

# FeetNavi: 시각 장애인의 길찾기를 위한 족부 진동 피드백 시스템

## FeetNavi: Feet Vibrotactile Feedback for The Blind Navigation

유용재

Yongjae Yoo

포항공과대학교 컴퓨터공학과  
Dept. of CSE, POSTECH  
dreamseed@postech.ac.kr

오세영

Seyoung Oh

포항공과대학교 컴퓨터공학과  
Dept. of CSE, POSTECH  
osy4997@postech.ac.kr

최승문

Seungmoon Choi

포항공과대학교 컴퓨터공학과  
Dept. of CSE, POSTECH  
choism@postech.ac.kr

### 요약문

본 연구에서는 시각 장애인의 길 찾기(Blind navigation)를 돕기 위한 족부 햅틱 피드백 시스템으로 FeetNavi 를 구현하였다. 사용자 실험을 통해 널리 쓰이는 보조 수단인 흰 지팡이와 길 찾기의 성능을 비교함으로써 그 효용성을 확인하였다. 사용자 실험 결과, FeetNavi 는 실내 길 찾기 Task 에서 흰 지팡이에 비해 유의미하게 우수한 성능을 보였으며, 사용성 조사 결과 직관적이고 유용하다는 피실험자들의 반응을 확인할 수 있었다.

### 주제어

촉각 피드백(Tactile feedback), 보조공학(Assistive technology), 시각장애인 길 찾기 (Blind navigation)

## 1. 서론

전 세계적으로 약 2 억명, 국내에만 200 만명에 달하는 시각 장애인들은 정안인(정상 시력을 가진 사람)과 달리 이동과 길 찾기(Navigation)에 있어서 상대적으로 어려움을 겪는 경우가 많다. 이를 보조하기 위하여 흰 지팡이(White cane)이나 안내견 등 다양한 보조 수단이 널리 활용되고 있다.

이와 더불어, 최근 기술의 발달에 따라서 시각을 대체할 수 있는 청각 또는 촉각 자극을 이용하여 진행 방향에 대한 정보, 장애물 정보 등을 제공함으로써 시각장애인들이 느낄 수 있는 불편함을 줄이고자 하는 시도가 이루어졌다. 상대적으로 많은 정보를 전달할 수 있는 음성 및 소리 기반 정보 전달 시스템이 널리 연구되어 왔다 [1,2]. 그러나 이들 시스템은 정보의 획득 창구가 청각 자극만으로 제한되며, 주행 중인 차량과 같은 위험 요소의 인지에서 중요한 역할을 하는 청각 자극에 일정 부분 부담을 가하는 문제가 있다.

이를 보조하기 위하여 제 3 의 자극인 촉각 자극이 대안으로 활용되었다. 촉각 자극은 정보량 자체는 청각 자극보다 적으나, 개인화 되어 있으며, 소음 등 외부로부터 받는 자극에 의한 혼선의 우려가 적다는

장점이 있다. 이러한 장점을 기반으로 탐침[3], 조끼[4] 등 햅틱 보조공학 장치들이 연구되었으며, 이중 일부는 제품으로 출시되기도 하였다 [5].

그러나, 이와 같이 활발히 연구되었음에도 불구하고 청각 및 촉각 보조공학 장치들은 그다지 널리 보급되지 못하고 있는데, 이는 장치의 적응 및 습득에 비교적 시간이 걸림과 더불어, 착용 및 휴대의 불편함, 그리고 장치의 특이한 외관 등의 단점으로 인하여 실 사용자가 사용을 꺼리는 문제 또한 있기 때문이다 [6].

본 연구에서 구현한 FeetNavi 는 이러한 단점에 착안, 외부에서 보이지 않는 신발 깔창(Insole)에 고성능 진동자를 삽입, 햅틱 자극을 제공하도록 하였다. 강한 햅틱 신호를 양 발바닥에 제공함으로써 진행 방향 및 장애물 존재 여부, 장애물과의 거리와 같은 정보를 사용자가 직관적으로, 분명하게 알 수 있도록 하였다. 사용자 실험에서는 FeetNavi 의 효용성을 검증하기 위해 길 찾기 Task 에서 소요시간 및 장애물과의 충돌 횟수를 측정하고, 실험 후 설문조사를 수행하였다.

## 2. FEETNAVI 시스템의 구현

### 2.1 하드웨어 및 소프트웨어 구성



그림 1. FeetNavi 시스템의 구성

그림 1 은 전체 시스템의 구성을 나타낸다. 본 실험에 사용된 하드웨어 장치는 장애물 감지 및 경로 추적과 관련된 부분은 고려하지 않았다. 대신, ‘오즈의 마법사 방법 (Wizard-of-Oz method)’을 사용하여

사용자의 진행 방향과 주변 장애물의 위치를 감지했다고 가정하였으며, 블루투스 통신을 이용하여 진행 방향 및 거리 정보를 FeetNavi 시스템의 휴대폰으로 전달하였다.

