

햅틱 다이얼 시스템에서의 햅틱 효과 디자인

Haptic Effects Design for Haptic Dial System

신상균, Sangkyun Shin*, 김래현, Laehyun Kim**, 한만철, Manchul Han**

조현철, Hyunchul Cho**, 박세형, Sehyung Park**

요약 기존에 제안했던 실감가상시작을 위한 햅틱 다이얼 시스템을 개선하여 보다 다양하고 세련된 햅틱 효과를 주는 시스템을 제안한다. 제안된 시스템은 사용자가 실제 제품을 조작하는 듯한 느낌을 얻을 수 있도록 힘의 세기에 따른 사운드의 변화를 주며, 미리 디자인된 햅틱 효과를 GUI부 화면에서 선택하여 실시간으로 변환할 수 있다. 또한 그래픽으로 표현된 햅틱 효과에 대해 힘의 세기나 노치의 간격을 편집할 수 있다. 햅틱 다이얼에는 실제 제품에 사용되는 여러 종류의 다이얼 노브를 탈부착할 수 있어서 사용자가 실제와 같은 느낌을 받을 수 있다. 제안된 시스템은 TCP통신으로 모터부와 GUI부가 정보를 주고받기 때문에 원격 제어가 가능하다. 이 시스템은 햅틱 효과 출력 장치일 뿐만 아니라 입력 인터페이스로 사용될 수 있으므로 그 활용 범위가 넓다.

Abstract The purpose of this study is to propose a new Haptic Dial System (HDS) for Virtual Prototyping by developing upgraded systems and various Haptic effects. The Haptic Effect Design (HED) which gives users sensations like handling actual products has a function of controlling loudness by force and changing Haptic effects on GUI windows in real-time. In addition, the HED has another function of editing intervals to express Haptic effects as graphical force and notch on windows. Many kind of dial knob can be attached and removed easily for testing the performance of actual product designs. The HDS can be remotecontrolled through giving and taking the information between motor part and GUI part with TCP communication. The HDS can be applied to the output devices of Haptic effects as well as input-interfaces.

핵심어: *Haptic Dial, Haptic Rendering, Virtual Prototyping*

1. 서론

최근 햅틱 기술을 적용한 여러 가지 제품들이 출시됨에 따라 햅틱 기술 자체에 대한 관심이 높아지고 있다. 햅틱 기술은 그리스어로 만지다(touch)라는 뜻을 가진 “Haptesthai”에서 유래하는데, 햅틱 기술은 터치(touch)를 기반으로 한 정보의 인지와 장치조작에 관한 연구 분야를 일컫는다. 일반적으로 피부가 물체 표면에 닿았을 때 느끼는 촉감(tactile feedback)과 관절과 근육의 움직임이 방해될 때 느껴지는 근 감각적인 힘(kinesthetic force)의 두 가지 힘을 합쳐서 햅틱이라고 지칭한다.[7]

햅틱 기술이 발달함에 따라 좀 더 다양한 햅틱 효과를 제공함으로써 사용자가 제품을 사용할 때 좀 더 다채로운 경험을 하거나, 기존 제품에 새롭게 햅틱 효과를 부가한 다양

한 제품을 사용할 수 있는 가능성이 점점 높아지고 있다.

본 연구는 보다 실제 다이얼을 사용하는 느낌을 강조한 햅틱 다이얼 시스템 설계안을 제안하기 위해 기존에 제안했던 위치제어 기술을 이용한 햅틱 다이얼 시스템의 새로운 버전 즉, 토크제어 방식을 이용한 다이얼 시스템을 제안한다.

다양한 햅틱 효과 디자인과 간단한 편집 기능을 시험하는 것을 목적으로 하며, 이를 위해 첫째, 햅틱 다이얼 시스템을 구성하고, 동작 흐름을 설계하였다. 둘째, 햅틱 효과를 위한 토크제어, 토크 프로파일(profile)을 제안한다.

