

볼 기반의 모바일 햅틱 인터페이스 디자인

Design of Ball-based Mobile Haptic Interface

최민우, Minwoo Choi*, 김정현, G. Jounghyun Kim**

고려대학교 컴퓨터·전파통신공학과 디지털체험 연구실

요약 이 논문에서는 모바일 환경에서 촉각적 사용자 체험 (User Experience)을 향상 시킬 수 있도록 디자인된 새로운 방식의 핸드헬드 볼 기반의 햅틱 인터페이스 “TouchBall”을 소개하고 그 성능을 평가한다. 작은 모바일 디바이스(모바일 폰, PDA, PMP 등)에 적당하도록 볼 기반의 기계적 메커니즘을 사용하여 작은 회전력으로도 높은 감도의 다양한 촉감을 손에 전달할 수 있도록 구성되어 있다. 제안하는 인터페이스를 적용한 프로토타입 버전을 구현하였고, 정신허리학적 실험을 통해 사람의 감각 인식의 가장 기본적인 척도가 되는 감지 역치를 측정하였다. 그리고 구현 가능한 다양한 촉각 패턴들의 인식강도를 절대적 강도추정 방법으로 측정하여 정확도와 인식강도를 알아보고 그 응용 가능성을 찾아보았다.

Abstract In this paper, we present a design and an evaluation of a hand-held ball based haptic interface, named “TouchBall.” Using a trackball mechanism, the device provides flexibility in terms of directional degrees of freedom. It also has an advantage of a direct transfer of force feedback through frictional touch (with high sensitivity), thus requiring only relatively small amount of inertia. This leads to a compact hand-held design appropriate for mobile and 3D interactive applications. The device is evaluated for the detection thresholds for directions of the force feedback and the perceived amount of directional force. The refined directionality information should combine with other modalities with less sensory conflict, enriching the user experience for a given application.

핵심어: *Haptic, Touch, Mobile, Hand-held, Ball-based, Interface, Directional navigation*

1. 서론

유비쿼터스 컴퓨팅 시대가 도래함에 따라 모바일 디바이스 (모바일 폰, PDA, PMP 등)의 수요가 폭발적으로 증가하고 있다. 하지만 디바이스의 크기와 작은 디스플레이 등으로 인해 실제 모바일 환경에서 사용하기에 많은 제약이 따르는 실정이다. 이런 불편한 사항을 극복하기 위해서 인간-컴퓨터 상호작용 분야에서는 모바일 환경에서 사람의 오감을 다중으로 활용하려는 연구가 있어왔다. 특히 촉각을 활용하려는 연구가 많아지고 있는데, 복잡한 환경 속에서 시각, 청각

정보와 함께 적절한 촉각 정보가 더해지면 사람의 인지능력을 향상 시킬 수 있다고 한다 [1].

사람은 온 몸을 통해 촉각을 감지하며, 이러한 사람의 피부를 정보 전달의 매개체로 사용하려는 노력은 1960 년부터 시작되었다 [2]. 처음에는 시청각 장애자를 위한 정보전달 장치의 연구로 시작하였고 [3], 이후로 다양한 분야에서 촉각을 응용하기 위한 연구가 있어왔다. HCI 분야에서는 진동에 어떤 의미를 가지는 메시지를 담아 통신 매개체로 사용하는 것에 대한 연구가 주를 이루어 왔다. 또한, 최근에는 모바일 환경에서 정보 전달의 효율을 높이기 위해서 촉각 피드백을

본 연구는 정보통신연구진흥원의 IT 신성장 동력 핵심기술개발사업 [2006-S033-01, 재난 구조용 웨어러블 인터페이스 기술개발]의 일환으로 수행하였고, 또한 지식경제부와 한국산업기술재단의 전략기술인력양성사업으로 수행된 연구결과임.

* 주저자 : 고려대학교 컴퓨터·전파통신공학과 석사과정 최민우 e-mail: projer@korea.ac.kr

**교신저자 : 고려대학교 컴퓨터·전파통신공학과 교수 김정현 e-mail: gjkim@korea.ac.kr

사용하려는 연구들이 활발히 진행되고 있다 [5]. 대부분의 핸드헬드 모바일 디바이스들에 사용되는 촉각 장치로는 Tactile 모터가 가장 많이 사용되고 있고, 최근에는 Voice coil 진동 액추에이터를 사용하여 여러 패턴의 진동을 촉각 정보로 활용하고 있다. 하지만 두 경우 모두 떨림에 의한 진동 이상의 촉감을 제공하기 힘들어 좀 더 다양한 촉감이나 방향성 있는 촉각 정보 등을 제공하기에는 한계가 있었다.

