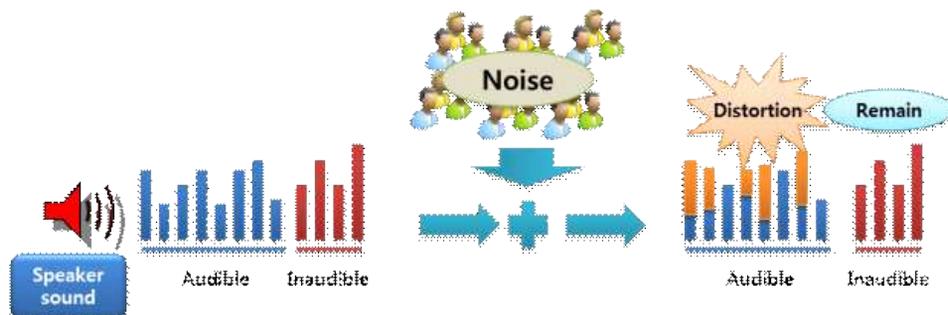


Fig. 2 Characteristics of non-audible frequency with no signal distortion

Fig. 2는 소음에 대한 가청 주파수 대역과 비 가청 주파수 대역의 차이를 나타내고 있다. Fig. 2를 통해 알 수 있듯이, 가청 주파수 대역의 경우, 재난 환경에서 발생하는 소음에 의해 신호의 간섭이 발생 될 수 있다. 그러나 가청 주파수보다 높은 대역인 비 가청 주파수 대역의 경우, 가청 주파수 대역보다 상대적으로 신호의 간섭 없이 신호를 송·수신할 수 있다. 따라서 본 논문에서 제안하는 기술은 청력과 시력만으로 피난 경로를 탐색할 수 없는 재난 상황에서, 스마트 디바이스를 활용한 가청, 비가청 신호 기반 피난방향 탐지 기법 연구이다.

2.1 신호검출

본 논문에서 제안한 피난 방향 탐지 기법의 핵심은 스피커의 송출 신호 구별을 통해 피난 방향 안내를 하는 것이다. 재난 발생 시에는 채널 환경에 따라 발생하는 잡음 및 실내공간상의 외부적 요인으로 신호감도 경향이 달라진다. 이러한 이유로 외부적 요인에 의해 발생하는 신호감도 변화를 고려하기 위해 원신호의 주파수 특성으로 검출 여부를 확인하였다. 따라서 자체 개발한 App를 가지고 신호 검출을 하기 위해 시간 영역의 오디오 신호를 fast Fourier transform (FFT) 알고리즘을 이용하여 주파수 영역으로 변환하였다. 소리 신호 분석에서 최대 주파수는 샘플 비율의 반이므로 사용한 샘플 주파수는 44.1kHz로 설정하여 최대 22.05kHz를 표현할 수 있도록 하였다. 그리고 이 샘플 주파수를 1,024개의 샘플로 나누면 각 배열의 첫 번째 요소는 0과 21.533Hz 사이에 해당하는 오디오 레벨을 의미한다. 본 실험에서는 측정값의 Hz 별 차이를 좀 더 명확히 표현하기 위해 주파수 축을 표현하는 배열 요소를 두 배로 해주었다.

개발된 안드로이드 App을 통해 주파수 성분별 스펙트럼의 peak를 확인했을 때 평균적으로 가청 주파수 8kHz는 740, 비 가청 주파수 20kHz는 1850번째 배열에 값이 입력되었다. 실험에서는 가청, 비 가청 주파수 대역의 신호 검출을 위해 8kHz와 20kHz의 특성값을 사용하였다. 또한, 제안한 피난 방향 탐지 기법은 연기가 확산된 후에도 피난 유도가 가능하게 하는 것이 목적이므로 대피자는 송출하는 스피커의 위치 및 정보를 파악할 수 있어야 한다. 따라서 실험을 통해 각 주파수별 신호와 2개 이상의 신호 조합에 대한 Peak 특성을 확인하였고, 이 특성을 이용하여 비 가청 통신도 가능함을 확인하였다. 본 논문에서는 기술 제안 목적으로 거리에 따른 신호 검출 및 음원의 방향 탐지 가능성에 초점을 두어 거리별 신호 감쇠와 신호 인식에 대해 집중적으로 연구하였다.

