

스마트 선풍기를 위한 바람 소리 기반 사용자 위치 추적 연구

전희수, 이민희, 김효수
중앙대학교 컴퓨터공학부

aheesu723@gmail.com, alsgml9091@gmail.com, hskimhello@cau.ac.kr

Listening to Wind Sound for Angular Position Tracking on Smart Fans

Heesu Jun, Minhee Lee, Hyosu Kim

School of Computer Science and Engineering, Chung-Ang University

요 약

최근 IoT 시대가 도래하면서 스마트 가전 제품들이 등장하고 있다. 이러한 흐름에 맞추어 본 논문에서는 선풍기가 사용자의 위치를 추적할 수 있게 하는 기술인 WindSeeker 를 제안한다. 특히, 바람 소리와 선풍기 회전 모드의 특징을 이용하여 사용자의 위치를 도출한다. 실험을 통해 WindSeeker 가 높은 수준의 범용성, 사용성, 정확도를 제공할 수 있음을 보여주었다.

I. 서 론

최근 IoT 기술이 발전함에 따라 기존에 사용하던 여러 일반적인 기기들을 활용해 새롭고 유익한 사용자 경험을 제공할 기회가 많아졌다. 사용자가 직접 선풍기의 방향을 자신이 있는 쪽으로 고정하지 않아도 사용자의 위치를 자동으로 파악하여 그 방향으로 선풍기 바람을 쏘아주는 선풍기를 그 예시로 떠올려 볼 수 있다.

기존 모바일 컴퓨팅 및 IoT 분야에서 사용자의 위치를 추적하려는 다양한 시도들이 존재하였다. 하지만 해당 기술들을 이용하여 사용자 위치 추적 기능을 일반 선풍기에 적용하기에는 많은 어려움이 있다. 예를 들어, 기존 기술들은 빛 센서[1][2], 적외선 센서[3] 등과 같은 추가적인 하드웨어를 요구하거나, 또는 집, 사무실 등 일반적인 환경에서는 목격하기 힘든 여러 개의 Wi-Fi AP 를 필요로 한다[4][5]. 다시 말해서, 추가적인 기기들이 설치되어야만 한다는 점에서 범용성이 많이 떨어지게 된다.

본 논문에서는 이러한 추가적인 하드웨어 없이도 선풍기로부터 사용자의 위치를 추적하는 기술인 WindSeeker 를 제안한다. WindSeeker 는 별다른 선풍기와 스마트폰 사이의 동기화 프로토콜 없이도 선풍기와 스마트폰만으로 사용자의 위치를 찾아낸다. 이 기술의 핵심은 바람이 마이크에 직접 불 때 녹음되는 저주파 바람 소리를 이용하는 것이다. 구체적으로, 선풍기가 회전하는 동안 스마트폰의 마이크를 이용하여 바람 소리를 녹음하고 이를 바탕으로 사용자의 위치를 추적한다. 결국, WindSeeker 는 기존 선풍기의 하드웨어나 소프트웨어에 변형을 가하지 않고 어느 선풍기에나 사용 가능하도록 하는 높은 범용성 및 사용성을 지니는 기술이며, 이에 더해 WindSeeker 는 다양한 신호 처리 기술들을 바탕으로 높은 정확성을 제공한다.

II. 본 론

1. 개요

WindSeeker 의 핵심은 저주파 바람 소리와 선풍기 회전 모드의 특징을 이용하는 것이다. 특히, Figure 1 과 같은 방식으로 회전 모드 작동을 지원하는 일반적인 선풍기와, 마이크를 탑재하고 있는 스마트폰을 사용하여 사용자의 각도 위치를 파악한다.

구체적으로, 선풍기가 회전 모드로 작동하고 있을 때, 스마트폰이 사용자의 근처에 존재하고 있다는 전제 하에 스마트폰의 마이크를 녹음을 진행하며, 녹음된 데이터로부터 저주파 대역에서 바람 소리를 추출하고, 이를 바탕으로 바람이 분 시간대를 파악한다. 마지막으로 선풍기 회전 모드의 특징을 이용하여 선풍기로부터 사용자의 상대적인 각도 위치를 추정한다.

2. 시스템 디자인

바람 소리는 일반적으로 200Hz 보다 낮은 저주파 대역의 소리로서, 스마트폰의 마이크에 바람이 직접적으로 불 때 저주파 대역에서 큰 진폭으로 관찰된다. 반면, 바람이 다른 방향으로 불고 있다면 바람 소리는 전혀 관찰되지 않는다. 특히, 사람들의 대화 소리와 같은 일상 소음들은 주로 200Hz 보다 높은 주파수 대역에서 관찰되므로 저주파 대역에 대한 관찰을 통해 소음과는 무관하게 바람 소리를 관찰할 수 있다.

이러한 특징에 기반하여 본 연구에서는 선풍기가 회전하는 동안 녹음된 데이터에 low-pass Butterworth filter 를 적용하여 200Hz 보다 낮은 대역의 소리만을 추출한다. 바람이 스마트폰 방향으로 직접 불었을 경우, 바람 소리로 인해 추출된 저주파 대역 소리에서 큰 세기로 관찰된다. 이 때 세기가 가장 클 때의 시간대가 바람이 스마트폰의 방향으로 분 시간대를 의미하며, 이를

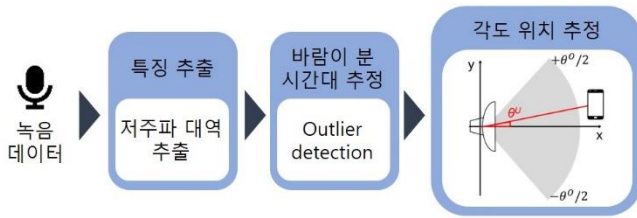


Figure 1. WindSeeker 시스템 개요

통해 바람이 분 시간을 측정한다. 이 때, 더 정확하게 측정하기 위해 스마트폰의 상/하단에 탑재된 다수의 마이크를 함께 사용한다.