본 논문에서는 다양한 촉감을 제공하기 위해 회전하는 볼에 직접 촉감을 인식하는 새로운 방식의 터치-햅틱 인터페이스를 제안하고 프로토타입 버전을 구현하였다. 또한, 정신 물리학적 실험을 통한 체계적인 분석과 함께 Tactile 인터페이스와의 사용성 비교 평가를 통해 기존의 촉각장치가 제공하기 힘들었던 새로운 촉감을 제공 할 수 있다는 사실을 확인하고, 촉감 및 역감을 필요로 하는 다른 어플리케이션(모바일 네비게이션, 가상현실, 게임 등) 개발을 위한 응용 가능성을 찾아본다.

2. 인터페이스 디자인

2.1 Concept

실제 모바일 환경에서 쓸 수 있는 형태의 새로운 햅틱 인터페이스를 디자인하기 위해서, 모든 방향으로 회전 할 수 있는 트랙볼 형태의 작은 볼을 사용하였다. 기본적인 동작 원리는 볼의 회전력을 손가락에 전해 줄 때 사람이 느끼는 촉감을 이용하는 것이다. 볼을 회전시키기 위한 축의 배치는 아래 그림과 같다. 볼에 닿아있는 두 개의 축의 회전력으로 볼을 회전시킨다. 두 개의 축은 양방향 회전이 가능한 모터와 연결하여 제어 하도록 한다. [그림 1].

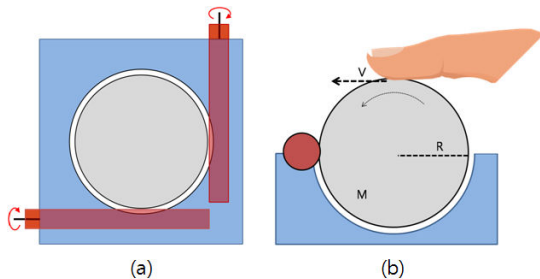


그림 1. 볼에 닿아있는 축을 통해 속이 짝 찬 구를 회전 시키고, 회전하는 볼이 들지 않을 정도로 가볍게 쥐었을 때 사람이 인식할 수 있는 촉감을 이용하는 TouchBall 인터페이스

2.2 구현

앞의 디자인 고려사항을 만족하는 프로토타입 버전을 구현하기 위해서 먼저 기존의 트랙볼 프레임에 이용하여 하드웨어 플랫폼을 제작하였다. 100g의 질량을 가지는 볼을 회전시킬 수 있도록 두 개의 축과 소형 모터를 프레임에 장착하고 선반 밀링 가공을 통해 일렬이 되도록 정렬 (Align) 시

켰다. 모터는 최대 65mN.m 까지 가능한 소형 DC 모터를 사용하였다 [그림 2].



그림 2. TouchBall 프로토타입 하드웨어 플랫폼

또한, 축을 제어할 수 있는 모터 컨트롤러를 구성하고 구현하였다 [그림 3]. MCU는 20MHz로 동작하며 20MIPS의 처리 속도를 갖는 ATmega48을 이용하였다. MCU는 USART를 통해 블루투스 모듈과 통신하며, 블루투스 모듈을 이용하여 컴퓨터에서 모터제어 명령을 무선으로 송수신 할 수 있다. L298N 모터 드라이버를 통해 2개의 모터의 회전방향과 회전 속도를 제어 할 수 있으며, 이때 회전 속도는 PWM 신호를 이용하여 제어하게 된다. MCU 및 Bluetooth Module은 5V로 동작하며, Motor는 7V의 전압이 주어진다. 완성된 컨트롤러로 두 개의 모터에 연결된 회전축의 조합을 이용하여 볼을 회전 시켜 동작을 구현 시켰다.

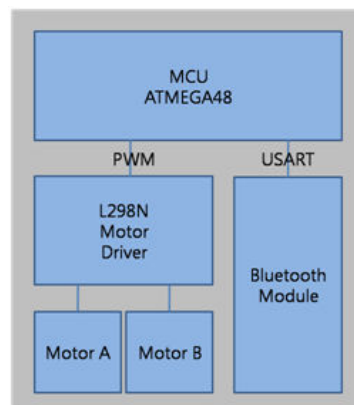


그림 3. 축을 제어하는 모터 컨트롤러 시스템 구성도

다양한 프로그램에서 TouchBall 인터페이스를 효과적으로 사용하기 위해서 기본적인 API를 제작하였다. 하드웨어 파트와의 시리얼 통신을 쉽게 연결하고 데이터를 주고 받을 수 있게 구성되어있다. 두 개의 모터를 각각 속도와 회전 방향에 대해서 직접 변경도 가능하고, 미리 정해져 있는 방향

과 패턴으로도 쉽게 조절이 가능 하도록 하였다.