전달된 거리 및 방향 정보는 신발의 깔창에 삽입된 진동자를 이용하여 사용자에게 제공되었으며, 이 때 진동이 가해지는 부위(발바닥)는 신체 부위 중 상대적으로 진동에 대해 둔감하므로 [7], 고성능의 진동자(TactileLabs, Haptuator Mark II)를 사용, 강한 진동을 생성하도록 하였다. 블루투스 통신을 이용한 자극 정보의 수신, 진동 피드백의 생성을 위하여 안드로이드 기반 휴대폰(Google Nexus 5)에서 실험 어플리케이션을 개발, 구동하였으며, 진동자는 휴대폰의 3.5φ 오디오 단자와 증폭 회로를 이용하여 구동하였다.

## 2.2 햅틱 피드백 설계

햅틱 피드백의 설계에 있어서 신체 부위의 특성 또한 중요한 요소로 고려되어야 한다 [8]. 따라서, 강한 저주파 진동 (100 Hz 정현파(Sinusoid), 진동 가속도  $3g-6g$ ; ( $g=9.8m/s^2$ ))을 사용하여 중요한 정보를 정확히 전달하고자 하였다. 피실험자의 진행 방향을 토대로 장애물을 회피할 수 있도록 다섯 가지(좌회전, 우회전에 대해 각각 강, 약 + 장애물 인접)의 햅틱 피드백만을 표 1과 같이 설계, 활용하였다.

표 1. FeetNavi 시스템의 햅틱 피드백

상황	햅틱 피드백
좌/우회전(약)	왼쪽/오른쪽 약한(3g) 진동
좌/우회전(강)	왼쪽/오른쪽 강한(6g) 진동
장애물 인접	양 쪽 모두 강한(6g) 진동

## 3. 사용자 실험

### 3.1 피험자

FeetNavi 시스템은 시각장애인들을 대상으로 하나, 흰 지팡이와 숙련도 면에서 큰 차이가 예상되므로 본 실험에서는 부득이 비숙련 정안인을 대상으로 실험을 진행하였다. 실험에는 총 9 명의 건강한 정안인 대학생들이 참여하였다. 피험자 전원은 시각 장애인용 흰 지팡이, 그리고 햅틱 장치를 사용해본 경험이 없었다. 피실험자들은 1 시간 내외의 실험에 참여한 대가로 금전적 보상 (1 만원)을 받았다.

### 3.2 예비 실험 - 자극의 식별 (Identification)

길 찾기 실험에 앞서, 피실험자는 편한 신발에 FeetNavi 시스템의 진동자가 설치된 깔창을 설치하고,

진동이 올바르게 나오는 지 확인하였으며, 무작위로 주어지는 햅틱 자극을 판별하는 예비 실험을 수행하였다. 1 인당 10 회, 총 90 번의 식별 Task 에서 피험자 전원이 자극을 정확하게(100%) 식별하는 것을 확인할 수 있었다.

### 3.3 본 실험 - 길 찾기 (Navigation)

본 실험에서는 그림 2 와 같이 교내 강의실(5.7m × 8.7m)에 장애물을 이용하여 서로 다른 두 종류의 미로를 설치하고, 정방향 및 역방향으로 진행하게 함으로써 피실험자 1 인당 총 4 회의 Blind navigation task 를 수행하도록 하였다. 이 때, 미로에서 통로의 폭은 약 65cm, 미로 내 경로 길이는 약 30m 정도였다. 또한, 경로를 기억하는 등의 학습 효과를 제거하기 위하여 미로의 제시 순서는 Latin Square 를 이용하여 Balancing 하였으며, 피실험자로 하여금 미로의 입구부터 안대를 쓰고 이동하도록 했다. 각 Task 사이에는 약 5 분 정도의 휴식시간이 주어졌다.



그림 2. 미로 찾기 실험 장면

실험 시 4 회의 Blind navigation task 에 대하여 각각 길 찾기의 소요시간과 미로 내 장애물과의 충돌 횟수를 측정하였다. 또한, 4 회의 Task 를 모두 마친 후 설문을 통하여 FeetNavi 시스템의 유용성 (Usefulness), 직관성(Intuitiveness), 사용 난이도 (Difficulty to use) 및 햅틱 자극의 불편함 (Discomfort of feedback)을 5 점 척도로 조사하였다.

## 4. 결과 및 고찰

### 4.1 길 찾기 Task 에서의 소요시간 및 충돌 횟수

아래 표 2 에 4 회의 Blind navigation task 의 총 소요시간 및 충돌 횟수를 나타내었다. FeetNavi 는 흰 지팡이에 비해 충돌 횟수는 큰 차이를 보이지 않았으나, 소요시간 면에서 유의미하게 짧은 것을 확인할 수 있었다. (Pairwise t-test,  $t(16) = 4.34$ ,  $p = .0005$ , Cohen's  $d=0.71$ ). 즉, FeetNavi 시스템이

Blind navigation task 에서 흰 지팡이보다 더 빠르게 길 찾기를 수행할 수 있음을 확인할 수 있었다.

