

# 손바닥에서의 방향 정보 식별 능력 탐구

## Exploring the Ability to Identify Directional Information in the Plam

202211167 장지원

### 1. 탐구 목적

현재 시각 장애인을 위한 보조 기구들이 많이 발명되고 있지만 아직 많은 한계점들을 가지고 있다. 주로 청각을 활용한 보조 기구들이 많은데, 이는 기구 의존적인 성격을 가진다. 즉 사용자는 본인이 원하는 방향이 아닌 보조 기구가 이끄는 방향으로 탐색을 진행해야 한다. Sunhee Kim의 논문에 따르면 촉각 피드백을 사용하는 보조 기구에 비해 청각 피드백을 사용하는 보조 기구가 사용자 스스로 탐색하는데 더 적합하다(Kim S et al, 2023). 그러나 스스로 탐색 가능한 기능을 제공하는 촉각 피드백을 사용하는 보조 기구는 현재 표현할 수 있는 것들이 매우 한정적이거나 접근이 어렵다. 현재 사용 가능한 ‘점자정보단말기’나 ‘점자디스플레이’는 그림이나 수학의 그래프 같은 그래픽 요소를 표현하지 못한다. 또한 그래픽 요소가 표현 가능한 점자 단말기는 가격이 매우 비싸고, 구매가 어렵다. 따라서 이번 탐구에서는 이를 해결하기 위한 새로운 적정 기술을 제안해보려고 한다.

손바닥은 인간의 신체에서 가장 민감한 부위 중 하나이다(Shin H et al, 2011). 따라서 우리는 손바닥을 매개체로한 9 점 햅틱 디바이스를 새로운 기술로써 제안하고자 한다. 햅틱을 위한 진동 모터는 매우 저렴하다. 때문에 이 디바이스는 시각장애인들에게 크게 부담이 되지 않을 것이다. 또한 우리는 새롭게 제안한 방법이 얼마나 효과적인지 알아보기 위해서 360도 방향에 대해서 사용자가 해당 디바이스를 이용해 얼마나 각 방향을 정확히 인식할 수 있는지에 대한 실험을 진행해볼 것이다. 이를 통해 디바이스의 그래픽 요소 표현 능력 또한 알아볼 수 있다.

### 2. 선행 연구

#### 가. Tactile Brush

Tactile Brush 알고리즘을 통해서 다양한 움직임(moving stroke)을 표현할 수 있다(Israr, A et al., 2011). 저자는 Tactile Brush 알고리즘을 위해 Apparent tactile motion과 Phantom tactile sensation을 활용한다. 먼저 Apparent tactile motion는 두 개의 인접한 진동기가 생성하는 하나의 부드러운 움직임이다(Figure 1.a). 이러한 움직임은 각 진동기의 진동 시간과 SOA<sup>1</sup>값에 영향을 받는다. 진동 시간과 SOA 값의 관계는 심리물리학 실험을 통해 Equation 1과 같이 정의된다.

$$SOA = 0.32 \times duration + 0.47 \text{ (msec)}$$

#### Equation 1: Apparent tactile motion

Pantom tactile sensation은 두 개의 인접한 진동기가 생성하는 가상의 자극이다(Figure 1.b). 두 개의 진동기 사이의 거리와 각 진동기의 세기로 가상의 느낌을 통제할 수 있다. 이는 energy model을 활용한 식(Equation 2)을 통해서 정량화할 수 있다.

$$A1 = (1-\beta) \cdot Av, A2 = \beta \cdot Av$$

---

<sup>1</sup> SOA: Inter-Stimulus Onset Asynchrony, 한 자극의 시작 시간과 다른 자극의 시작 시간 사이의 간격을 의미한다.

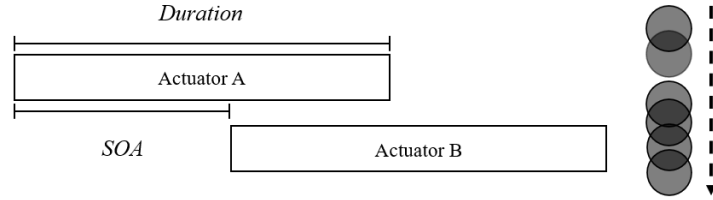
$A1 = \text{Intensity of } A1$

$A2 = \text{Intensity of } A2$

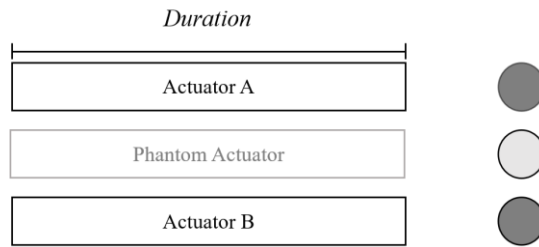
$A_v = \text{Intensity of phantom tactile}$

