

가상 운전 환경에서의 힘 피드백 제공을 위한 햅틱 가속 페달

이호진, Reza Haghghi Osgouei, 이인, 신성환, 최승문
포항공과대학교

Haptic Accelerator Pedal for Providing Force Feedback in Virtual Driving Environment

Hojin Lee, Reza Haghghi Osgouei, In Lee, Sunghwan Shin, Seungmoon Choi
Pohang University of Science and Technology (POSTECH)
e-mail: {hojini33, haghghi, inism, scaut11, choism}@postech.ac.kr

요 약

본 논문에서는 운전 시뮬레이션에서 사용자의 하지에 힘 피드백을 제공할 수 있도록 하는 햅틱 가속 페달을 제작하였다. 가속 페달의 설계에는 실제성과 정밀성 등의 다양한 요구사항이 반영되었으며, 상용 모터 등을 이용, 설계 방식대로 햅틱 페달을 제작할 수 있었다. 이에 대해 제작한 햅틱 페달의 동역학적 모델을 구성하고 이 모델을 검증함으로써, 추후 시뮬레이션에 햅틱 가속 페달을 사용하는 것이 적합하다는 사실을 보이고자 하였다.

1. 서론

가상 운전 환경은 사용자가 실제 차량 없이도 운전을 경험할 수 있다는 점에서 예전부터 여러 수요가 있어 왔고, 그에 따라 다양한 형태의 운전 시뮬레이터가 개발되고 보급되었다 [1]. 특히 운전대를 통해 가상 환경에 따른 햅틱 피드백을 제공함으로써 그 몰입감을 높여려는 시도 또한 다수 존재하였으나 [2] 가속 또는 브레이크 페달을 통해 사용자에게 힘을 전달하고자 하는 시도는 오직 몇몇 연구 단체만이 각자의 목적에 따라 특수한 형태의 장비를 자체적으로 제작하여 사용 중일 뿐 [3] 상대적으로 많이 행해지고 있지 않은 실정이다.

이에 따라 본 논문에서는 가상 환경에서 사용자의 하지에 다양한 형태의 힘 피드백을 제공할 수 있도록 하는 햅틱 가속 페달을 제작하고 그 성능을 검증하였다.

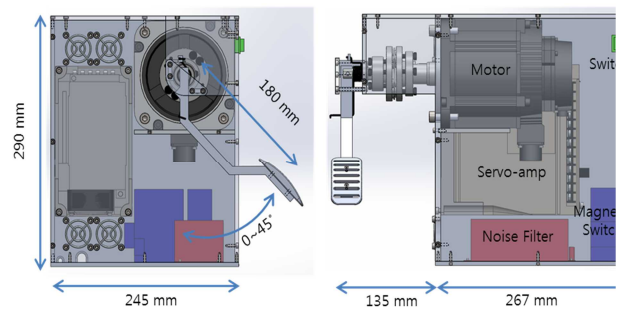
2. 햅틱 가속 페달

2.1 햅틱 가속 페달의 제작

햅틱 가속 페달을 제작에 있어서 우리는 (1) 실제성; 실제 차량의 페달 장비와 유사한 모양 및 회전 반경을 가질 것, (2) 정밀성; 실시간 피드백을 제공할 수 있을 만큼 충분히 높은 위치 정밀도를 가질 것; (3) 안정성; 충분한 무게 및 강성을 통해 안정적인 피드백이 가능할 것, (4) 사용성; 전체 장비는 사용자의 페달 기능 수행에 거추장스럽지 않을 것 등을 요구 사항으로 고려하였고, 이를 반영하여 그림 1과 같은 설계도를 제작하였다. 본 장비는 조작을 위한 페달부와 회전형 모터(Rotary Motor) 및 모터 제어기를 이용하여 토크 피드백을 생성하는 모터부, 그리고 모터부에 전원을 공급하는 전원부로 이루어져 있다. 이 때 모터는 사용자에게 충분한 출력을 전달할 수

있도록 교류 타입 모터(SGMGV-20A, Yasukawa Inc.)를 사용하였다. 이 모터는 모터 제어용 컴퓨터와 약 1 kHz의 주기로 산업용 표준인 MechatroLink-II (ML-II) 프로토콜에 따라 정보를 교환하였다.

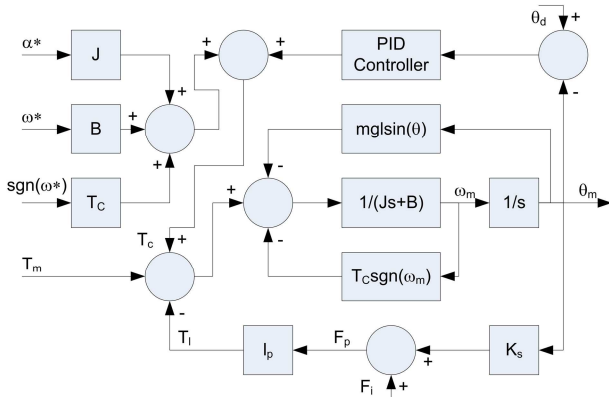
장비의 상세 설계에는 실제 승용차량(삼성 SM3 및 현대 YF소나타)을 참고하였다. 단, 우리는 사용자가 힘을 가하지 않을 경우 페달이 원래 위치로 복귀해야 할 필요가 있음에 주목하였고 그에 따라 토션 스프링을 페달 구동부에 장착하였다. 이에 따라 가상의 힘이 없는 상황에서도 실제 페달처럼 동작하게 되어 모터에 추가적인 부하가 걸리는 일을 배제할 수 있었다. 최종적으로 제작된 페달의 모습은 그림 2



[그림 1] 햅틱 페달의 설계도 및 구성 부품 위치



[그림 2] 본 연구에서 제작된 햅틱 페달의 모습



[그림 3] 햅틱 페달 제어 시스템의 다이어그램에서 확인할 수 있다.