2.2 신호의 방향 탐지

일반적으로 신호를 수신할 때 송신부로부터 멀어질수록 신호 감쇠 현상이 나타난다. 또한, 스피커와 스마트 디바이스의 마이크 지향 각도에 따라 입력되는 음압레벨 (dB) 값이 다르다. 스피커와 스마트폰의 마이크 지향 각도가 직선인 경우 수신 신호의 dB 값이 크고, 직선이 아닐 경우 상대적으로 dB 값이 작다. 본 논문에서 제안하는 기법은 이러한 특성을 바탕으로 dB 값이 큰 지점에 대해 스마트폰에 탑재된 자이로 센서를 가지고 최대 dB 값이 측정되는 방향을 탐지하여 이를 피난 경로 방향으로 결정한다.

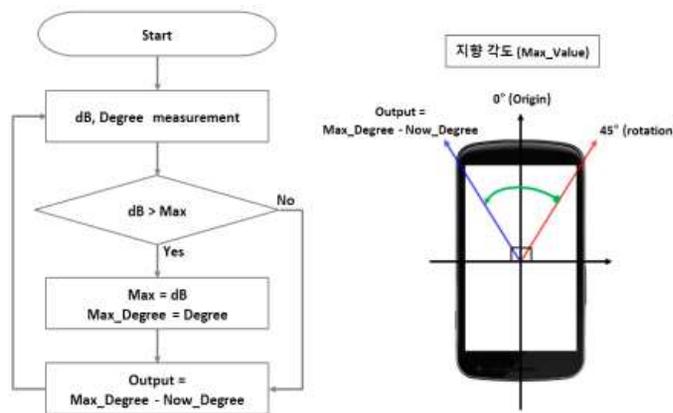


Fig. 3 Direction detection flowchart (left), direction detection App concept (right)



Fig. 4 Smart device detection of signal transmission direction (left), development App configuration (right)

Fig. 3은 방향 검출 알고리즘에 대한 순서도와 개발 App 개념도를 나타내고 있다. Fig. 3에서 볼 수 있듯이, 수신신호의 최대 dB 값을 기준으로 방향각을 저장하는데, 방향각이 변할 경우 변동된 방향각과 저장된 방향각을 비교하여 그 중에서 가장 큰 dB 값에 대한 방향을 피난경로방향으로 결정하는 알고리즘이다.

Fig. 4 (좌)는 스마트폰에 방향 검출 알고리즘에 관한 어플리케이션을 설치하여 신호의 송출방향을 탐지하는 모습을 보여준다. 수신된 신호의 최대 dB 값을 바탕으로 피난유도방향을 탐지하는데, 주목할 점은 자이로 센서에 영향을 받는다는 것이다. 자이로 센서는 측정되는 각속도를 이용하여 시간이 지날수록 각도 오차가 생겨 기울기 값이 변하는 고유 문제점이 있다. 따라서 본 논문에서는 스피커에서 송출되는 주파수별 신호 검출에 대해 중점적으로 실험하였다.

3. 제안한 기법의 분석 및 성능 평가

제안한 기법의 성능평가는 스피커로 송출된 신호의 주파수 성분에 따라 거리별 신호 세기의 변화를 분석함으로써, 거리 변화에 따른 신호 검출 및 방향 탐지에 대한 가능성을 확인하였다. 또한, 일반 스피커는 소리의 회절 성질로 인해 신호가 퍼져 거리가 멀어질수록 손실되는 정도가 심하다. 따라서 지향성 스피커를 통해 거리별 신호 세기의 변화도 분석하였다.

실험에 사용된 신호는 가청 신호인 8kHz, 비 가청 대역인 20kHz 음원을 사용하였다. Fig. 5는 실험에서 사용된 8kHz 신호에 대한 파형과 스마트 디바이스로 수신된 신호의 샘플 데이터 파형을 나타내고 있다. 이 신호들은 스펙트럼 분석을 위해 FFT 연산을 취하였으며, 스펙트럼은 Fig. 6과 같이 표현된다.