2장에서는 햅틱 다이얼 시스템의 구성과 동작 흐름에 대해서 논의하고, 3장에서는 햅틱 효과를 위한 토크제어에 대해서 논의한다.

본 논문은 2008년 한국과학기술연구원 실감형 차세대 웹기술 개발 프로젝트의 일환으로 연구되었음.

* 주저자 : 한국과학기술연구원 지능인터랙션연구센터, e-mail: supersk@kist.re.kr

** 공동저자 : 한국과학기술연구원 지능인터랙션연구센터, e-mail: laehyunk@kist.re.kr, manchul.han@kist.re.kr, hccho@kist.re.kr, sehyung@kist.re.kr

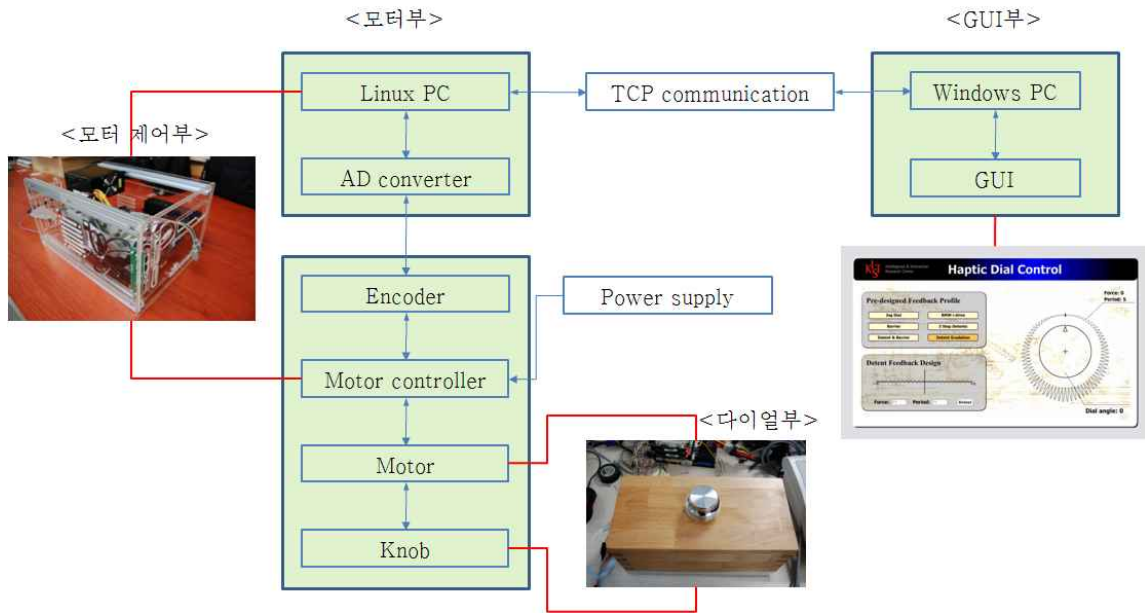


그림 1 . 햅틱 다이얼 시스템 구성도

2. 햅틱 다이얼 시스템

기존에 제안된 햅틱 다이얼 시스템은 모터를 제어하는데 있어서 일정한 주기로 정보를 받아오는 것이 보장되지 않았고, 위치제어 방식으로는 다양한 햅틱 효과 구현이 어려웠다. 이를 개선하기 위해서 토크제어 방식과 리얼타임제어 방식을 채택하여 시스템을 구성하였다[1][6].

본 연구에서 제안된 시스템은 크게 두 부분으로 나뉜다. 모터를 제어하는 모터부와 비주얼한 환경과 사용자 인터페이스를 제공하는 GUI부로 구성되며, 모터부와 GUI부는 TCP(Transmission Control Protocol)통신으로 데이터를 주고받는다.