$\beta = \text{Distance between } A1 \text{ and } A2$

### Equation 2: Pantom tactile sensation



#### a. Apparent tactile motion



#### b. Phantom tactile sensation

**Figure 1: Vibrotactile illusions**

이를 활용하면 몇 개의 진동기만으로도 다양한 모션을 표현할 수 있다.

#### 나. Directional Guidance

기존에도 햅틱을 이용한 방향 인지 능력 실험이 진행되어왔다. Jonggi Hong의 논문은 손목을 통한 이차원 방향 정보 해석 능력을 알아보기 위한 실험을 진행하였다(Hong *et al.*, 2016). 4개, 또는 8개의 진동기를 손목 주위에 배치시키고, Phantom tactile을 생성하여 32개의 방향에 대한 정보를 모두 전달할 수 있게 하드웨어를 구성하였다. 이후 ‘Exact’(11.25도 이내의 오차)와 ‘Approximate’(45도 이내의 오차) 두 가지 척도를 활용해서 결과를 분석했다. 4개의 진동기를 활용했을 때는 Exact, Approximate 각각 15.9%, 54.3%의 결과가 나왔고, 8개의 진동기를 활용했을 때는 Exact, Approximate 각각 16.3%, 56.4%의 결과가 나왔다. 이번 탐구에서도 위 두 가지 척도를 이용해서 정확도를 확인해볼 것이다.