2.2 햅틱 가속 페달 제어기

우리는 추후 시뮬레이션에서 성능을 높이기 위해 제작된 햅틱 페달의 동역학적 모델을 세우고 본 모델이 정상적으로 동작하는 지 점검하였다. 모델 수립을 위해 모터에 가해지는 토크의 평형 수식을 구하게 되면 다음과 같다.

$$T_m = T_j + T_f + T_g + T_l$$

여기서 T_m 은 모터가 생성하는 토크를, T_j 는 관성을, T_f 는 마찰력을, T_g 는 중력을 의미한다. 그리고 T_l 은 사용자가 페달을 밟았을 때 스프링에 의해 생성되는 토크와 같다. 이 때, 사용자가 페달을 밟지 않았을 때($T_l = 0$)의 각 토크는 다음과 같이 계산된다.

$$T_j = J\ddot{\theta} = (J_m + J_p)\ddot{\theta}$$

$$T_f = B\dot{\theta} + T_c \cdot \text{sgn}(\dot{\theta})$$

$$T_g = m \cdot g \cdot l \cdot \sin \theta$$

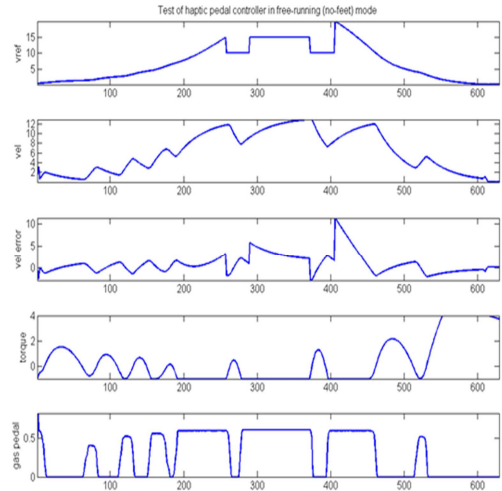
여기서 J 는 총 관성 모멘트로 모터의 관성 모멘트 $J_m = 0.0026 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ 와 페달의 관성 모멘트 $J_p = 0.0012 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ 를 합친 것과 같다. 이 때, 페달의 질량 $m = 0.1353 \text{ kg}$ 과 페달 중심에서 회전축까지의 거리인 $l = 0.09915 \text{ m}$ 를 통해 T_g 의 계산이 가능하며, 마찬가지로 자체적인 실험을 통해 수립한 점성 마찰력 계수 $B = 0.0063 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}$ 와 쿨롱 마찰력 크기 $T_c = 0.105 \text{ N} \cdot \text{m}$ 를 이용하면 T_f 또한 표현이 가능하게 된다.

$$T_m = J\ddot{\theta} + B\dot{\theta} + T_c \cdot \text{sgn}(\dot{\theta}) + m \cdot g \cdot l \cdot \sin \theta$$

$$= 0.0038\ddot{\theta} + 0.0063\dot{\theta} + 0.105\text{sgn}(\dot{\theta}) + 0.1315 \sin \theta$$

사용자가 페달을 밟아서 생기는 $T_l = l_p F_p$ 의 경우, 페달 전체 길이인 $l_p = 0.18 \text{ m}$ 에 토션 스프링에 걸리는 힘 $F_p = K_s \theta + F_i$ 를 곱해서 구하게 된다. 측정 결과, 스프링에 자체적으로 내재된 힘 $F_i = 0.809 \text{ N}$ 와 스프링 상수 $K_s = 0.133 \text{ N/rad}$ 를 파악하였고, 이에 따라 구성된 제어 시스템의 다이어그램은 그림 3과 같다.

그림 4는 이 자유로운 구동 상태에서 PID 제어에 따라 제어 시스템이 잘 구동되는지 확인한 결과이다. 4a는 참조하고자 하는 속도 데이터로, 페달 제어기가 이 속도 데이터를 따라가고자 했을 때의 결과값인



[그림 4] 구동 결과. 위에서부터

- (a) 참조 속도, (b) 제어기가 생성한 속도,
 - (c) a와 b의 오차, (d) 제어기에서 계산된 토크,
 - (e) d를 바탕으로 이동한 페달의 위치를 의미한다.
- 4b 값이 4a와 유사한 것을 확인하면, 제어기가 정상적으로 동작했음을 파악할 수 있다.

3. 결론

본 논문에서는 가상 운전 환경을 위해 햅틱 피드백을 제공할 수 있는 햅틱 가속 페달을 설계 및 제작하고, 응용 가능성을 검증하였다. 이에 따라 추후에는 가상 환경에 직접 해당 장비를 적용하여 사용자 평가를 실시한다면 정상적으로도 페달의 효용성을 파악할 수 있을 것으로 기대된다.

후기

본 논문은 2012-2013년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 도약연구지원사업(No. 2012-0006267)과 기초연구실육성사업(No. 2012-0008835), 그리고 미래유망융합기술파이오니어사업(No. 2012-0000455)의 지원을 받아 수행되었음.

참고문헌

- [1] W. Lee, J. Kim and J. Cho, "A Driving Simulator as a Virtual Reality Tool," in Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics & Automation, 1998.
- [2] A. Liu and S. Chang, "Force Feedback in Stationary Driving Simulator," in Proceedings of the IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 1995.
- [3] M. Mulder, D. A. Abbink, M. M. van Paassen and M. Mulder, "Design of a Haptic Gas Pedal for Active Car-Following Support," IEEE Transactions on Intelligent Transportation System, vol.12, no. 1, 2011.