

## 조향 교육을 위한 햅틱 유도과 방해의 혼합형 햅틱 도움 방법

Hybrid Assistance Combining Haptic Guidance and Disturbance for Steering Task

이호진, Hojin Lee\*, 최승문, Seungmoon Choi\*\*\*

**요약** 보강 피드백을 이용한 운동 학습 중, 햅틱 피드백을 교육에 이용하는 연구가 늘어나고 있다. 이에 대해 우리는 전통적인 햅틱 유도 방법과, 장기적 효과가 있다고 알려진 햅틱 방해 방법, 그리고 이 두 가지 방법을 혼합하여 두 방법의 장점을 노리는 혼합 햅틱 방법을 운전 중에서도 큰 부분을 차지하는 조향 교육에 적용함으로써 각 방법의 교육 효과를 알아보고자 하였다. 교육 시스템을 제작하고 각 알고리즘을 제작한 뒤, 피실험자별로 다른 교육 방법을 적용하여 교육하는 실험을 진행한 결과, 햅틱 방해 방법이 단기/장기적인 교육 효과를 모두 보였다. 새롭게 제시된 혼합 햅틱 방법의 경우 단기적인 효과만을 보였지만, 정성적 평가 결과 햅틱 유도와 비슷하게 높은 평가를 받았다. 즉, 혼합 햅틱 방법은 교육에서 햅틱 유도 방법의 높은 용이성 및 햅틱 방해의 높은 효율을 동시에 보고자 할 경우 적용시킬 수 있는 방법으로 기대된다.

**Abstract** Recently, many motor learning studies about augmented feedbacks made a new approach as known as haptic education, which uses haptic feedbacks. We applied three different haptic methods - well-known haptic guidance, haptic disturbance for long-term educational effect, and hybrid haptic assistance combining guidance and disturbance - for the training of steering task. After building a training system and implementing each method, we conducted a user experiment comparing three haptic methods. In results, haptic disturbance had the best educational effect both in the short-term and the long-term. Although our novel hybrid haptic assistance only showed a short-term effect, it also obtained high evaluation scores in subjective questionnaires, as similar as haptic guidance. In conclusion, hybrid haptic assistance might be a possible education if we want to acquire well-applicability of haptic guidance and high-effectiveness of haptic disturbance, simultaneously.

**핵심어:** *Haptics, Motor Learning, Haptic Guidance, Haptic Disturbance, Hybrid Haptic Assistance, Steering Task*

본 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 도약연구지원사업(No. 2012-0006267)과 기초연구실육성사업(No. 2012-0008835), 그리고 미래융합기술과이노니아사업(No. 2012-0000455)의 지원을 받아 수행된 연구임.

\*주저자 : 포항공과대학교 컴퓨터공학과 통합과정; e-mail: [hojini33@postech.ac.kr](mailto:hojini33@postech.ac.kr)

\*\*\*교신저자 : 포항공과대학교 컴퓨터공학과 교수; e-mail: [choism@postech.ac.kr](mailto:choism@postech.ac.kr)

### 1. 서론

운동 학습(Motor Learning)에서 최근 햅틱스 분야의 발전으로 인해, 기존 시청각 기반 보강 피드백(Augmented Feedback)이 아닌 햅틱 피드백을 이용하는 햅틱 교육에 대한 연구가 늘어나고 있다 [1].

햅틱 교육 중 가장 유명한 방법은 기능 수행을 위해 직접적인 피드백을 주어 교육을 돕는 햅틱 유도(Haptic Guidance) 방법이다 [2], 단, 이 방법은 교육 과정 중의 일시적 효과에 비해 교육이 끝난 뒤에는 효과가 사라지거나 악영향을 끼친다는 유도 가설(Guidance Hypothesis)로 인해 장기적 효과에는 한계가 있다고 알려져 있다 [3]. 햅틱 유도와 반대로 햅틱 방해(Haptic Disturbance) 방법은 교육 과정 중 노이즈 등의 형태로 예측할 수 없는 피드백을 제공하여 기능 수행을 방해한다. 이 방법은 이를 통해 오히려 교육의 수행 난이도를 높여 주어 장기적인 교육 성능이 증강되기를 기대하는 방법이며, 추적(Tracking) 태스크에서 그 효과가 이미 검증된 바 있다 [4]. 하지만, 예측이 어려운 피드백으로 인해 사용자가 교육 과정 중에 더욱 혼란을 느끼게 되는 단점 또한 존재한다.