[그림 4]가 완성된 프로토타입의 모습이다. 일반 모바일 디바이스를 사용 할 때처럼 자연스럽게 손바닥으로 잡고 손가락을 볼 위에 둔다. 볼이 돌아갈 때 움직이지 않을 정도로 가볍게 힘을 주고 이때 손가락으로 다양한 방향으로의 촉감을 느낄 수 있게 된다.



그림 4. 실제 구현된 TouchBall 프로토타입 모습

3. 실험

3.1 감지 역치 (Detection Threshold)

먼저 구현된 터치-햅틱 인터페이스로 사람이 인식할 수 있는 가장 작은 크기인 Detection Threshold를 측정한다. 이것은 JND (Just Noticeable Difference)라고도 하고, Human Perception에서 가장 기본적인 척도가 될 뿐만 아니라 디자인된 촉각 인터페이스를 얼마나 작고 가볍게 만들 수 있을지를 가늠할 수 있는 좋은 기준이 된다. 여기서는 손 안에서의 8개의 방향 (North, South, East, West, NorthEast, SouthEast, SouthWest, and NorthWest)에서 Detection Threshold를 모터의 Torque 관점에서 측정하였다.

3.1.1 실험 절차

실험에는 10명의 자원 참가자 (여자 2명, 남자 8명)가 참가하였고 평균 나이는 25.5세이다. 피험자를 컴퓨터 모니터 앞에 편하게 앉게 한 후 모바일 디바이스를 왼손으로 편하게 쥐게 하였다. 그리고 엄지손가락을 볼 위에 놓고 볼이 돌 때 움직이지 않을 정도로 가볍게 힘을 줄 것을 사전에 요청하였다. 또한 오른손으로는 마우스를 잡도록 하고 실험에 필요한 데이터를 선택하도록 하였다 [그림 5]. 실제 정신 물리학 실험에서는 주 사용손 (오른손 또는 왼손잡이)과 그렇지 않은 손의 구분이 필요하지만, 여기서는 오른손, 왼손의 촉각 인식의 정도가 통계학적으로 유의미한 차이를 가지지 않는다는 [6] 사실과 이 실험의 목적이 양손의 촉각 인식 차이

를 보려는 것이 아니기 때문에 고려하지 않았다.



그림 5. Detection Threshold 실험

실험은 각 피험자 마다 무작위 순서로 8가지 방향을 모두 수행하였다. Detection Threshold는 3 Interval, Forced-choice, one-up three-down adaptive method[13]를 통해 구해졌다. 이것은 3개의 연속적인 정확한 응답은 현재 자극의 크기를 감소시키고, 1개의 틀린 응답은 자극을 증가시키면서 진행되는 방법이다. 증가 또는 감소 되는 사이즈는 미리 정해져 있고, 처음 주어지는 자극은 Detection threshold에 비해 충분히 큰 자극을 선택하였다 [7].

각 Trial에서 피험자에게 250ms의 인터벌을 두고 1000ms간 총 3번의 자극 구간이 주어진다. 실제로 자극이 있는 구간은 세 곳 중 단 한 곳이며, 매 Trial 마다 무작위하게 변한다. 나머지 구간에는 아무 자극도 있지 않다. 즉, 실제로 자극이 주어지는 단 한곳을 찾으려 하는 것이다. 한 Trial을 진행 할 때 마다 모니터를 통해 자극이 올 수 있는 시간을 표시해 주어 몇 번째 구간에서 자극을 받았는지 알 수 있도록 했다. 또한, 피험자가 장치의 소리를 통해 답을 맞출 수 없도록 헤드폰으로 화이트 노이즈를 듣도록 하였다 [8].

모든 피험자들로부터 8개의 방향에 대해 Detection threshold를 측정 하였다. 한 방향의 Detection threshold를 실험을 하는데 약 5~7분의 시간이 걸렸고, 한 방향의 모든 trial이 끝나면 5분간의 휴식시간을 가지고 다음 방향의 실험을 진행 하였다. 전체 실험은 한 사람당 약 2시간 정도의 시간이 걸렸다.