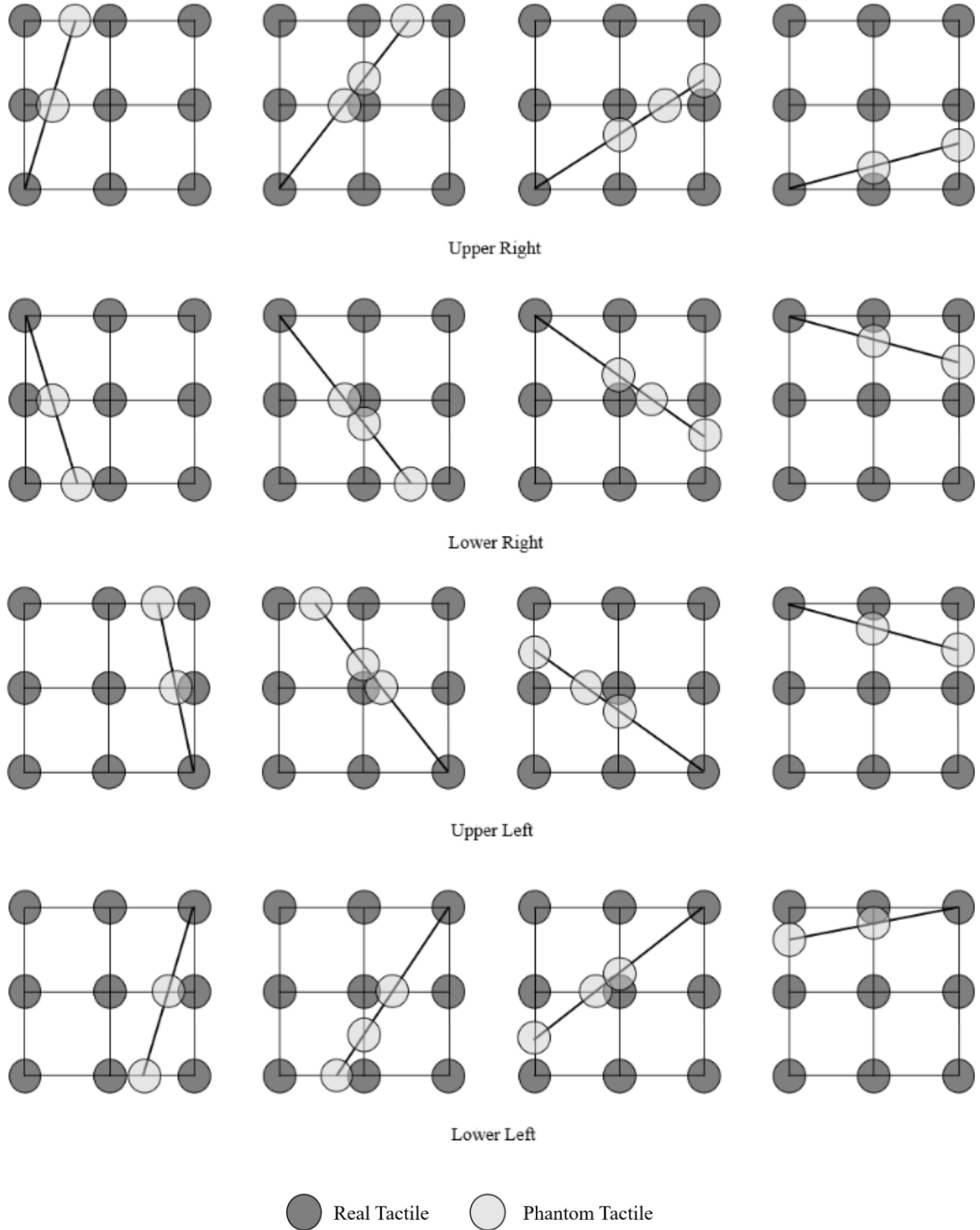
### 3. 탐구

이번 탐구에서는 실험을 통해 손바닥이 유의미한 정도의 방향 식별 능력을 가지고 있는지 알아볼 것이다. 탐구는 1) 알고리즘 설계, 2) 프로토타입 제작, 3) 실험, 4) 결과 분석, 총 네 단계로 총 이루어진다.

#### 1) 알고리즘 설계

Figure 3과 같은 방식으로 360도 방향에 대한 움직임을 전달할 수 있게끔 설계하였다. 진한 회색은 실제 진동기이고, 옅은 회색은 Phantom tactile sensation을 통해 생성된 가상의 진동기이다(Israr, *A et al.*, 2011). 가상의 진동기를 위한 수식은 Equation 2를 참고하였다. 예시로 Upper 방향의 30도~45도를 표현해보자.

이 때는 한 개의 실제 진동기와 총 네 개의 실제 진동기가 생성하는 세 개의 가상 진동기가 필요할 것이다. Figure 4를 참고하자. 생성하려는 가상 진동기의 위치가 실제 진동기의 세기를 결정한다. 따라서 Figure 4에서의  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ 를 구하면 Equation 2를 바탕으로 실제 진동기의 세기를 쉽게 결정할 수 있을 것이다. 이 예시에서는  $\alpha = 2 \times slope - 1$ ,  $\beta = 1/slope - 1$ ,  $\gamma = slope$ 와 같이 표현할 수 있을 것이다. 이 때 slope는  $\tan\theta$ 를 통해서 구할 수 있다. 나머지 방향에 대해서도 위와 같이 수식을 세우면 된다.



**Figure 3: Motion**

우리는 한 가지 문제를 더 고려해야 한다. Apparent tactile motion을 생성하기 위해서는 Equation 1을 바탕으로 하여 SOA 값과 duration을 설정해야 할 것이다. 두 개의 연속된 가상 진동기를 생성해보자. 이 때 각각의 가상 진동기를 생성하기 위한 실제 진동기가 겹친다면 actuator overlapping 문제가 발생한다. 예시로 Figure 4에서의 가상 진동기인 a, b를 생성하려면 각각 4, 5번 진동기와 5, 8번 진동기를 사용해야 한다. 이 때는 5번 진동기가 overlapping 되게 된다. Jaeyoung Park의 논문에 따르면 SOA값을 duration보다 크게 설정함으로써 overlapping 문제를 해결할 수 있다(Park J et al, 2016). Figure 5를 통해 이를 확인할 수 있다.