이에 대해 우리는 본 논문에서 햅틱 유도와 햅틱 방해 방법을 혼합한 새로운 형식의 햅틱 교육 방법을 제시하는 한편, 두 방법의 장점만을 수용하여 보다 나은 교육 효과를 노리고자 한다. 이에 대해 여러 햅틱 교육 방법을 운전 기능 중에서도 큰 부분인 조향 기능 교육에 적용하고 사용자 실험을 통해 평가하여 각 방법의 장단점을 분석할 수 있을 것으로 기대하였다.

### 2. 실험 환경의 구성

실험을 위해 우리는 조향 교육 시스템을 제작하였다. 교육에 사용될 스티어링 휠 장비로는 상용 Logitech G25 장비를 사용했으며(스티어링 휠 반경: 270 mm, 최대 회전각: 좌우 45°), 이 장비가 모터를 통해 발생시키는 토크를 햅틱 피드백으로써 교육에 이용하고자 하였다.

성공적인 조향 교육을 위해 우리는 피실험자가 정해진 경로를 시각적인 정보를 통해 확인함으로써 교육에 임할 수 있도록 하였다. 단, 조향 기능에는 회전(Turn) 구간에 대한 수행이 필수적으로 포함되므로, 우리는 다양한 턴 구간을 주행 경로에 포함시키고자 했다. 이에 따라 우리는 서로 다른 4 개의 경로를 설계하면서, 각 경로마다 회전 방향(좌, 우), 회전 반경(10, 20, 30 m), 그리고 회전 각도(45, 90°)에 따라 다른 총 12 개의 회전 구간을 반드시 포함시키도록 했다. 물론 경로마다 배치 순서는 달랐지만 그 배치의 순서는 모든 경로에서 회전 방향이 좌/우 번갈아 나오도록 동일하게 설정하였다. 경로 설계가 끝난 뒤, 우리는 OpenGL 라이브러리를 통해 조향 교육을 위한 시각적 환경을 구성하였다(그림 1). 모니터 중심에는 붉은 색 화살표로 현재 차량의 위치 및 방향을 항상 표시하였으며, 조향 기능 교육 중에 피실험자는 스티어링



그림 1. 조향 교육 프로그램의 스크린샷.

휠을 조작함으로써 앞서 설명한 대로 설계된 흰 색 경로 위에 항상 붉은 색 화살표를 위치시키면서 주행하도록 지시 받았다. 이를 위해 실험 내내 차량의 속도는 일정하게 유지되었다.

### 3. 실험 방법

교육을 위한 햅틱 피드백 발생을 위해 PID 컨트롤 알고리즘을 제작하였다.

$$e = \theta_t - \theta_c \tag{1}$$

$$\tau = G_p \cdot e + G_i \cdot \sum e + G_d \cdot \Delta e \tag{2}$$

(1)의  $\theta_t$  는 목표하는 스티어링 휠의 각도이며,  $\theta_c$  는 현재 스티어링 휠의 각도로, 두 각도의 차이  $e$  가 현재 오류로서 계산된다.  $G_p$ ,  $G_i$ ,  $G_d$  는 컨트롤 계인 값으로, 이 오류의 크기 및 누적값, 그리고 오류의 변화량에 곱해져 (2)와 같이 토크 피드백  $\tau$  가 계산된다. 우리는 파일럿 실험으로 적절한 계인 값을 찾아내었고( $G_p = 500.0$ ,  $G_i = 0.1$ ,  $G_d = 2.0$ ), 교육 조건에서는  $\theta_t$  를 특정 값으로 설정함으로써 그에 따른 토크 피드백을 계산, 피실험자에게 전달하도록 하였다.