3.1.1 결과 분석

피험자들로부터 측정된 데이터들의 산술평균으로 그래프를 작성하였고 Error Bar로 표준오차를 표시하였다 [그림 6]. 손의 같은 지점에서의 자극임에도 불구하고 각 방향에 따라 Detection Threshold 가 다르다는 사실을 간단히 확인할 수 있다.

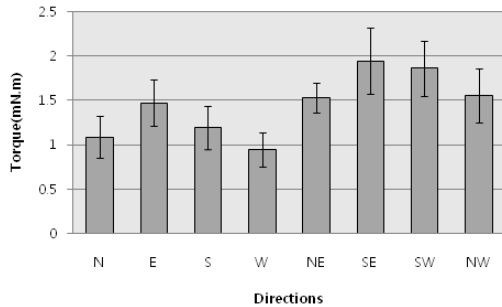


그림 6. Torque 관점에서 측정된 Detection thresholds

자세한 통계적 분석을 위해서 측정값을 Analysis of variance (ANOVA)를 사용하여 분석을 하였다. 평균적으로 차이를 보이는 수직 방향 (N, E, S, W)와 대각 방향 (NE, SE, SW, NW)이 통계적으로도 유의한 차이를 보인다는 사실을 알 수 있었다 ($F=7.58$, $P=0.008$). 특히 West 방향으로 Detection threshold값이 가장 낮았는데, 다른 방향들과 유의한 차이를 보였다 ($F=4.44$, $P=0.039$). 개별적인 다른 방향들은 통계적으로는 유의한 차이를 보이지 않았다. 이것은 손에서 엄지손가락을 포함하는 부위인 Thenar Eminence 쪽으로의 민감도가 가장 높고 반대쪽은 낮기 때문인 것으로 판단 된다.

또한, 모터의 Torque 관점에서 측정된 Detection Threshold가 모든 방향에서 2.5mN.m 보다 작았다. 마이크로 모터 급의 아주 작은 모터가 최대 4mN.m 정도 Torque가 가능하다는 점을 고려한다면 우리가 제안하는 TouchBall 디바이스의 크기를 훨씬 더 작게 만들 수 있을 가능성을 확인 할 수 있었다.

3.2 인식 강도와 정확도 측정

촉각 인터페이스에서 실제로 자극이 어느 정도의 느낌을 줄 수 있는지 또는 여러 가지 자극의 변화를 얼마나 인식할 수 있는지는 아주 중요한 문제이다. 하지만 감각의 크기를 직접적으로 측정할 수 있는 방법은 없다. 다만 인식되는 강도를 간접적으로 측정할 수는 있다. 그래서 이 실험에서는 Absolute Magnitude Estimation[4] 방법을 사용하여 다양한 패턴이 각각 어느 정도의 차이로 인식되는 지를 인식 강도와 인식 정확도로 측정하였다.

3.2.1 실험 절차

실험에는 12명의 자원 참가자(여자 3명, 남자 9명)가 참가하였다. 평균 나이는 26세, 22-29세의 분포를 가지고 있다. 실험은 3가지의 Wave Pattern과 2가지 Maximum velocity, 8가지 Direction의 조합으로 총 48가지 자극으로 진행하였다 [표 1]. 피험자에게 한 세션당 48가지 자극들을 무작위 순서로 한번에 1000ms 동안 주고, 느끼는 방향과 강도를 숫자로 표현하도록 하였다. 어떤 기준도 제시하지 않았으며 피험자가 느끼는 그대로를 자유롭게 점수로 매기도록 하였다. 총 3세션이 진행되었으며, 한 세션이 끝나면 5분간 쉬도록 하였다 [7].

표 1. 48 가지 자극 패턴

Factor	Types / Levels
Stimulation wave pattern	Square, Triangle, Sinusoid (1Hz)
Max. motor velocity reached	High (14.2 cm/s) and Low(7.1cm/s)
Directions	N, E, S, W, NE, SE, SW, NW

테스트 세션은 없는 대신 첫째 세션은 버리고 2번째와 3번째 세션에 대한 응답을 기하평균을 내어 계산한다. 실험이 진행되는 동안에는 진동을 소리로 분간 할 수 없도록 헤드폰을 끼고 화이트 노이즈를 듣도록 하였다 [8].