모터부는 RTOS(Real Time Operating System)기반으로 하는 RT-리눅스(Real Time-Linux)를 사용하며, AD변환기(Analog Digital Converter)를 이용한 직접적인 제어로 안정적이고 민감한 모터제어가 가능하게 되었다. GUI부는 윈도우즈 시스템에 제공되는 가상현실(Virtual Reality)이나, 증강현실(Augmented Reality)등의 응용 프로그램을 사용가능하게 하여 편리하고 다양한 활용이 가능하게 하였다.

모터부는 그림 1과 같이 모터 제어부와 다이얼부로 나뉜다. 다음 절에서는 모터부에 대해서 논의한다.

2.1 모터 제어부

모터를 제어하기 위한 Linux시스템으로 모터의 상태를 실시간으로 모니터링하여 모터를 제어한다. OS는 일정한 속도의 모니터링을 위해 RT-리눅스를 사용하며, 보다 빠른 모

터 응답을 위해서 RTAI(Real-Time Application Interface)를 이용하여 모터제어를 한다. 모터 제어부는 산업용 PC, AD변환기, Motor controller, 모터 전원 공급기 등으로 구성된다.

산업용 PC는 Advantech사의 PCM-3370로써, Intel[®] Pentium[®] M Processor 900 MHz CPU를 사용한다. AD변환기는 sensoray사의 526 A/D board를 사용한다. Motor controller는 Maxon사의 ADS 50/5 아날로그 컨트롤러를 사용하며, 모터 전원 공급 장치는 FineSuntronix사의 MSF 50/24를 사용한다.

산업용 PC와 AD변환기는 PC104타입으로 통신되며 AD변환기로 모터의 위치정보와 위치에 따른 토크 정보를 제공해 준다. 10 kHz의 속도로 정보를 모터의 인코더에 명령하여 모터를 제어하게 된다.

2.2 다이얼부

다이얼부는 모터와 다이얼 노브(knob)로 구성되고, 시스템에서 사용되는 모터는 기존 시스템과 동일한 것을 사용하였다. 그러나, 모터 제어기는 기존의 디지털 방식을 사용하지 않고, PID계인을 조절할 수 있는 아날로그 모터 제어기를 사용하였다(표 1).

모터부 중에서 실제 사용자가 다이얼을 조작하는 다이얼부는 표 2와 같으며, 그림 2에서와 같이 다이얼 노브의 교체 가능하다.

표 1. 모터부에서의 모터와 제어기 사양

	DC Motor	Motor Control Units	
모델명	Maxon DC Motor RE25	Maxon ADS 50/5	
사양	Power Rate	20 W	
	Nominal Voltage	24.0 V	
	Stall Torque	243 mNm	
	Max. Continuous Torque	26.1 mNm	
		Continuous output current	5 A
		Number of Channel	3
		Max. Operating Frequency	100 kHz
	Torque Constant	23.4 mNm/A	

표 2. 햅틱 다이얼 모듈

구 성	사 양
Body	120 * 120 * 100
Dial	Ø70mm (어댑터 사용)
Switch	Power On / Off
Controller	ADS Controller
Power	24DCV Power Supply



그림 2. 햅틱 다이얼과 노브(knob)

3. 햅틱 효과 디자인

토크제어를 통해서 다양하고 안정적인 햅틱 효과를 디자인하였다. 이 시스템에서 안정적인 햅틱 효과를 주기 위해 사용되는 토크제어함수는 연속함수(Continuous Function)여야 하고, 그 함수 값이 '0'인 점이 존재해야 한다는 조건을 가지고 있다.

디자인된 햅틱 효과는 다음과 같다[2][3][4].

- Jog Dial : 가운데가 중립 위치가 되는 일반적인 조그다

이얼.