다음으로 측정된 바람 관측 시간 T^W 로부터 사용자의 각도 위치인 θ^u 를 추정한다. 이를 위해 선풍기의 기본적인 정보들을 알고 있으며 선풍기는 왼쪽에서 오른쪽으로 회전한다고 가정한다. 예를 들어, 선풍기의 회전 반경 (θ^0)과 각속도 (v^R) 중 2 가지의 특성을 안다고 가정한다. 이에 기반하여 다음과 같이 선풍기의 정면 각도를 기준으로 한 사용자의 각도 위치인 θ^u 를 계산한다.

$$\theta^u = \frac{\theta^0}{2} - v^R(T^W - T^L)$$

위 수식에서 T^L 은 선풍기가 왼쪽 코너($\theta/2$)에 머무르는 시간을 의미하며, $(T^W - T^L)$ 의 시간 동안의 회전량을 바탕으로 사용자의 각도 위치 θ^u 를 계산한다.

3. 실험

본 실험은 Google Pixel 4 스마트폰과 Xiaomi Smartmi Fan 2S 선풍기를 이용하여 진행하였다. 해당 선풍기는 회전 반경 각도(θ^0)가 120° 이고 $8.89^\circ/\text{초}$ 의 속도로 회전한다. 본 실험 동안 선풍기의 회전 반경 내에서 10° 씩 간격을 옮겨 가며, 선풍기로부터 1.5m 떨어진 위치에 스마트폰을 두고 실험하였다. 특히, 각 실험 환경별로 100 번 실험을 진행하였고 평균으로 정확도를 계산하였다.

Figure 2 에서 볼 수 있는 것과 같이 WindSeeker 는 모든 실험에서 평균 오차가 3 도 이내였고 표준편차 값은 1 도 이내로 전체적으로 매우 정확하게 사용자의 위치를 추적할 수 있음을 확인할 수 있었다. 실제 선풍기 날개의 크기와 사람 몸의 크기를 고려했을 때 3 도 이내의 오차는 무시할 수 있는 정도이며, 항상 사용자에게 바람이 정확하게 전달되도록 할 수 있다. 다시 말해, WindSeeker 가 높은 정확도로 사용자 각도 위치 추적이 가능하며, 일반적인 선풍기와 스마트폰 환경에서 별다른 동기화 프로토콜이나 선풍기의 하드웨어와 소프트웨어에 대한 수정 없이도 사용할 수 있음을 의미한다.

III. 결론

본 논문에서는 선풍기의 바람 소리를 이용하여 사용자의 위치를 추적하는 WindSeeker 를 제안했다. 바람이 마이크로 직접 불 때 강한 저주파 소리가 녹음되는 현상과 선풍기 회전 모드의 특성을 이용하였으며, 다양한 신호 처리 기술들을 이용하여 바람이 분 시간대를 알아내고 사용자의 각도 위치를 추정하였다. 특히, 실험을 통해 약 3 도 이내의 높은 정확도로 사용자 각도 위치 추적이 가능함을 확인할 수 있었으며,

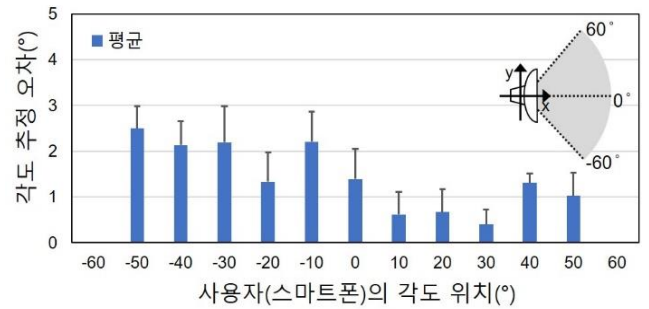


Figure 2. 다양한 각도 위치에 대한 정확도 실험 결과

WindSeeker 의 기능을 바탕으로 자동으로 사용자의 위치를 파악하고 바람 방향을 조절하는 스마트 선풍기가 나타날 것이라고 기대한다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 SW 중점대학사업의 연구결과로 수행되었음 (20170001000041001)

참 고 문 헌

- [1] Y.-S. Kuo, P. Pannuto, K.-J. Hsiao, and P. Dutta, "Luxapose: Indoor positioning with mobile phones and visible light," in Proceedings of the Annual International Conference on Mobile Computing and Networking, 2014.
- [2] E. Di Lascio, A. Varshney, T. Voigt, and C. P'erez-Penichet, "Localight - a battery-free passive localization system using visible light," in Proceedings of the ACM/IEEE International Conference on Information Processing in Sensor Networks, 2016.
- [3] J. Gong, Y. Zhang, X. Zhou, and X.-D. Yang, "Pyro: Thumb-tip gesture recognition using pyroelectric infrared sensing," in Proceedings of the Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, 2017.
- [4] M. Kotaru, K. Joshi, D. Bharadia, and S. Katti, "Spotfi: Decimeter level localization using wifi," in Proceedings of the ACM Conference on Special Interest Group on Data Communication, 2015.
- [5] Y. Xie, J. Xiong, M. Li, and K. Jamieson, "md-track: Leveraging multi-dimensionality for passive indoor wi-fi tracking," in The Annual International Conference on Mobile Computing and Networking, 2019.