
이차원 순차 선택에서의 능동 및 수동 햅틱 정보 제공을 통한 기억력 향상

Effect of Active and Passive Haptic Sensory Information on Memory for 2D Sequential Selection Task

이호진, Hojin Lee*, 한갑중, Gabjong Han**, 이인, In Lee**,
임성훈, Sunghoon Yim**, 홍경표, Kyungpyo Hong**, 최승문, Seungmoon Choi***

요약 최근 햅틱스의 발전과 더불어 교육에 촉각 정보를 이용하려는 시도가 늘고 있다. 이에 따라 본 논문은 이차원 상에서 점의 순서를 외우는 실험을 통해 촉각 정보를 단기 기억력 및 장기 기억력 모두의 교육에 적용하고자 하는 한편, 가상 픽스처를 이용하여 수동적으로 촉각 정보를 제공하는 방법에 대해 새롭게 제시하고 이를 실험을 통해 검증하였다. 그 결과 단기 기억력을 향상시키고자 하는 경우 적절한 촉각 정보의 제시를 통해 그 영향력을 더욱 증대시킬 수 있었다. 그러나 같은 실험을 통해 장기 기억력을 위한 학습에는 촉각 정보의 효과가 크지 않았으며 수동적인 방법은 오히려 역효과가 발생함을 확인하였다.

Abstract Recent advances in haptics gave rise to newly-increasing approaches which use haptic information for training or education. Using this tendency, we studied the effect of haptic information on improving not only short-term but also long-term performance for memorizing an order of selecting positions scattered on a 2D plane. Moreover, we proposed and tested a new method which uses a virtual fixture to provide haptic information passively. In results, the haptic information is surely effective on improving the short-term memory especially when the information is appropriate. However, the result showed that the haptic information is not very effective for improving long-term memory and the tested method may cause an adverse effect on memorizing on the other hand.

핵심어: *Haptics, Visuo-haptic Interface, Active and Passive Guidance, Virtual Fixture, Memorizing Task*

본 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 도약연구지원사업(No. 2010-0018454)과 기초연구실육성사업(No. 2010-0019523) 및 정부(지식경제부)의 재원으로 정보통신산업진흥원의 대학 IT 연구센터 지원사업(No. NIPA-2010-C1090-1031-0006)의 지원을 받아 수행된 연구임.

*주저자 : 포항공과대학교 컴퓨터공학과 통합과정; e-mail: hojini33@postech.ac.kr

**공동저자 : 포항공과대학교 컴퓨터공학과

***교신저자 : 포항공과대학교 컴퓨터공학과 교수; e-mail: choism@postech.ac.kr

1. 서론

최근 햅틱스의 발전과 더불어 촉각 정보를 교육과 관련된 분야에 이용하려는 시도가 늘어나고 있다. 그 중 하나로 촉각 정보를 이차원 상에서 점의 순서를 암기하는 기능에 대한 교육에 적용함으로써 단기(short-term) 기억력을 향상시키는 방법에 대한 연구가 있었다[1]. 그 결과 촉각 정보의 유무가 단기 기억력에 확실히 향상을 미치지만, 적합하지 않은 형태의 교육일 경우 그 효과가 사라지게 됨을 확인하였다. 본 논문에서는 [1]의 내용을 확장하여 더욱 개량화된 새로운 교육 방법을 제시함과 동시에 단기 기억력만이 아닌 장기(long-term) 기억력까지 그 범위를 넓혀 교육의 성능을 검증하고자 한다.

2. 시촉각 시스템

우리는 감각운동기능 전수를 위하여 시각과 촉각 정보를 함께 제공하는 이른바 시촉각 시스템을 개발하였다(그림 1). 본 시스템은 PC 두 대와 시각 디스플레이 한 대, 그리고 햅틱 장치 한 대로 구성되었다.

