
실감 가상시작을 위한 햅틱 다이얼 시스템

A Haptic Dial System for Virtual Prototyping

한만철, Manchul Han*, 김래현, Laehyun Kim**, 신상균, Sang Kyun Shin**
박세형, Sehyung Park**, 조현철, Hyunchul Cho**

요약 기존의 가상 시작품은 3D 그래픽스를 이용하여 모델링된 제품 영상을 제공하였다. 이러한 가상 시작품은 단지 전통적인 입력 장치인 키보드와 마우스를 이용하여 다룰 수 있을 뿐, 조작부를 사용자가 직접 만져보고 조작하는 것은 불가능했다. 본 논문에서는 사용자가 실제 제품을 조작하는 듯한 느낌을 얻을 수 있도록 하는, 실감가상시작을 위한 햅틱 다이얼을 시스템을 제안한다. 햅틱 다이얼은 모터를 통해 사용자가 실제의 기계적인 다이얼과 유사한 감을 느낄 수 있도록 제어된다. 또한, 사용자가 다이얼을 조작하는 정보는 시스템에 입력되어 가상시작품이 작동하는 모습을 화면상에서 확인할 수 있도록 하였다. 이러한 실감 가상시작 시스템은 사용자 피드백을 통해, 설계 프로세스 초기 단계에서부터 제품 인터페이스를 디자인할 수 있도록 도움을 줄 것이다.

Abstract A virtual prototyping (VP) system provides realistic 3D images of product. A virtual prototype, however, can only be operated using traditional input device like keyboards or mice and cannot present physical interface of the product. This paper describes a haptic dial system for virtual prototyping, which integrates haptic effects with virtual user interface to facilitate product development. A user can interface the virtual prototype with the motor-driven haptic dial with feeling like operating mechanical dial. This system will help product designers sketch user interfaces during the whole stage of product design.

핵심어: *Virtual Prototyping, Haptic Dial*

1. 서론

제품의 주기가 짧아지고, 그에 따라 개발부터 출시까지의 기간을 단축해야만 하는 것은 당연한 것이 된 지 오래이다. 이러한 기간 단축을 위해 제품 개발 프로세스도 점차 짧아지고 있고, 시작품(Prototype)을 빠르고 정확하게 만드는 것이 요구된다. 이를 위해 쾌속 조형기술(Rapid Prototyping: RP)이 발전하였으나 신뢰도가 낮고 기능의 구현이 힘든 등 문제점이 많이 발견되었다.[1]

최근에는 CAD 시스템의 발전과 더불어 새로운 제품의 개발 프로세스가 대부분 가상 환경에서 이루어지고 있기 때문에, 이러한 데이터를 이용하여 가상 시작품을 만드는 추세이다.

이러한 단점을 해결하기 위한 노력의 일환으로, 그리고 컴퓨터 하드웨어의 비약적인 발전을 바탕으로 다양한 가상

시작(virtual prototyping)에 대한 연구가 이루어졌다. 특히나 CAD 시스템의 발전과 더불어 새로운 제품의 개발 프로세스가 대부분 가상 환경에서 이루어지기 때문에, 이러한 경향은 가속화되었다.

이러한 가상시작품은 3D 그래픽스를 이용하여 정밀하게 제작된다. 가상시작품이 시작품 분류상에서 어느 위치를 차지하는지에 대해 알아보기 위해 Bjelland[2]의 시작품 분류를 예로 들면, 그는 시작품을 다음과 같은 축으로 분류하였다.

- 실제 (Physical) ↔ 가상 (Virtual)
- 저 재현성 (Low Fidelity) ↔ 고 재현성 (High Fidelity)
- 수직적 (Vertical) ↔ 수평적 (Horizontal)
- 예비적 (Exploratory) ↔ 경험적 (Experimental)
- 낮은 사용자 관련성 (Low User Involvement) ↔ 높은 사용자 관련성 (High User Involvement)

본 논문은 2007년 한국과학기술연구원 실감공간기술개발 프로젝트의 일환으로 연구되었음.