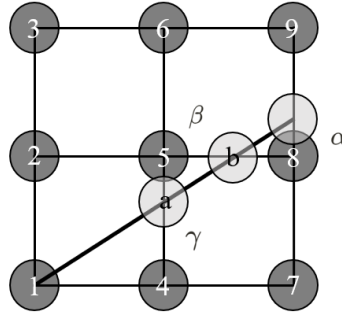
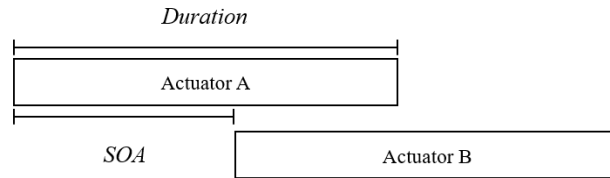
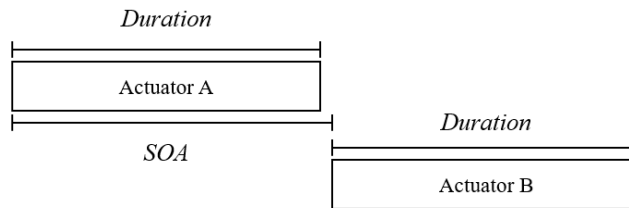


Figure 4: Example case



a.  $SOA = 0.32 \times \text{duration} + 0.47 < \text{duration}$

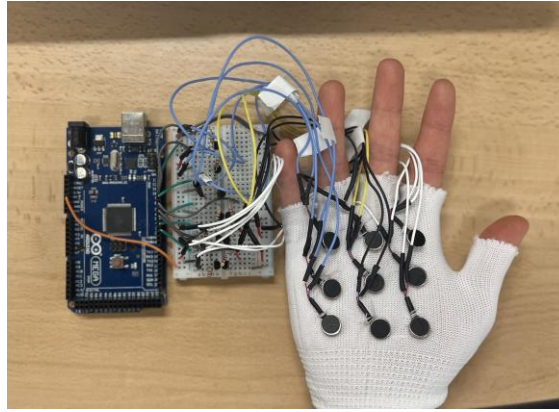


b.  $SOA = 0.32 \times \text{duration} + 0.47 \geq \text{duration}$

Figure 5: New algorithm that avoids overlapping consecutive factors

## 2) 프로토타입 제작

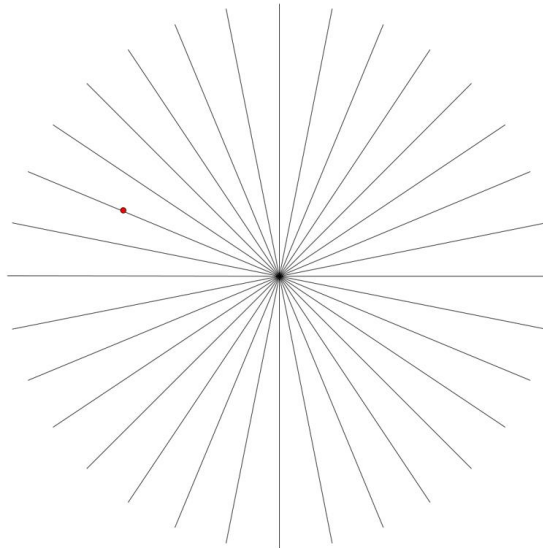
프로토타입은 Figure 6과 같이 제작했다. 보드는 Arduino Mega를 사용하였고, Arduino Mega의 PWM 핀을 활용해서 진동 세기를 조절하였다. 진동기는 10mm의 지름을 가진 진동 모터를 활용하였다. 모터는 20mm 간격으로 배치하였고, 이 수치는 HongJae Shin의 논문을 참고하였다(Shin H et al, 2011). 또한 시각장애인이 가장 많이 사용하는 손가락 끝 부분을 노출시킴으로써 사용자가 더 자유로울 수 있게 하였다.



**Figure 6: Hardware**

### 3) 실험

실험은 총 세 단계로 진행하였다. 첫 번째 단계는 디바이스에 적응하는 단계이다. 이 때는 기본 방향(동, 서, 남, 북)에 대해 사용자가 익숙해질 때까지 자극을 준다. 두 번째 단계부터는 최종 통계에 반영한다. 두 번째 단계에서는 규칙적인 방향과 규칙적인 간격(시계 방향, 45도 간격)으로 8번의 자극을 준다. 세 번째 단계에서는 랜덤으로 8번의 자극을 준다. 이 때는 사용자가 인지하고, 사용자가 생각하는 방향에 대한 정답을 그림(Figure 5)에 표시할 때까지 해당 자극을 지속한다. 이후 실험을 종료한다.



**Figure 7: Testing Sheet**

### 4) 결과 분석

실험은 한 명을 대상으로 진행하였고, 결과는 Figure 9와 같았다.