시스템은 사용자의 상황에 따라 적절한 시촉각적 피드백을 디스플레이 또는 햅틱 장치 끝에 장착된 엔드 이펙터를 통해 사용자에게 전달하였다. 시각 정보를 전달하는 시각 디스플레이로는 42 인치 PDP 가 사용되었고, 촉각 정보를 전달하는 햅틱 장치는 Barrett 사(社)의 WAM Arm 장치가 사용되었다. WAM Arm 의 작업 공간의 경우 한쪽 팔을 이용한 동작 훈련에 적합하게 팔의 동작 범위가 포함되었다. 이외에도 사용자는 추가적으로 키패드와 트랙볼 인터페이스를 사용하였다. 여기서 트랙볼은 Kensington 사의 SlimBlade 트랙볼이 사용되었다.

3. 실험 방법 및 과정

우리는 [1]과 동일하게 피실험자가 이차원 상에서의 점의 순서를 암기 및 복기하는 실험을 선택하였다. 그리고 그 이유는 실제 생산 현장에서 옳은 순서로 나사를 체결하거나 항공기 조종 시 정해진 순서로 단추를 누르는 등의 교육에 유용할 것으로 생각했기 때문이다. 따라서 실험에 앞서 총 14 개의 점을 하나의 집합으로 하여, 서로 다른 여러 점의 집합을 정하고 그 위치와 순서를 고정하였다. 사람은 단기적으로 보통 5~9 개 아이템을 저장하기 때문에, 이보다 충분히 많을 경우 장기 기억까지 함께 활용하여 아이템의 순서를 외우기를 기대하였다[2]. 또한 아이템 개수가 늘어나 학습이 어려워지게 되면 방법에 따른 차이 또한 명확해질 것으로 판단하였다.

암기를 위해 실험에 사용한 방법 조건은 네 가지로, Visual Only (V), Enactment (E), Haptic Guidance (G), Virtual Fixture (F)와 같다. 이 중 V, E, G 의 세 방법은 [1]과 동일하며, F 는 본 논문에서 새롭게 제시되는 방법이다. V 는 시각 정보만을 보여주는 일반적인 방법이며,

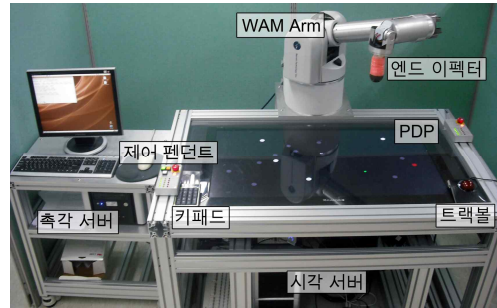


그림 1. 감각운동 전수를 위한 시촉각 시스템의 모습

E 는 시각 정보에 피실험자가 직접 햅틱 장치의 엔드 이펙터를 쥐고 움직여 점을 찍게 하는 동작을 가미한 방법이다. G 는 E 방법에 햅틱 장치가 다음 점을 향한 힘 피드백을 제공함으로써 피실험자에게 추가적인 촉각 정보를 주는 방법이다. 단, [1]의 같은 조건에서 피실험자에게 가해지는 15 N 의 힘 피드백을 본 논문에서는 상대적으로 약한 10 N 으로 변경하였다. 마지막으로 F 는 점과 점 사이 통로에 보이지 않는 물리적 벽(가상 픽처; virtual fixture)을 만들어 피실험자가 이를 따라가면서 점을 찍게 한 방법이다. 따라서 G 는 피실험자에게 능동적으로 정보를 주는 것으로, F 는 수동적으로 주는 것으로 생각할 수 있다. 우리는 이 수동적인 정보가 피실험자의 기억력에 효과를 줄 것으로 기대하였다[3].