실험에 사용된 교육 조건은 총 4 가지로, 무도움(N; No Assistance), 예측 기반 햅틱 유도(G; Predictive Haptic Guidance), 햅틱 방해(D; Haptic Disturbance), 그리고 혼합형 햅틱 도움(H; Hybrid Haptic Assistance) 조건과 같다. 여기서 N의 경우, 교육 내내 아무런 햅틱 피드백도 가해지지 않는 기준(Baseline)이 되는 방법이다. G는 [2]의 예측 기반 햅틱 유도 알고리즘을 바탕으로 제작되었다(그림 4a). 현재의 위치로부터 경로 위의 한 점을 예측 대상(Predictive Point)으로 삼아, 그 대상과 현재 차량의 진행 방향과의 각도차를  $\theta_t$  로 설정함으로써 경로를 벗어났을 때 경로 위로 다시 진입하도록 토크 피드백이 안내된다. 예측 대상과 관련된 알고리즘에 대한 자세한 내용은 [2]를 참고하였다. D는 [4]와 같이 교육 내내 펄린 노이즈 형태로,  $\theta_t$  의 값이 최소  $-30^\circ$ 에서 최대  $30^\circ$ 로 변화하면서 그에 따른 피드백이 지속적으로 제공된다(그림 4b). 따라서 피실험자는 스티어링 휠 조향을 통해 노이즈 토크를 이겨내는 한편 실선 또한 잘 따라가야 하므로, 그 수행 난이도가 증가될 것이라 예상했다. 마지막 H는 G와 D를 혼합한 것으로, G와 비슷하게 예측 대상을 제공하였으나, 그 예측 대상의 위치는 D처럼 펄린 노이즈 형태로 바뀌게 하였다(그림 4c). 그에 따라  $\theta_t$  의 값 또한 G처럼 정해진 것이 아니라 항상 변화하게 되고, 이에 따라

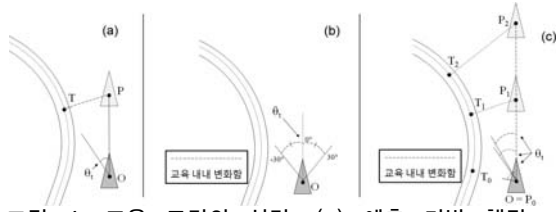


그림 4. 교육 조건의 설명. (a) 예측 기반 햅틱 유도, (b) 햅틱 방해, (c) 혼합형 햅틱 도움.

피실험자가 경로에 진입하게 도와주면서도 피드백의 크기/방향은 계속 변경되었다. 이처럼 피드백이 계속 변화함에 따라 피실험자가 자연스럽게 피드백 중 실제 수행에 적합한 피드백만을 받아들여 수행에 임할 것으로 기대했다.

실험에는 만 20-25 세 사이의 조건당 3 명씩 총 12 명의 피실험자가 참여했다(평균 22.4 세). 실험은 크게 4 개의 세션으로, 사전 검증(Pretest), 교육(Education), 즉각 검증(Immediate Test), 지연 검증(Delayed Test)과 같다. 각 세션은 설계된 4 개의 경로를 2 번씩 따라가는 총 8 번의 시도로 구성되며, 모든 피실험자는 동일한 순서로 모든 세션을 진행하였다. 여기서 사전 검증은 기초 실력의 검증이 목적으로, 세션의 결과에 따라 피실험자마다 다른 조건에 배정되어 조건별 차이가 최소화되었다. 교육 세션은 실제 교육이 이루어진 세션으로, 조건에 따라 다른 햅틱 피드백을 제공받으면서 교육에 임하였다. 즉각 검증은 교육 세션 이후에 바로 진행되었으며, 지연 검증은 즉각 검증이 끝나고 3 시간 후에 이루어져 보다 장기적인 효과를 보고자 하였다. 교육 세션을 제외하고는 N 조건처럼 어떠한 햅틱 피드백도 제공되지 않았고, 교육 세션만이 피실험자마다 배정된 조건에 의해 다른 햅틱 피드백이 제공되었다.