실험을 통해 얻은 데이터를 표준화(Normalize)하기 위해, 각 피험자의 세션2와 세션3의 결과값의 기하평균을 구한다(Ms). 그리고 전체 실험자의 모든 응답에 대한 기하평균을 구한다(Mg). 표준화 요소, $Mn = Mg / Ms$ 로 표현되며 Mn을 각 피험자의 실험값에 곱하여 표준화 한다 [9].

3.2.2 결과 분석 - 인식 강도

측정값은 Analysis of variance (ANOVA)를 사용하여 통계적 분석을 하였다. 먼저 3가지의 Wave Pattern을 분석하였는데 각각 모두가 유의한 차이를 보여주었다 ($F=14.74$, $P < 0.001$). 조금 더 자세히 분석하기 위해 평균적인 차이로 인식률을 비교했을 때 Square Pattern이 가장 좋은 인식 강도를 보여주었다. 이것은 순간가속도가 가장 크게 나타나기 때문에 손에 전달 받는 촉감이 다른 Wave Pattern에 비해 더 크기 때문일 것이다.

Maximum Velocity 역시 High와 Low에서 유의한 차이를 보였다($F=260$, $P < 0.001$). 예상 했던 것처럼 High일 때 인식 강도가 더 높았다.

Direction에 대해서는 통계적으로 유의한 차이는 없었으나 평균적으로 비교했을 때 SW 방향이 가장 높은 것으로

나타났다. 전체적으로 보면 Square Pattern에 High Velocity가 가장 높은 인식 강도를 가진다는 것을 확인 할 수 있었다 [그림 7].

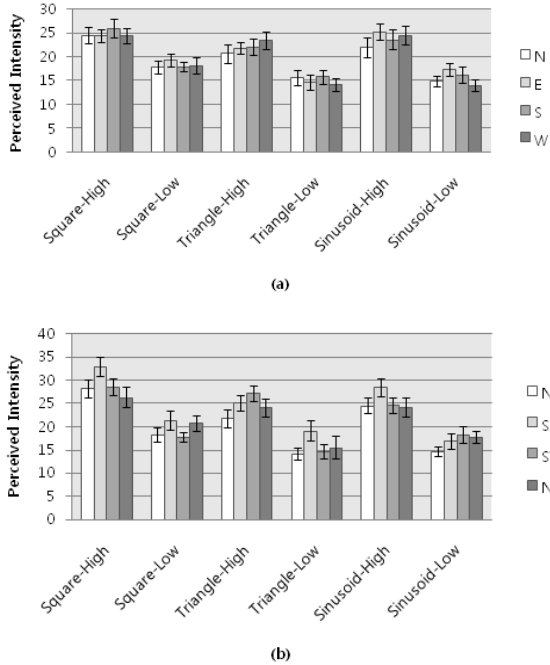


그림 7. 패턴 별 인식 강도 결과

3.2.3 결과 분석 - 인식 정확도

여기서는 자극에 대한 인식의 정확도를 보기 위해 8개의 방향에 대하여 정확히 답한 정도를 확인하였다. 통계적인 분석을 위해 ANOVA로 분석한 결과 Wave Pattern에 따른 정확도 차이는 없는 것으로 나타났다 ($F=0.97, P \leq 0.379$).

Maximum Velocity의 경우에는 High와 Low가 유의한 차이($F=9.45, P \leq 0.002$)를 보였다. High의 경우가 인식 정확도가 높음을 확인할 수 있다.

Direction에서 앞의 Detection Threshold 측정 실험의 결과처럼 수직 방향과 대각 방향에서 유의한 차이($F=14.32, P \leq 0.002$)를 보여주었다. 자세한 분석을 위해 평균적인 차이를 살펴본 결과 수직 방향이 확실히 인식 정확도가 높다는 것을 확인할 수 있었다. 또한, West 방향으로 가장 높은 정확도를 보였는데 이 역시 앞의 Detection Threshold 결과와 일치 하는 부분이다. 특이한 사항은 West 방향은 앞의 분석에서 인식 강도가 특별히 높지 않았음에도 높은 정확도를 보였다는 점인데, 인식의 강도가 큰 것과 정확하게 느껴지는 것 사이에는 약간의 차이가 있음을 알 수 있다.

또한, 실험에서 제안된 다양한 48가지 패턴 중 Square-High의 경우 수직방향으로는 촉각만으로 정확도 평

균 80% 정도의 방향성 있는 촉감을 인지할 수 있다는 사실을 알 수 있었다 [그림 8].