표 2. 총 소요 시간 및 충돌 횟수(평균±표준편차)

	소요시간(s)	충돌 횟수(회)
흰 지팡이	904.0±420.4	30.0±19.2
FeetNavi	442.8±124.8	29.6±12.4

#### 4.2 실험 후 설문 응답 결과

실험 후 설문에 대한 응답 결과는 아래 표 3 에 정리하였다. FeetNavi 시스템은 대체로 유용하고, 직관적이며 사용하기 쉽다는 반응을 확인할 수 있었다. 또한, 실험이 비교적 짧은 시간 동안 이루어진 것을 감안할 필요는 있으나, 햅틱 자극 또한 불편하지 않다는 반응을 보였다.

표 3. 실험 후 설문 응답 결과 (5 점 만점, 평균±표준편차).

유용성	직관성	난이도	자극의 불편함
3.9±0.9	4.2±1.0	4.1±0.9	3.8±0.8

\*난이도: 5 점(매우 쉬움) - 1 점(매우 어려움),

\*자극의 불편함: 5 점(매우 편안함) - 1 점(매우 불편함)

#### 4.3 고찰

흰 지팡이와 FeetNavi 의 소요시간 차이(4.1 절 표 2) 는 자극으로부터 정보를 습득, 인지하는 데 걸리는 시간 차이에 기인한 것으로 보인다. FeetNavi 시스템은 진동을 통하여 진행 방향과 장애물 유무 등 필요한 정보를 빠르게, 직관적으로 제공하는 반면에, 흰 지팡이는 이러한 정보를 모두 Scanning 을 통하여 알아내야 하므로 초심자의 경우 오랜 시간이 걸리며, 잘못 인지하는 상황 또한 발생할 가능성이 높다. 또한, 시각 장애인들이 흰 지팡이 사용에 익숙함을 감안, FeetNavi 와 흰 지팡이를 조합함으로써 짧은 시간에 적은 충돌횟수만으로 Navigation 을 수행할 수 있을 것으로 예상된다.

### 5. 결론 및 향후 연구

본 연구에서는 시각 장애인의 길 찾기를 위한 촉부 햅틱 시스템 FeetNavi 를 구현하고, 실제 실내 길찾기(Indoor navigation) 시나리오에 대해 사용성 평가 실험을 수행하였다. 그 결과, 4 종류의 미로 탐색에 대하여 유의미하게 적은 소요시간을 보임으로써 그 효용성을 확인할 수 있었다. 후속 연구로 촉부 햅틱 자극의 다양화와, 시각 장애인을 대상으로 한 사용성 평가를 하고자 한다.

### 사사의 글

본 연구는 미래창조과학부 재원으로, 한국연구재단의 과학기술-인문 융합연구(2016M3C1B6929724), X-Project(2016R1E1A2914792) 사업의 지원으로 수행되었음.

### 참고 문헌

- Loomis, J. M., Golledge, R. G., and Klatzky, R. L., Navigation System for the Blind: Auditory Display Modes and Guidance, Presence, Vol. 7, No. 2, MIT Press, (1998)
- Wilson, J., Walker, B. N., Lindsay, J., Cambias, C., and Dellaert, F., SWAN: System for Wearable Audio Navigation, In Proceedings of the 11<sup>th</sup> IEEE International Symposium on Wearable Computers (ISWC 2007), pp. 91-98, IEEE.  
doi: 10.1109/ISWC.2007.4373786
- Hub, A., Diepstraten, J., and Ertl, T., "Design and Development of an Indoor Navigation and Object Identification System for the Blind", Proceedings of 6<sup>th</sup> International ACM SIGACCESS conference (ASSETS'04), pp. 147-152.
- van Erp, J. B. F., Tactile Navigation Display. In Brewster, S & Murray-Smith, R. (Eds.), Haptic Human-Computer Interaction, pp. 165 - 173. Berlin :Springer (2001).  
doi:10.1007/3-540-44589-7\_18
- STEP-HERE Navigation System for the Blind, [www.step-hear.com/](http://www.step-hear.com/)
- Wessels, R., Dijcks, B., Soede, M., Gelderblom, G.J., and De Witte, L., Non-use of Provided Assistive Technology Devices, A Literature Overview, Technology and Disability Vol. 15, pp. 231-238, (2003).
- Goldstein, E.B., Ch. 14. The Cutaneous Senses, Sensation and Perception, 8<sup>th</sup> Ed. Wardworth Cengage, Canada, pp 329-354.
- Hoggan, E., Raisamo, R., & Brewster, S. A. (2009, November). Mapping information to audio and tactile icons. In Proceedings of the 2009 international conference on Multimodal interfaces (pp. 327-334). ACM.