- BMW iDrive : BMW차량에 지원되는 라디오 선택 모드 시물레이션.
- Barrier : 장벽이 있어 더 이상 넘어가지 못하는 느낌.
- 3 Step Detents : 3도, 10도, 30도 간격의 노치를 갖는 사인파.
- Detent and Barrier : 사인파와 끝에 장벽이 생김.
- Detent Gradation : 같은 간격으로 노치가 배열되지만 토크가 점점 세지다가 작아지는 느낌.

다음 절에서는 햅틱 효과를 어떤 방법으로 표현하는지 각각의 함수에 대해서 논의하였다.

3.1 햅틱 효과를 위한 토크제어

본 논문에서 구현된 햅틱 효과는 사인파를 기본으로 디자인되었다. 사인함수를 살펴보면 식(1)과 같다.

$$f(x) = a \sin\left(\frac{360}{b}x\right) \quad (1)$$

a 는 토크의 세기를 나타내고, b 는 다이얼 한 바퀴 당 노치(notch)의 개수를 의미한다. 모터에는 (+)전압과, (-)전압을 동시에 걸어주나, 우리는 (+)전압만을 고려해서 생각한다. (-)전압은 부호만 반대로 적용하면 되기 때문이다.

식(1)을 이용하여, 간단하게 햅틱 효과의 편집이 가능하게 GUI를 구성하였다.

이러한 지식을 바탕으로 미리 디자인된 햅틱 효과-Jog Dial, 3 Step Detents, Detent and Barrier, Detent Gradation-의 토크제어함수를 알아보고, 그 파형을 살펴 보았다.

3.1.1 Jog Dial

Jog Dial의 함수는 2차함수와 사인함수의 합으로 표현된다. 2차 함수는 Y축으로 이동하여, 기울기를 크게 하고, 원점 주위에 사인함수를 넣어서 살짝 걸리는 느낌을 주도록 식(2)와 같은 함수로 표현되고, 그림 3과 같은 그래프를 그렸다.

$$\begin{aligned} f_j(x) &= -(x - \pi \times \frac{5}{180})^2 - 0.5, (-\pi \leq x \leq -\frac{5\pi}{180}) \\ &= \sin\left(\frac{360}{12}x\right), \left(-\frac{5\pi}{180} < x < \frac{5\pi}{180}\right) \\ &= (x - \pi \times \frac{5}{180})^2 + 0.5, \left(\frac{5\pi}{180} \leq x \leq \pi\right) \end{aligned} \quad (2)$$

3.1.2 3 Step Detents

노치의 간격도 달라지고, 힘의 세기도 달라지는 햅틱 효과로 일반적인 기계적 다이얼에서 구현하기 힘든 느낌을 가진다. 이 햅틱 효과는 사인함수를 기본으로 하여 디자인 되었으며, 3구간에서 서로 다른 힘과 노치 간격을 준다. 이 함수는 주기 함수로, 2π 를 주기로 하였다.

디자인된 함수는 식(3)과 같으며, 그림 3과 같은 그래프를 가진다.

$$\begin{aligned}
 f_3(x) & \quad (3) \\
 &= 0.4\sin\left(\frac{360}{3}x\right), (0 \leq x < \frac{2\pi}{3}) \\
 &= 0.9\sin\left(\frac{360}{10}x\right), (\frac{2\pi}{3} \leq x < \frac{4\pi}{3}) \\
 &= 1.5\sin\left(\frac{360}{30}x\right), (\frac{4\pi}{3} \leq x < 2\pi)
 \end{aligned}$$

3.1.3 Detent and Barrier

사인과 양 끝에 장벽(Barrier)이 생기는 느낌의 함수로, 사인함수와 2차함수의 결합으로 이루어진다. 장벽 느낌의 구현은 시스템 특성상 모터만을 이용하기 때문에 회전하려는 성질이 강해 그 한계가 있다. 하지만, 제한된 시스템에서는 사용자가 돌리는 방향의 반대 방향으로 강한 힘을 주어서 마치 장벽이 있는 것처럼 디자인하였다.