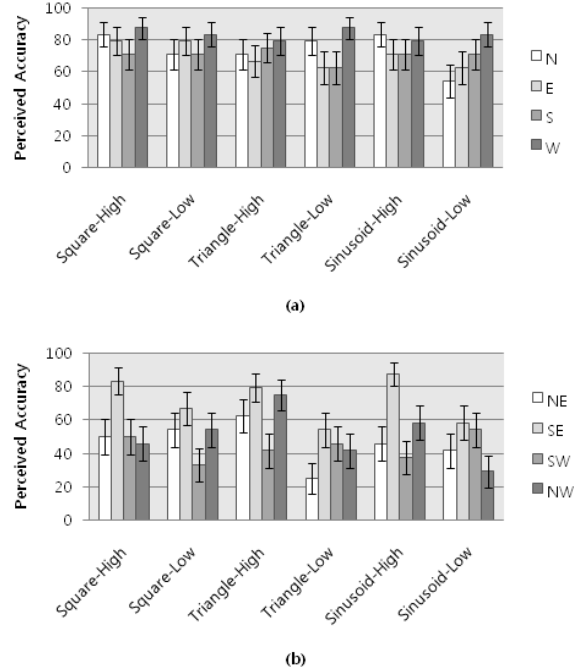


그림 8. 패턴 별 인식 정확도 결과

3.3 사용성 비교 평가

제안된 촉각 인터페이스를 사용하는 두 가지 정신물리학적 실험과 더불어 실제 어플리케이션에서의 응용 가능성을 알아보고, 또한 기존 진동촉각 장치인 Tactile 모터 인터페이스와의 사용성 비교 평가를 비교해 보았다. 실험에는 NASA TLX (NASA Task Load Index) [10]를 설문지로 사용하였는데 원래는 대형 시스템에서의 작업부하 평가를 위해서 개발된 방법으로 정신적, 신체적, 시간적 요구수준과 노력, 수행도, 좌절 수준의 6가지 항목이 있다. 최근에 인터페이스 비교 평가를 위해서 많이 사용되는 주관적 평가기법이다.

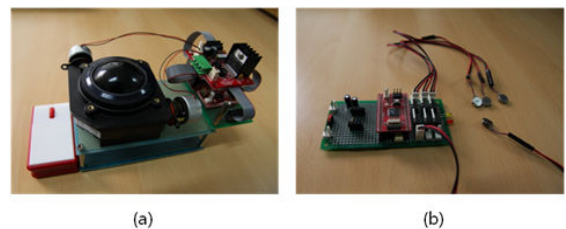


그림 9. (a) TouchBall과 (b) Tactile 인터페이스 컨트롤러

3.3.1 실험 절차

사용성 비교 실험을 위해서 우리가 제안하는 TouchBall 인터페이스와 기존의 Tactile 인터페이스를 사용하는 디바이스를 제작하였다. 응용 어플리케이션과의 인터랙션을 위해서 두 인터페이스를 제어하는 컨트롤러 부분을 PCB 보드를 이용해서 하나로 연결하고 무선 마우스를 부착하여 사용하였다 [그림 9-a]. Tactile 인터페이스의 경우 기존의 단일 Tactile 모터로는 여러 군데 자극을 주거나 방향성 있는 촉감을 제공할 수 없기 때문에 8 개의 Tactile 모터를 TouchBall 디바이스 플랫폼에 장착하여 사용하였다 [그림 9-b]. 실험에 사용하는 응용프로그램으로는 기존의 Puck Game (<http://www.gldomain.com>)에 Puck을 치는 속도, 방향과 스피드에 따라 다른 촉각 자극을 제공하도록 수정하여 사용하였다 [그림 10].

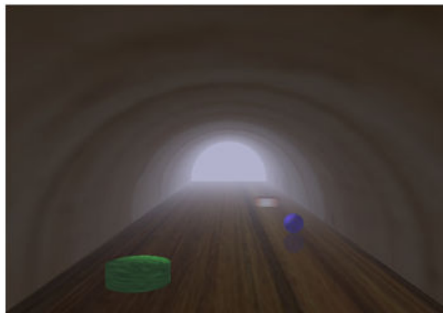


그림 10. 실험에 사용한 Puck Game

실험에는 20명의 자원 참가자들 (여자 5명, 남자 15명)이 참가하였다. 피험자를 컴퓨터 모니터 앞에 편하게 앉게 한 후 실험 디바이스를 주 사용손으로 편하게 쥐게 하였다 [그림 11]. 먼저 아무 촉각 자극이 없이 Puck Game을 5분간 연습하도록 하고 5분 휴식 후 본 실험에 들어가도록 하였다. 무작위한 순서로 두 촉각 인터페이스를 사용하여 각각 10분씩 게임을 진행하였고, 한 인터페이스 실험이 끝나면 바로 NASA TLX 설문조사를 수행하였다.