한 집합에 대한 암기는 학습 단계와 검증 단계의 두 단계로 이루어진다. 먼저 학습 단계에서는 점들의 위치와 순서에 대한 정보가 모두 제공되었다. 위치의 경우 집합 내의 모든 점들이 화면 위에 회색 점으로 표시되었으며 현재 순서는 빨간색 점으로 표시되었다. 그리고 피실험자가 현재 순서를 선택하면 그 색이 빨간색에서 흰색으로 바뀌게 됨으로써 피실험자는 순서에 대한 정보까지 얻을 수 있었다. 단, 점의 선택 방식에 대해서는 조건마다 인터페이스에 따른 차이가 있었다. V 의 경우 피실험자가 직접 키패드의 Enter 키를 누르면서, 나머지 E, G, 그리고 F 는 선택할 점에 엔드 이펙터를 위치하여 선택하면서 점의 순서를 학습하였다. 이어서 피실험자가 순서를 모두 학습하면 자동으로 검증 단계로 접어들게 되었다. 이 단계에서는 점의 위치에 대한 정보만이 회색 점으로 표시되었고, 피실험자는 학습한 조건에 상관없이 모든 점들을 기억한대로 트랙볼로 클릭함으로써 선택을 완료해야 하였다. 여기서 트랙볼을 사용한 것은 모든 조건 각각의 학습 단계와 검증 단계 사이의 인터페이스 차이를 중립화해서 검증을 인터페이스와 독립시키기 위한 목적이었다. 검증 후에는 확인을 거쳐 선택한 순서가 맞는 경우 다음 집합으로 넘어가거나 실험을 종료했으며, 틀린 경우에는 다시 한 번 학습 및 검증 단계를 반복해야 하였다.

전체 실험은 초기 실험과 본 실험, 회상(retention) 실험의 세 부분으로 나뉘고, 이 중 초기와 본 실험은 첫날, 회상 실험은 이튿날 만 하루 후에 진행되었다. 초기 실험에서는 두 가지 집합을 모든 피실험자가 동일한 V

방법으로 암기함으로써 기본적인 기억력을 검증하였다. 그리고 이어진 본 실험은 피실험자마다 위의 서로 다른 V, E, G, F 조건을 통해 총 여섯 개의 집합을 학습 및 검증하였다. 그리고 다음 날의 회상 실험은 본 실험 여섯 개 중 마지막 세 개의 집합과 같은 집합을 다시 학습시키고 검증하였다. 특히 회상 실험에서는 초기 실험처럼 모두 V 방법만을 이용하도록 하여 확실한 장기 기억력의 효과를 알고자 하였다. 실험에는 조건당 6명, 총 24명이 참여하였으며, 이들의 나이, 성별, 지능지수 등이 영향을 미칠 수 있음을 고려하여 만 20-24세 사이(평균 21.8세)의 성인 남성 대학(원)생만을 대상으로 하였다.

4. 실험 결과

실험에 사용한 성능 평가 척도로 반복횟수와 총 실험 진행 시간을 측정하였다. 단, 초기 실험, 본 실험, 회상 실험 모두 피실험자가 적응의 어려움을 느끼는 경우가 있었기 때문에 결과는 초기는 마지막 1개, 본 실험은 마지막 2개, 회상 실험도 같은 집합을 가진 마지막 2개 집합만을 선택하여 결과로 분석하였다(그림 2a, 2b).

반복횟수를 비교해 보면 E는 V에 비해 본 실험에서는 좋은 성능을, 회상 실험에서는 안 좋은 성능을 보여주었고, 이는 기존 실험처럼 촉각 정보 자체가 단기 기억력에 충분히 도움을 줄 수 있으나, 장기적인 기억력 향상에는 큰 도움을 줄 수 없다고 결론지을 수 있다. 하지만 G의 경우, 진행 시간은 비슷했으나 반복 횟수는 더 좋은 경향성을 보였는데, 이는 [1]에 대치되는 결과이다. 이에 대해서는 [1]의 피실험자가 상대적으로 강한 15 N의 피드백을 지속적으로 받으면서 다량의 집합(20개)을 암기하여 능동적 단서에 순응해 버린 데 비해, 피드백은 10 N으로, 집합 수는 5개로 감소하면서 순응 효과가 줄어들어 단기 기억력에 긍정적인 효과를 받은 것으로 추측된다.