실험 공간은 최대 직선거리 80m의 실내 주차장이며, 사용된 스마트폰은 L사, S사, G사의 제품으로 총 3대이다. 또한, 일반 스피커는 정격소비전력 10W, 임피던스 4Ω의 스피커를 사용하였고 지향성 스피커는 Power 48V 2A SMPS인 것을 사용하였다. 그리고 각 스피커와 음원에 대해 dB meter (TES 1357 sound level meter) 측정값을 기준으로 비교하였다.

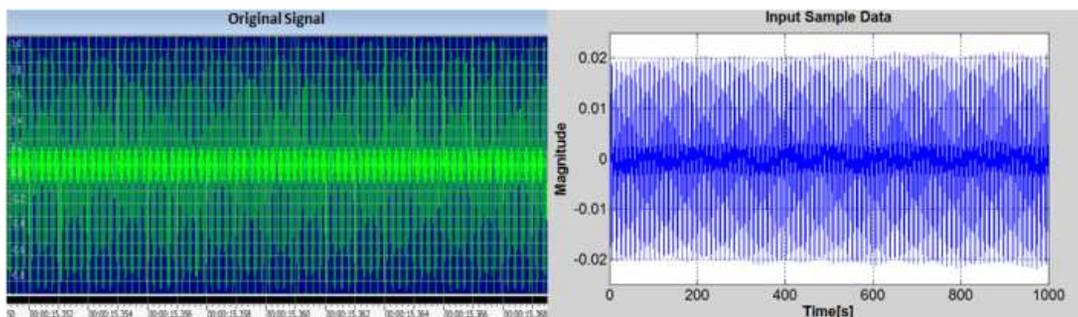


Fig. 5 Comparing the waveform of the transmission signal (left) and the waveform of the signal received from the smartphone's microphone

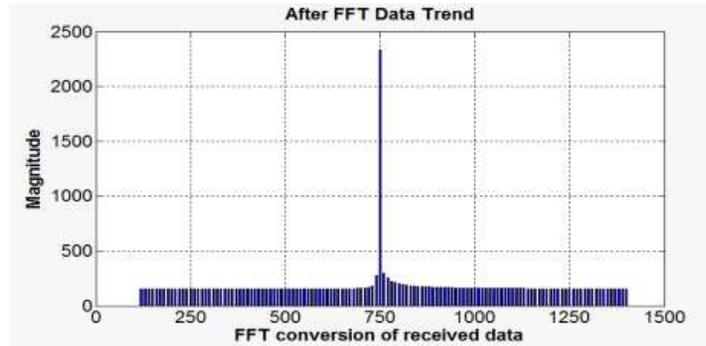


Fig. 6 Receive Data FFT Transform (8kHz)

3.1 일반 스피커로부터 송출된 신호

일반 컴퓨터용 스피커로부터 송출된 신호 검출 가능성 유무를 확인하기 위해 20kHz 신호와 녹취된 공사현장 및 재난 현장 소리를 동시에 송출하여 비교했다. 그 결과 Fig. 7 (우)와 같이 노이즈환경에도 특정 주파수를 감지하는 것을 실험을 통해 확인하였고, 이와 같은 주파수 특성을 이용하여 거리별 신호 검출 실험을 하였다.

Fig. 7 은 송출된 신호의 주파수 성분에 따른 거리별 신호 세기의 변화를 분석하기 위해 설치한 일반 스피커와 스마트폰을 나타내고 있다. Fig. 7 과 같이 스마트폰과 일반스피커를 설치한 상태에서 스마트폰을 일반스피커로부터 최대 8m까지 이동시킨다. 이때 1m 간격 당 수신된 신호의 세기를 분석하였으며, 그 결과는 Fig. 8과 같다.