그림 11. 촉각 인터페이스 사용성 비교 실험

또한, 두 인터페이스 실험이 모두 끝난 뒤에는 어느 쪽에서 더 다양한 촉각 체험을 할 수 있었는지를 조사하였다.

3.3.2 결과 분석

피험자들의 설문지 조사로부터 얻은 데이터들의 산술평균으로 그래프를 작성하였고 Error Bar로 표준오차를 표시하였다 [그림 12].

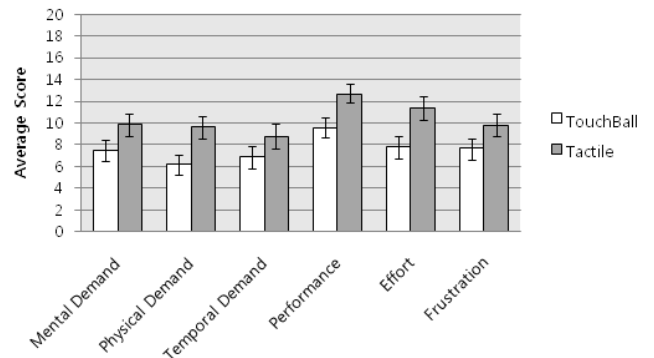


그림 12. NASA TLX 결과

자세한 통계적 분석을 위해서 측정값을 Analysis of variance (ANOVA)를 사용하여 분석을 하였다. 결과 신체적 요구, 수행도, 노력 정도의 항목에서 유의미한 차이 ($p < 0.02$)를 찾을 수 있었고, 정신적 요구, 시간적 요구, 좌절 수준에서는 평균적인 차이는 있었지만 통계적 차이는 없었다.

신체적인 요구에서 TouchBall 인터페이스가 더 좋은 점수 (낮은 점수)를 받은 것은 볼을 이용해 촉감을 손가락에 직접 전달해주는 방법을 사용해서 간접적인 떨림을 전달하는 기존의 Tactile 인터페이스 보다 피부에서 느끼는 감도가 더 높았기 때문일 것이다. 또한, 상황에 따른 더 다양하고 정확한 촉각 정보를 받을 수 있었기 때문에 해당 어플리케이션의 수행도와 노력 정도에도 긍정적인 영향을 끼친 것으로 보인다.

하지만 두 방식의 감도의 차이에도 불구하고 정신적 요구, 시간적 요구, 좌절 수준에서 평균적인 차이는 있었지만 통계적인 차이가 없었다. 이것은 기존의 Tactile 모터의 진동도 피부에서 인식하기에 충분한 단순한 자극을 제공하기 때문에 촉감 자체를 인식하는 데는 정신적, 시간적인 차이가 없었고, 이것으로 인해 좌절 수준에서도 차이가 나지 않은 것으로 추정된다.

마지막으로 실험이 끝난 뒤에 어느 쪽에서 더 다양한 촉각 체험을 할 수 있었는지를 조사한 결과 20명의 실험 참가자 중 18명이 TouchBall에서 Tactile 모터와는 다른 다양한

촉각 체험을 경험했다고 응답해 주어 TouchBall에 대한 선호도가 높으며 사용자 체험이 향상되었음을 확인할 수 있었다.

4. 결론

본 논문에서는 모바일 환경에서 사용자 체험을 향상시킬 수 있도록 디자인된 새로운 방식의 핸드헬드 볼 기반의 터치-햅틱 인터페이스 "TouchBall"을 소개하고 그 효과를 검증하였다. 먼저 모바일 디바이스에서의 제한 사항들을 정리하였고, 이를 만족하는 볼 기반의 기계적 메커니즘을 사용하여 하드웨어 플랫폼과 소프트웨어 API를 개발하여 프로토타입 버전을 구현하였다. 정신헌리학적 실험을 통해 사람의 감각 인식의 가장 기본적인 척도가 되는 감지 역치와 다양한 촉각 패턴들의 인식강도를 절대적 강도추정 방법으로 측정하여 인식의 정도를 알아보고, 응용 어플리케이션을 통해 기존의 Tactile 인터페이스와의 사용성 비교 평가를 수행하였다.