앞에서 언급했듯이 토크제어함수는 연속함수를 만드는 것이 중요하다. 하지만, 장벽의 구현에서는 연속함수로 구현하지 않았다. 그림 3에서 보듯이 강한 힘을 주어 구현되는 햅틱 효과는 양끝에서 갑자기 토크 값이 '0' 이 되어 제한된 범위 안에서 장벽효과를 가진다. 결과적으로 제한된 범위 안에서 장벽을 느낄 수 있다.

Detent and Barrier의 함수는 식(4)와 같고, 그래프는 그림 3과 같다.

$$\begin{aligned}
 f_{db}(x) & \quad (4) \\
 &= 100\left(x - \frac{\pi}{2} + 0.1\right)^2 - 1, \left(\frac{\pi}{2} \leq x < \frac{\pi}{2} + 1\right) \\
 &= -100\left(x + \frac{\pi}{2} - 0.1\right)^2 - 1, \left(-1 - \frac{\pi}{2} \leq x < -\frac{\pi}{2}\right) \\
 &= 0.3\sin\left(\frac{360}{3}x\right), \left(-\frac{\pi}{2} < x < \frac{\pi}{2}\right)
 \end{aligned}$$

3.1.4 Detent Gradation

일정한 간격의 노치가 있고, 점점 힘의 크기가 커지다가 작아지는 함수로, 주기가 2π 인 주기함수이다. 이 햅틱 효과는 힘의 크기가 커지면 소리의 크기도 커지는 효과를 넣어 직관적인 느낌을 가능하게 하였다.

함수는 식(5)와 같이 표현되고, 그림 3과 같은 그래프가 된다.

$$\begin{aligned}
 f_{dg}(x) & \quad (5) \\
 &= \frac{x}{2} \sin\left(\frac{360}{5}x\right), (0 \leq x < \pi) \\
 &= \frac{2\pi - x}{x} \sin\left(\frac{360}{5}x\right), (\pi \leq x < 2\pi)
 \end{aligned}$$

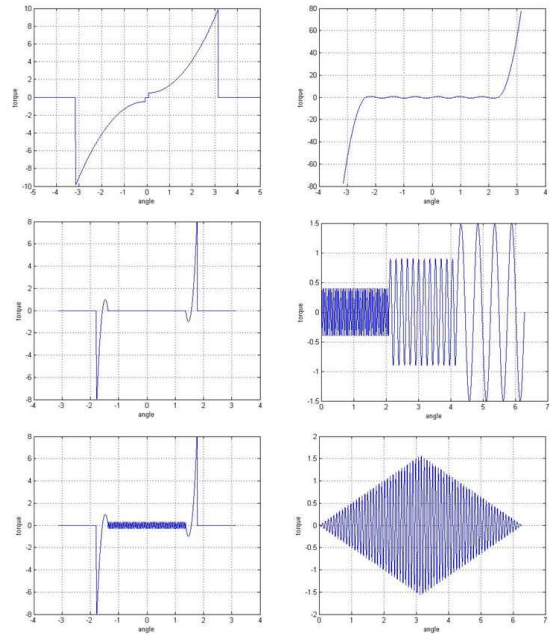


그림 3. 햅틱 효과별 적용 토크 함수 그래프 (좌측상단에서 우측으로 Jog Dial, BMW iDrive, Barrier, 3 Step Detents, Detent and Barrier, Detent Gradation, DC모터를 구동하기 위해서 (+), (-)의 전압을 각각 걸어주어 전류를 흐르게 함. 위 그래프는 (+)에 해당하는 부분만 도시화한 것임. X축은 라디언으로 표현된 각도. Y축은 절대적인 토크의 크기가 아니라 상대적인 값.)

3.2 GUI부

GUI부는 두 부분으로 나뉜다. 디자인된 햅틱 효과를 선택하고, 간단한 편집이 가능한 부분과 시각적으로 다이얼의 위치 정보와 햅틱 효과에 따른 파형을 나타내는 부분이 있다 (그림 4).