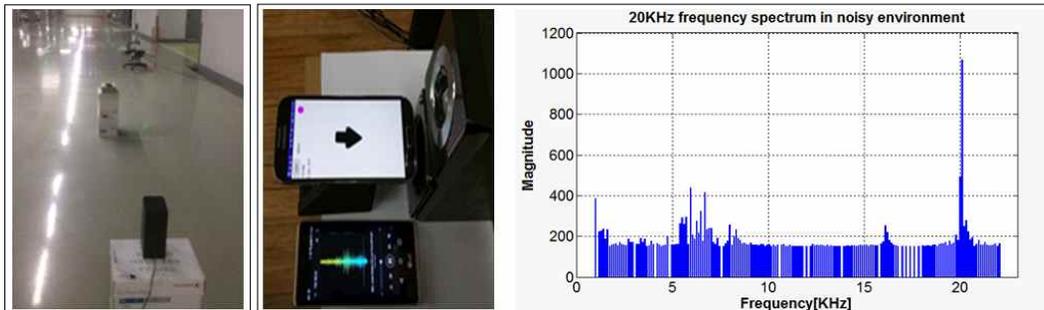


Fig. 7 Experiment according to distance frequency component (left), Signal Detection Spectrum in Noise Condition (Right)

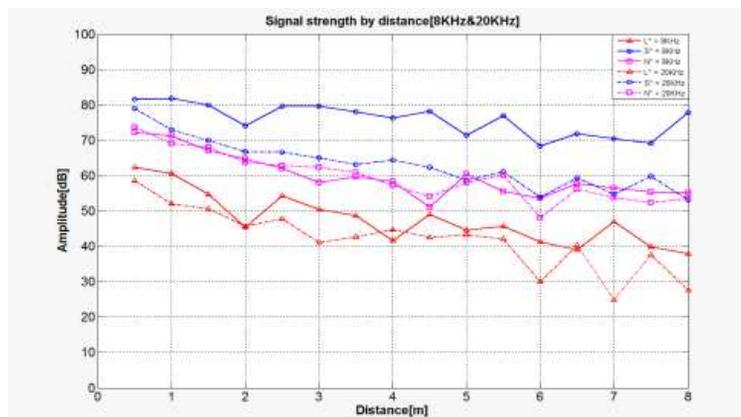


Fig. 8 Signal intensity change by smart device distance

Fig. 8은 일반 스피커로부터 송출된 8kHz와 20kHz 음원에 대해 제조사가 서로 다른 스마트폰 3대를 가지고 거리별로 신호를 수신하였을 때의 신호세기변화 추이를 나타내고 있다. Fig. 8에서 볼 수 있듯이, 스마트폰의 종류에 따라 수신 신호의 진폭 값이 다르며, 6m 지점부터 모든 스마트폰의 수신 신호의 세기가 절반으로 감소하는 것을 알 수 있다.

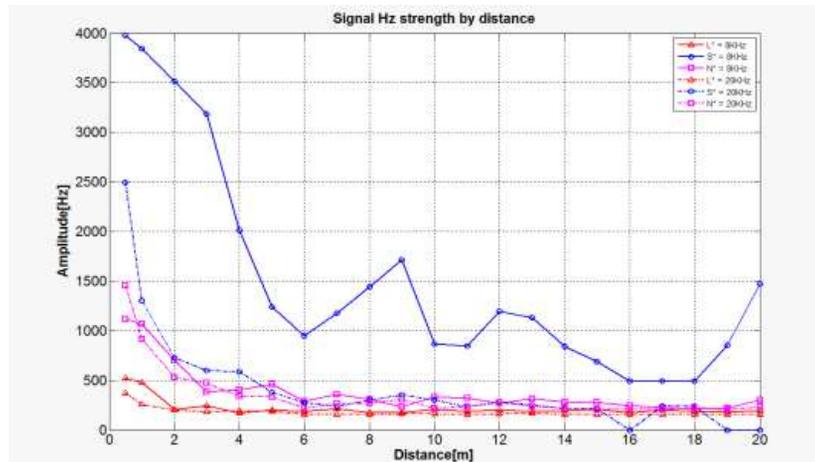


Fig. 9 Change in smart device Hz per distance (8kHz, 20kHz)

Fig. 9는 스마트 디바이스별로 거리 변화에 따른 음원의 스펙트럼 크기 감소 추이를 나타내고 있다. Fig. 9에서 볼 수 있듯이, 스마트폰과 스피커 간의 거리가 0.5m부터 최대 20m까지 멀어질수록 스펙트럼의 크기 감소를 확인할 수 있었다. Fig. 9에서 주목할 점은 가정신호인 8kHz의 경우, 거리 증가에 따라 스펙트럼의 크기 감소 추이가 급격히 변동함을 알 수 있는데, 이는 일반스피커의 신호 퍼짐 특성과 가정 주파수 신호의 손실 및 간섭에 의한 것으로 추정된다.