	Exact	Approximate
Result	62.5%	75%

**Figure 9: Result**

#### 4. 토론

결과는 대략적인 방향을 인지할 수 있는 정도로 나왔다. 또한 정확한 방향을 62.5%의 확률로 맞추는 것으로 보아 몇 가지 점을 보완하면 충분히 유의미한 적정 기술이 될 것이라는 결론을 얻을 수 있었다. 피실험자가 기구를 사용하며 발견한 문제점이나 불편한 점을 알아보기 위해 실험 이후 피실험자와 간단한 인터뷰를 진행해 보았다.

먼저 피실험자는 기구 사용에 익숙해질 필요가 있다고 언급했다. 이를 해결하기 위해 먼저 ‘3)실험’에서의 첫 번째 단계 수행 시간을 늘려야 할 것이다. 피실험자가 기구에 익숙해진 후에 본 실험을 진행한다면 더 좋은 결과를 얻을 수 있을 것이다. 또한 인터뷰 과정에서 피실험자는 Upper Right, Lower Right, Upper Left, Lower Left 마다 출발 지점이 달라서 어색함을 겪었다고 말했다. 이는 Figure 9와 같은 움직임을 통해서 해결할 수 있을 것이다. 실험 과정 또한 수정될 필요가 있다. ‘3)실험’에서의 두 번째 단계를 보면 규칙적인 방향과 간격으로 8번의 자극을 준다고 되어있다. 자극이 규칙적이었기 때문에 피실험자가 예측하고 정답을 표시했을 수도 있다. 실제로 ‘3)실험’ 두 번째 단계에서의 Exact와 Approximate는 각각 75%, 75%, 세 번째 단계에서의 Exact와 Approximate는 각각 50%, 75%로 두 번째 단계에서의 결과가 더 좋았다. 이러한 오류를 방지하기 위해서는 두 번째 단계를 삭제할 필요가 있을 것이다.

물론 실험 과정에서의 오류를 포함하더라도 결과는 충분히 좋았다. 위의 몇 가지 문제만을 해결하면 손바닥을 매개로한 9 점 햅틱 디바이스는 새로운 적정기술로써의 역할을 충분히 해낼 수 있을 것이다. 향후에는 위 문제를 어떻게 해결할지와 손바닥을 매개로한 9 점 햅틱 디바이스를 통해 어떻게 그래픽 요소를 전달할 지에 대해 탐구해 보려고 한다.

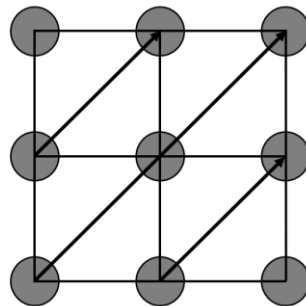


Figure 9: Sweeping Motion

#### 5. 참고 문헌

- Sunhee Kim, Josh Cherian, Samantha Ray, Amanda Lacy, Paul Taele, Jung In Koh, and Tracy Hammond. 2023. A Wearable Haptic Interface for Assisting Blind and Visually Impaired Students in Learning Algebraic Equations. In *Extended Abstracts of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI EA '23)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, Article 17, 1–7. <https://doi.org/10.1145/3544549.3585815>
- Ali Israr and Ivan Poupyrev. 2011. Tactile brush: drawing on skin with a tactile grid display. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '11)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 2019–2028. <https://doi.org/10.1145/1978942.1979235>
- Jonggi Hong, Lee Stearns, Jon Froehlich, David Ross, and Leah Findlater. 2016. Evaluating Angular Accuracy of Wrist-based Haptic Directional Guidance for Hand Movement. In *Proceedings of the 42nd Graphics Interface Conference (GI '16)*. Canadian Human-Computer Communications Society, Waterloo, CAN, 195–200. <https://dl.acm.org/doi/abs/10.5555/3076132.3076170>

Park, J., Kim, J., Oh, Y., Tan, H.Z. 2016. Rendering Moving Tactile Stroke on the Palm Using a Sparse 2D Array. In: Bello, F., Kajimoto, H., Visell, Y. (eds) Haptics: Perception, Devices, Control, and Applications. EuroHaptics 2016. Lecture Notes in Computer Science(), vol 9774. Springer, Cham.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-319-42321-0\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-319-42321-0_5)

신홍재, 고영준. 공간 방향성을 위한 촉지각 연구. 디자인학연구 Journal of Korean Society of Design Science 통권 제100호 Vol.25 No.1. 93-104. <http://aodr.org/xml/00314/00314.pdf>