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

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

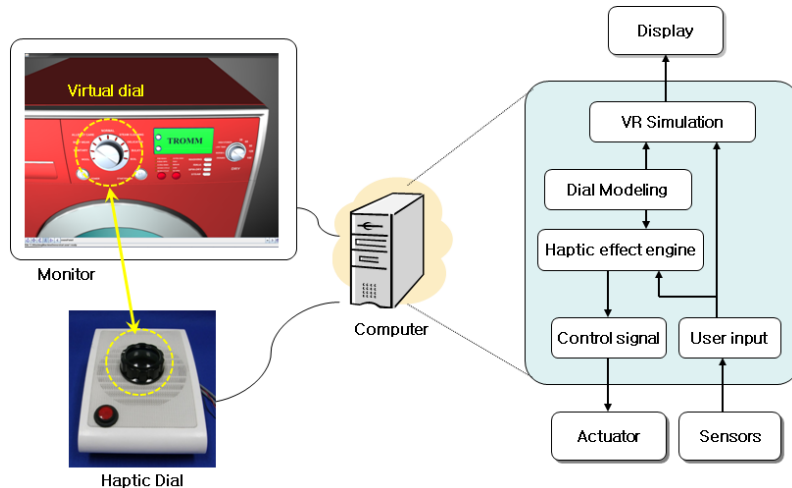


그림 1. 실감가상시작 시스템의 구성

이러한 분류 상에서, 가상시작품은 제품의 다양한 정보를 토대로 기능을 보여줄 수 있으므로, 높은 재현성을 가지고 있다고 할 수 있다. 또한 완제품의 대부분의 특징을 보여줄 수 있으므로 수평적이거나, 그 특징들에 대해 자세하게 표현하고 있다는 점에서 수직적이기도 하다. 그리고 개발 프로세스 전 과정에 걸쳐서 가상시작품이 사용될 수 있기 때문에 예비적이지만 경험적인 시작품을 제공할 수 있다는 점에서 가상시작품의 장점이 드러난다.

하지만 이러한 가상시작품의 사용자 연관성에 대해서는 논의가 필요하다. 가상시작품을 통해 제품 개발자는 제품에 대한 직관을 얻고, 이러한 직관을 통해, 또는 실험을 통해 인간공학적인 디자인을 적용할 수 있다는 점에 있어서는 사용자 연관성이 높다고 생각할 수도 있을 것이다. 하지만 가상시작품은 그 태생적 한계 때문에 사용자 인터페이스에 대해 실험하는 것이 매우 어렵다. 특히, 사용자 인터페이스 중 촉각에 관련된 부분은 가상시작품에서 전혀 제공할 수 없는 부분이다.

최근 컴퓨팅 능력이 기하급수적으로 상승하면서 복잡해지기는 전자제품들을 사용자가 좀 더 쉽게 제어할 수 있도록 하기 위해 이러한 촉각에 대한 연구가 활발해지고 있다. 촉각을 통해서서는 다른 감각에 비해 다양한 - 힘, 재질, 온도, 축축한 정도 등 - 정보를 전달할 수 있고, 정보 전달 방향도 한 쪽이 아니라 쌍방향(bidirectional)이라는 장점이 있다.[3] 이러한 장점을 가상시작에서도 차용해야 사용자를 좀 더 고려한 시작품을 제작할 수 있을 것이다.

이 논문에서는 햅틱(haptics) 장치를 이용하여 이러한 가상시작품의 촉각 인터페이스를 재현하는 시스템을 제안한다. 전자적으로 제어되는 햅틱 장치를 이용하여 효과적인 촉각 인터페이스를 설계하고, 이는 기계적으로 구동하는 실제 제품의 인터페이스에 그대로 적용될 수 있다.

다음의 2장에서는 제안하는 실감가상시작시스템의 전체적인 구성을 나타내고, 3장에서 제작한 실감가상시작을 위한 햅틱 다이얼 시스템에 대한 상세한 구조를 보이도록 한다.

2. 실감가상시작 시스템

실감가상시작 시스템은 3D CAD로 제품의 형태 및 기능을 구현하고, 이를 VRML을 통해 Xj3D 뷰어를 이용하여 가상시작품을 나타내며, 여기에 MFC로 제어되는 햅틱 모듈이 부착된 형태이다. 이를 위해 소프트웨어가 구동되는 PC, 가상시작품을 보여 줄 시각 정보 출력 장치(모니터 혹은 HMD 등), 그리고 햅틱 디바이스(햅틱 다이얼, PHANTOM² [4] 등)가 결합된 형태의 시스템이 필요하다.

사용자는 모니터와 같은 정보 출력 장치에서 3D로 모델링된 가상시작품을 확인하고, 가상시작품의 인터페이스 부를 햅틱 장치를 이용하여 조작하게 된다. 센서가 사용자의 입력을 감지하면 그에 따라 화면의 가상시작품이 반응하게 된다. 이 때 햅틱 효과 엔진에서는 사용자 입력에 맞는 햅틱 효과를 주도록 시그널을 보내고, 액추에이터에서 이 시그널을 받아 햅틱 다이얼을 적절하게 제어하여 사용자로 하여금 자신의 입력에 대한 반응을 느낄 수 있도록 한다. 전체적인 시스템의 구성은 그림 1에서 확인할 수 있다.