3.2 지향성 스피커를 활용한 신호 검출

Fig. 10.(좌)는 지향성 스피커 통해 Hz 별 입력 Data를 비교한 것이다. 1kHz, 2kHz의 경우 신호의 특성이 확인되나, 그 외에 영역에서는 White noise 형태로 나온다. 이는 실험에 사용된 지향성 스피커가 재생 대역이 한정되어 있어서 높은 주파수를 재생할 수 없었다. 따라서 본 논문에서 지향성 스피커의 성능 평가는 1kHz 음원으로 실시하였다. Fig. 10.(우)는 1kHz의 주파수 스펙트럼이며, 1kHz 음원은 개발된 App으로 측정 시 주파수 배열의 평균 92.5번째 영역에서 peak 값을 가진다. 지향성 스피커를 이용한 실험에서는 이 주파수 특성값을 통해 신호 감지 여부를 판단하였다. Fig. 11은 거리별로 지향성 스피커로부터 송출된 신호를 수신하였을 때, 수신 신호 세기의 변화를 나타내고 있다. Fig. 11에서 볼 수 있듯이, 처음 25m~30m 지점까지는 감소 구간을 보였지만 그 이후 변동은 적었다. 이것은 지향성 스피커의 특성으로 인해 거리에 따른 감소 정도가 낮은 것으로 판단된다. 그리고 기준값이 되는 dB meter 역시 다른 스마트 디바이스와 유사하게 30m 지점까지 신호 세기의 감소를 볼 수 있었고, 그 이후의 감소 폭 또한 낮은 편이었다.

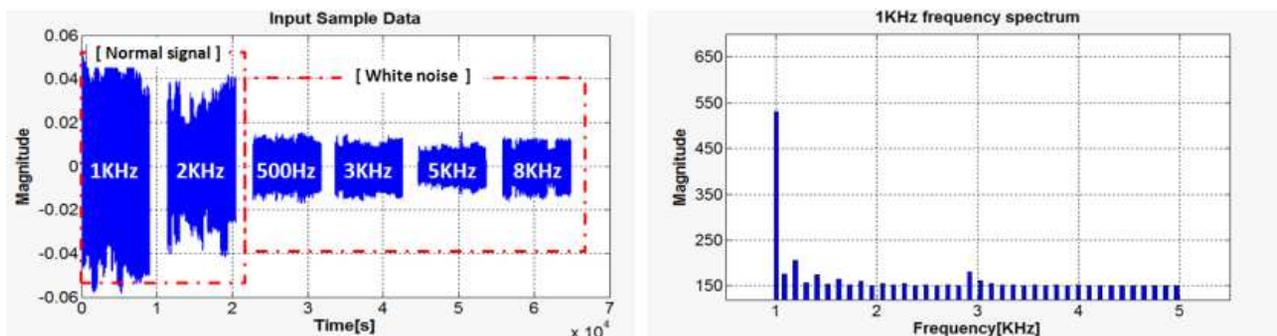


Fig. 10 Directional Speaker Comparison of input data per Hz of sound source(Left), 1kHz Signal Spectrum(Right)