정신헌리학적 실험을 통해 손의 같은 지점임에도 불구하고 볼의 회전 방향에 따라 감지 역치가 다르다는 사실과 수직방향과 대각방향에서 감지 역치와 인식 강도 모두 확연한 차이가 난다는 것을 알 수 있었다. 두 가지 모두 다른 어플리케이션을 개발할 때 감각인식 부분에서 고려해야 할 사항들이다. 즉, 여러 방향으로 같은 힘을 느끼게 하려면 방향마다 다른 렌더링 기법이 필요할 것으로 보인다. 또한, 실험에서 제안된 다양한 48가지 패턴 중 Square-High의 경우 촉각만으로도 정확도 평균 80% 이상의 방향성 있는 촉감을 인지할 수 있다는 사실을 알 수 있었다. 이것을 응용하여 촉각 기반의 햅틱 네비게이션이나 모바일 UI, 가상현실, 게임 등에서 사용자 체험을 향상시킬 수 있는 사실적인 역감을 표현할 수 있을 것이다.

응용 어플리케이션을 통한 실험에서는 제안하는 TouchBall 인터페이스와 기존의 Tactile 인터페이스를 사용성 비교 평가를 수행하였다. NASA TLX 설문조사의 결과 신체적 요구, 수행도, 노력 정도에서 TouchBall이 좋은 평가를 받았고 정신적 요구, 시간적 요구, 좌절 수준에서는 차이가 발견되지 않았다. 마지막으로 조사한 어느 쪽에서 더 다양한 촉각 체험을 할 수 있었는지에 대해서 20명의 실험 참가자 중 18명이 TouchBall에서 Tactile 모터와는 다른 다양한 촉각 체험을 경험했다고 응답해 주어 TouchBall에 대한 선호도가 높으며 사용자 체험이 향상 되었음을 확인할 수 있었다.

향후 TouchBall과 Tactile 인터페이스를 같이 사용하였을 때의 촉각 변화에 대한 연구와 시각, 청각 정보와 함께 다중 감각 인터페이스를 구현 했을 때의 인지능력 향상 정도에

대한 연구, 실제 모바일 환경에서 사용했을 때의 사용성 평가 등의 추가 연구가 필요할 것으로 판단되며, 다양한 응용 어플리케이션에 적용하여 촉각적 사용자 체험을 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] S. Brewster, F. Chohan, L. Brown, "Tactile Feedback for Mobile Interactions", - Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors, pp. 159 - 162, 2007
- [2] A. Gallace, H. Z. Tan, and C. Spence, "The Body Surface as a Communication System: The State of the Art after 50 Years", Presence, vol. 16, pp. 655-676, 2007.
- [3] I. R. Summers, Tactile Aids for the Hearing Impaired London, England: Whurr Publishers Ltd, 1992.
- [4] J. J. Zwislocki and D. A. Goodman, "Absolute scaling of sensory magnitude: a validation.," Perception & Psychophysics, vol. 28, pp. 28-38, 1980.
- [5] Seungmoon Choi, "Perceptual Characteristics of Mobile Device Vibrations", Korea Human Computer Interaction, 30-35, 2008.
- [6] Y. Tanaka, S. Masataka, K. Yuka, Y. Fukui, J. Yamashita, N. Nakamura, "Mobile Torque Display and Haptic Characteristics of Human Palm" In Proc. of the 2001 international Conference on Augmented Tele-Existence, Tokyo, Japan, December 2001, pp. 115-120.
- [7] J. Jung, J. Ryu, and S. Choi, "Physical and Perceptual Characteristics of Vibration Rendering in Mobile Devices," Submitted to ACM Transactions on Applied Perception.
- [8] R. T. Verrillo, S. J. Bolanowski, and F. P. Mcglone, "Subjective magnitude of tactile roughness", Somatosensory and Motor Research, vol. 16, pp. 352-360, 1999.
- [9] A. M. Murray, R. L. Klatzky, and P. K. Khosla, "Psychophysical Characterization and Testbed Validation of a Wearable Vibrotactile Glove for Telemanipulation," Presence, vol. 12, pp. 156 - 182, 2003.
- [10] Hoggan, E., Brewster, S. and Anwar, S. Mobile Multi-Actuator Tactile Displays. In Proc 2nd Intl Workshop on Haptic and Audio Interaction Design, Springer LNCS (2007), 22-33.