4. 실험 결과

정량 비교를 위해 각 세션 내 시도별로 평균 제곱근 오차(Root Mean Squared Error; RMSE)를 구하였고, 객관화를 위해 피실험자별 초기 검증 시의 RMSE 평균을 교육 전의 기본 실력으로 파악한 뒤 이를 나머지 검증 세션에 포함된 시도의 RMSE 를 나눔으로써 정규화하였다. 그림 2 은 각 조건/검증 세션별 정규화된 백분율로, 낮은 값일수록 초기에 비해 교육 뒤에 큰 향상이 된 것이라 할 수 있다. 이 때, 모든 검증에서 D 가 큰 효과를 보였고, G 는 좋지 않았으며, H 는 즉각 검증시만 효과가 나타났다.

그림 3 는 실험이 끝난 뒤 조건별로 각 교육 방법에 대해 설문한 정성적 점수로, (1) 교육의 난이도, (2) 도움되는 정도, (3) 편안함, (4) 재미, (5) 체감 향상 효과에 대한 7-Likert 점수이다. 대체적으로 G 가 (1)~(3) 에서, D 가 (5)에서 좋은 점수를 받았으며, H 는 모든 질문에서 상대적으로 높은 점수를 기록하였다.

5. 토의 및 결론

조향 교육에서 햅틱 방해 방법이 유도보다 교육적 효과가 좋았다. 이는 즉각적 효과뿐만이 아니라 장기적인 효과 또한 마찬가지로, 햅틱 방해 방법의 운동 학습 효과를

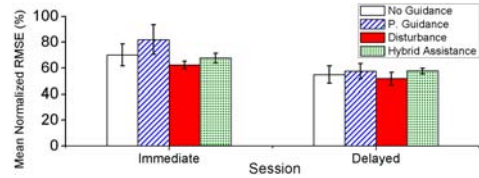


그림 2. 즉각/지연검증의 세션별 RMSE 를 초기검증의 RMSE 로 정규화한 백분율(%)

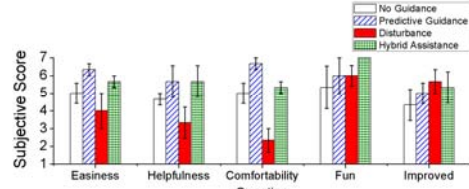


그림 3. 7-Likert 설문 조사 결과.

단적으로 보여주는 것이라 할 수 있다. 또한, 이번에 제시한 혼합 방법은 정량적으로 볼 때 단기적으로만 좋은 효과를 보였다. 하지만, 정성적 평가에서는 햅틱 방해 방법이 그 효과에도 불구하고 평가가 좋지 않았던 것에 비교, 피교육자들이 햅틱 유도 방법처럼 부담 없이 접근할 수 있었던 방법으로 파악한 것을 알 수 있다. 즉, 이 혼합 방법은 유도 방법과 방해 방법의 단순한 혼합을 넘어 두 방법의 장점(유도 방법의 용이성과 방해 방법의 효율성)만을 취한 것이라고 할 수 있다.

이에 따라, 운동 교육에서 햅틱 방해의 효과를 증명할 수 있었을 뿐만 아니라, 방해 효과가 가지는 단점으로 인해 교육에 사용이 꺼려질 경우에는 유도 방법과의 혼합을 통해 접근하는 것이 가능할 것으로 짐작된다. 앞으로의 교육에 있어서는 단순히 두 방법을 혼합하는 것이 아니라, 각 교육 방법과 교육 대상의 특징을 파악하여 특정한 형태로 혼합 햅틱 교육을 적용하는 것도 가능할 것이다.

참고문헌

[1] D. Powell and M. K. O' Malley, "Efficacy of Shared-Control Guidance Paradigms for Robot-Mediated Training," In *Proc. of IEEE World Haptics Conference*, pp. 427-432, 2011.

[2] B. C. Forsyth and K. E. MacLean, "Predictive Haptic Guidance: Intelligent User Assistance for the Control of Dynamic Tasks," *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 12, No. 1, pp. 103-113, 2006.

[3] R. A. Schmidt, "Frequent augmented feedback can degrade learning: Evidence and interpretations," *Tutorials in Motor Neuroscience*; J. Requin and G. E. Stelmach (Editors), pp. 59-75, Springer, 1991,.

[4] J. Lee and S. Choi, "Effects of Haptic Guidance and Haptic Disturbance on Motor Learning: Potential Advantage of Haptic Disturbance," In *Proc. of the Haptics Symposium*, pp. 335-342, 2010.