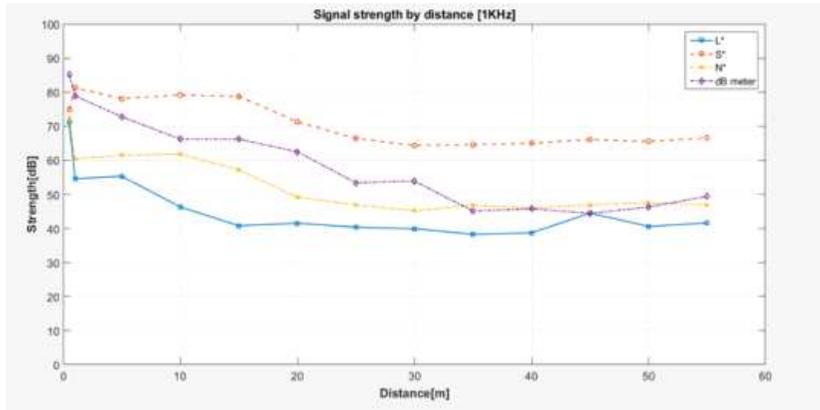


Fig. 11 Analysis of signal intensity by distance

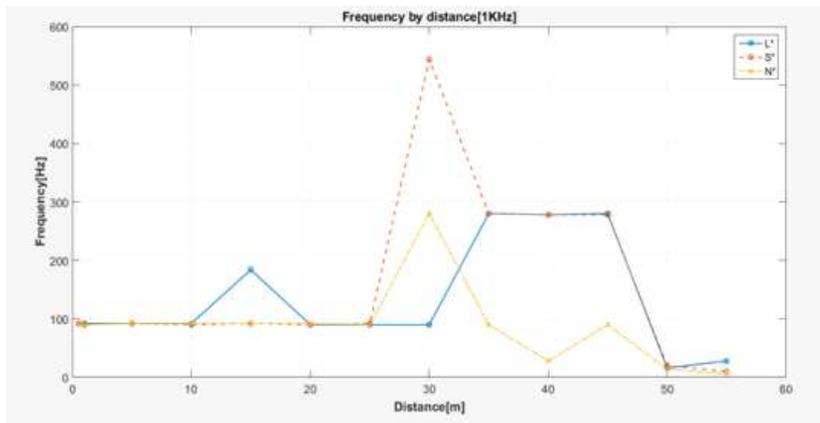


Fig. 12 Peak value change of detected FFT frequency by distance in App (1kHz)

Fig. 12는 App에서 거리별 검출된 FFT 주파수 Peak치의 변화를 보여준다. 약 25m 지점까지는 1kHz의 신호를 검출하지만 25m 이후부터는 1kHz의 신호 검출을 못하는 것으로 확인 되었다. 이는 1kHz 낮은 주파수 영역의 사용으로 주변 환경 Noise의 주파수 Peak가 더 크기 때문에 오검출 되는 것으로 추정된다. 따라서 재생대역이 높은 지향성 스피커를 통해 더 높은 주파수에서 추가적인 실험이 필요할 것으로 판단된다.

4. 결론

본 논문은 재난 상황 시 지향성 스피커와 스마트 디바이스를 활용한 피난 방향 탐지 기법을 제안하였다. 본 논문에서 제안하는 기법은 스마트 디바이스의 마이크를 통해 지향성 스피커로부터 송출되는 가청·비 가청 주파수 대역의 안내 방송을 수신하고, 각각의 주파수 특성과 신호 세기에 따라 신호의 송출 방향을 탐지한다. 제안한 기법을 스마트 디바이스에 적용할 수 있도록 App으로 개발하여, 재난 발생 시 대피자가 App을 통해 피난 경로 방향을 안내받을 수 있도록 하였다.

본 논문에서 제안하는 기법의 성능평가를 위해 개발된 App의 방향 탐지 실험을 진행하였고, 실험을 통해 일반 스피커와 스마트 디바이스의 거리가 멀어질수록 신호 감쇠 특성 및 손실을 확인하였다. 그 결과 본 논문의 실험 공간에서는 스마트 디바이스가 스피커로부터 최대 20m까지 떨어져 있더라도 신호 검출 및 방향 탐지가 가능함을 확인할 수 있었다. 반면, 지향성 스피커를 통한 실험에서는 스피커의 성능이 1kHz에서 2kHz 낮은 주파수 재생 대역만을 제공하는 하드웨어적인 한계점이 있음에도 낮은 주파수 대역에서도 최소 30m 이상의 성능을 확인할 수 있었다. 따라서 추후 진행할 연구에서는 신호의 세기와

주파수 특성을 동시에 고려한 방향 탐지를 목적으로, 고주파수 대역 신호를 재생할 수 있는 지향성 스피커로 거리에 따른 방향 탐지 및 다양한 주파수 신호 감지에 관한 추가 연구가 필요하다. 또한, 실제상황에서 연속적인 대피 경로 추적을 위해 피난 유도 알고리즘을 적용하여, 서버에서 각 지향성 스피커의 방향 유도를 제어할 수 있도록 추가적인 개발이 필요하다.