제한된 시스템은 디자인된 햅틱 효과의 축각 정보를 시각적으로 제공하는 것뿐만 아니라 햅틱 효과의 세기에 따른 정량화된 사운드를 제공함으로써 청각 정보를 동시에 제공

한다. 이를 통해 사용자는 더 실감나는 햅틱 효과를 얻을 수 있다.

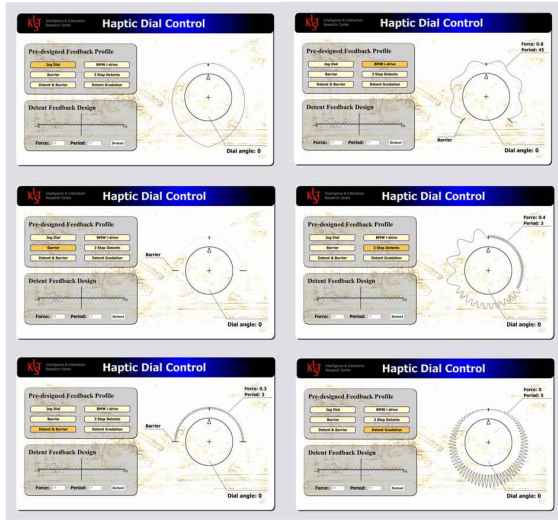


그림 4. 햅틱 효과 제어 GUI환경 (좌측상단에서 우측으로 Jog Dial, BMW iDrive, Barrier, 3 Step Detents, Detent and Barrier, Detent Gradation)

4. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 사용자 인터페이스에 다양한 촉감을 제공하기 위한 프로파일을 디자인하고, 기존의 시스템보다 보다 안정적이고 다양한 느낌을 제공하는 시스템을 제안하였다. 힘의 크기와 간격을 조절하고, 다이얼 노브의 크기를 변화시켜 좀 더 다양한 햅틱 효과를 빠르게 디자인 할 수 있다.

현 시스템은 1 DOF(Degree of Freedom, 자유도)의 다이얼이지만 향후 버튼 기능을 추가하여 자유도를 증가시킬 것이며, 모터부의 시스템 업그레이드를 통해서 제어 속도를 증가시킬 것이다. 현재 개발된 시스템을 이용해서 다양한 응용 프로그램을 개발하고자 하며, 힘의 방향 전환을 통한 햅틱 슬라이드와 같은 새로운 디바이스에 대한 연구를 진행할 것이다.

또한, 사용자 평가를 통해, 사용자가 좀 더 편안하고, 감각적인 햅틱 효과를 개발할 것이다(그림 5).



그림 5. 햅틱 다이얼 시스템 사용화면

참고문헌

- [1] 한만철, 김래현, 신상균, 박세형, 조현철, "실감 가상시작을 위한 햅틱 다이얼 시스템", 한국 HCI2008 학술대회, 2008
- [2] TouchSense² Rotary
<http://www.immersion.com>
- [3] BMW iDrive Controller
http://www.bmw.com/com/en/insights/technology/technology_guide/articles/idrive.html
- [4] Mircea Badescu, Charles Wampler and Constantinos Mavroidis, "Rotary Haptic Knob for Vehicular Instrument Controls", Haptics'02, Haptic Interfaces For Virtual Envir & Teleoperator Systs, 2002
- [5] Karon E. MacLean, "Designing with Haptic Feedback" ICRA 2000, Symposium on Haptic Feedback in the Proc. of IEEE Robotics and Automation, pp.22-28, 2000
- [6] Laehyun Kim, Manchul Han, Sang Kyun Shin, Se Hyung Park, "A Haptic Dial System for Multimodal Prototyping", ICAT 2008 Japan, 2008
- [7] 착용형 컴퓨터를 위한 햅틱 기술 동향, 전자통신동향분석 제20권 제5호 2005년 10월