수동적 가이드 F의 경우 반복 횟수는 향상이 없었고, 진행 시간은 특히 본 실험에서 오래 걸렸다. 따라서 F의 촉각 단서는 특히 단기 기억력에 나쁜 영향을 준 것으로 보이는데, 설문지 조사 결과 F를 수행한 피실험자 절반(6명 중 3명)이 '벽 때문에 움직이기 힘들다'라고 한 것으로 미루어 볼 때 오히려 F의 수동적 단서가 불필요하게 실험 수행을 방해한 것으로 결론지을 수 있다.

5. 결론

본 논문은 회상 실험의 추가를 통해 장기 기억력을 측정하였으며, 새롭게 가상 픽스처를 이용한 수동적 햅틱 가이드 방법을 제시하고 성능을 검증하였다. 그 결과 촉각 정보가 단기 기억에 효과적이라는 사실을 재확인하였으나, 장기 기억에는 효과가 없거나 역효과가 날 수도 있다는 사실을 알아냈다. 또한 수동적 가이드의 불필요한 촉각 단서는 오히려 좋지 않은 결과를 초래할 수 있음을 보였다.

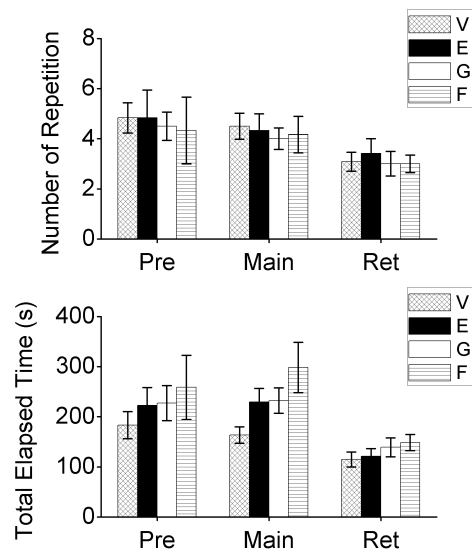


그림 2. 실험 조건에 따른 (a) 반복 횟수와 (b) 총 진행 시간 평균. Pre는 초기 실험, Main은 본 실험, Ret는 회상 실험이다.

따라서 단기 기억력의 향상을 돕기 위한 촉각 정보의 제공 자체는 효과적이지만, 정보의 양과 성질을 잘 판단하여 원하는 목표에 맞는 형태로 제공될 필요가 있다. 특히 장기 기억에 경우 본 논문에서 제시된 방법보다 효과적인 촉각 정보 제시 방법에 대한 조사가 필요하다. 그리고 점진적(progressive) 햅틱 가이드나 햅틱 방해(disturbance) 등이 그러한 정보 제시 방법의 후보가 될 수 있을 것으로 보인다[4]. 따라서 우리는 앞으로 같은 교육에 이러한 방법을 실제로 적용해 볼 예정이며, 이를 통해 효율적인 기억력 향상 교육이 가능하기를 기대한다.

참고문헌

- [1] G. Han, J. Lee, I. Lee, S. Jeon, and S. Choi, "Effects of Kinesthetic Information on Working Memory for 2D Sequential Selection Task," In *Proc. of the Haptics Symposium*, pp. 43-46, 2010.
- [2] C. Wickens and J. Hollands, "Memory and Training," *Engineering Psychology and Human Performance, 3rd Ed.*, Prentice Hall, pp. 241-292, 1999.
- [3] M. O' Malley and A. Gupta, "Passive and Active Assistance for Human Performance of a Simulated Underactuated Dynamic Task," In *Proc. of the Haptics Symposium*, pp. 348-355, 2003.
- [4] J. Lee and S. Choi, "Effects of Haptic Guidance and Disturbance on Motor Learning: Potential Advantage of Haptic Disturbance," In *Proc. of the Haptics Symposium*, pp. 335-342, 2010.