5. 감사의 글

본 연구는 국민안전처 사회재난안전기술개발사업의 지원으로 수행한 '사회재난 대응을 위한 융·복합기술 기반의 지향성 스피커 등을 활용한 인명지킴이 시스템 개발'[MPSS-사회-2015-40]과제의 성과입니다.

6. References

- Yun, Younguk, et al. "Study on Trend Analysis of Indoor Evacuation Path Guidance System for Disaster Situation." *Journal of The Korean Society of Disaster Information* 12.2 (2016): 130-135.
- Ahn, Chang Wook, and Rudrapatna S. Ramakrishna. "A genetic algorithm for shortest path routing problem and the sizing of populations." *IEEE transactions on evolutionary computation* 6.6 (2002): 566-579.
- Yuan, Yuan, and Dingwei Wang. "Multi-objective path selection model and algorithm for emergency evacuation." 2007 *Ieee International conference on Automation and logistics*. IEEE, 2007.
- Ma, Wenjing, Yingzhuo Xu, and Hui Xie. "The optimal path algorithm for emergency rescue for drilling accidents." 2009 *IEEE International Conference on Network Infrastructure and Digital Content*. IEEE, 2009.
- Li, Qiuping, et al. "Multiobjective evacuation route assignment model based on genetic algorithm." 2010 18th *International Conference on Geoinformatics*. IEEE, 2010.
- Liu, Jingya, Roberto Rojas-Cessa, and Ziqian Dong. "Real-time evacuating routing during earthquake using a sensor network in an indoor environment." *Sarnoff Symposium, 2015 36th IEEE*. IEEE, 2015.
- Chen, Lien-Wu, Jen-Hsiang Cheng, and Yu-Chee Tseng. "Optimal Path Planning With Spatial-Temporal Mobility Modeling for Individual-Based Emergency Guiding." *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems* 45.12 (2015): 1491-1501.
- Yin, Ke, and Juncheng Jiang. "Application of fire monitoring and personnel evacuation in subway station based on wireless sensor network." *Audio, Language and Image Processing (ICALIP), 2014 International Conference on*. IEEE, 2014.
- Chen, Lien-Wu, Jen-Hsiang Cheng, and Yu-Chee Tseng. "Distributed emergency guiding with evacuation time optimization based on wireless sensor networks." *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems* 27.2 (2016): 419-427.
- Seet, Boon-Chong, et al. "A-STAR: A mobile ad hoc routing strategy for metropolis vehicular communications." *International Conference on Research in Networking*. Springer Berlin Heidelberg, 2004.
- Yao, Junfeng, et al. "Path planning for virtual human motion using improved A* star algorithm." *Information Technology: New Generations (ITNG), 2010 Seventh International Conference on*. IEEE, 2010.
- AlShawi, Imad S., et al. "Lifetime enhancement in wireless sensor networks using fuzzy approach and A-star algorithm." *IEEE Sensors journal* 12.10 (2012): 3010-3018.
- Weisstein, Eric W. "Fast fourier transform." (2015).
- Cochran, William T., et al. "What is the fast Fourier transform?." *Proceedings of the IEEE* 55.10 (1967): 1664-1674.
- Peterson, Roger L., Rodger E. Ziemer, and David E. Borth. *Introduction to spread-spectrum communications*. Vol. 995. New Jersey: Prentice Hall, 1995.
- De Buda, Rudi. "Coherent demodulation of frequency-shift keying with low deviation ratio." *IEEE transactions on communications* 20.3 (1972): 429-435.