3. 실감가상시작을 위한 햅틱 다이얼 시스템: 세탁기 인터페이스를 대상으로

효과적인 햅틱 장치를 설계하고 사용하기 위해서는 우선 햅틱 장치가 필요하고 효율적으로 적용될 수 있는 분야를 설정한 후 하향식으로(Top-down) 장치를 설계하는 것이 유용하다. [5] 이 논문에서는 우리 주변에서 흔히 볼 수 있는 드럼식 세탁기를 대상으로 연구를 진행하였다.

3.1 햅틱 다이얼

최근 출시되는 세탁기의 사용자 인터페이스는 크게 다이얼, 버튼, LCD화면으로 구성되어 있다. 다양한 세탁 모드 및 작동 시간은 메인 다이얼 및 보조 다이얼을 통해 설정되고, 버튼이 이를 보조하는 역할을 한다.

이러한 세탁기의 다이얼 및 버튼은 기계적으로 촉감을 줄 수 있도록 설계되어 있다. 사용자는 끊어지는 느낌(detent)을 통해 자신이 몇 단계를 이동시켰는지 조작과 동시에 촉감으로 알 수 있게 된다. 그리고 다이얼이 장벽(barrier)에 막힌 느낌을 받았을 때, 한 방향으로 한계까지 다이얼을 돌렸다는 것을 알 수 있다. 이러한 간단한 1-DOF (Degree-of-freedom) 형태의 다이얼로도 여러 가지 햅틱 효과를 통해 사용자에게 정보를 줄 수 있다.

실감가상시작 시스템을 위한 햅틱 다이얼은 이러한 기계적인 촉감을 전자 제어를 통해 줄 수 있도록 설계되었다. 이를 위해 Maxon사의 DC모터와 PCU(Positioning Control Unit)을 활용하였다. Intel CPU 기반의 Windows XP 환경에서 햅틱 다이얼이 제어되고, 이들 사이는 CAN(Controller Area Network)통신을 이용하여 데이터 전송이 이루어진다. 다음 표 1에 햅틱 다이얼을 구성하는 DC모터와 PCU의 사양을, 표 2에 햅틱 다이얼의 사양을, 그림 2에 제작된 햅틱 다이얼의 사진을 나타내었다.



그림 2. 햅틱 다이얼

표 1. Haptic Dial을 구성하는 Motor와 PCU

	DC Motor		Positioning Control Units	
모델명	Maxon DC Motor RE25		EPOS 24/5	
사양	Power Rate	20 W	Counters per turn	1000
	Nominal Voltage	24.0 V		
	Stall Torque	243 mNm	Number of Channel	3
	Max. Continuous Torque	26.1 mNm		
Torque Constant	23.4 mNm/A	Max. Operating Frequency	200 kHz	

표 2. Haptic Dial Module의 사양

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

햅틱 다이얼은 프로그래밍이 가능한 API를 통해 MFC로 제어된다. 이 때 다음과 같은 네 가지 파라미터가 사용된다.

1. 위치(qc): EPOS에서 제공하는 위치 단위로, 1회전당 4000qc로 정의된다.
2. 최고 속도(qc/sec): 모터의 회전 속도 제어를 통해 토크에 영향을 준다.
3. 가속도(qc/sec²): 지정된 위치로의 순간적인 가속 이동에 관여하고, 토크에는 이후 아주 작은 영향을 준다.
4. 감속도(qc/sec²): 가속도와 거의 같고, 감속 이동에 관여한다.

인간의 촉감을 통해 연속적인 힘을 느끼기 위해서는 1kHz정도의 빠른, 그리고 안정적인 DC 모터 제어가 필요하기 때문에 PID (Proportional, Integrate, Derivative) 제어가 사용되었다.

실제 기계적인 다이얼의 다양한 촉감 효과가 햅틱 다이얼에서 표현되어야 한다. 햅틱 다이얼에서는 다음과 같은 햅틱 이펙트를 표현할 수 있게 하였다.

- 연속적인 힘(Continuous Force): 마찰(friction), 모멘텀(Momentum)
- 끊어지는 힘(Detent): 톱니들 중 선택하는 것과 같은 느낌
- 장벽(Barrier): 최소, 최대 경계 부분
- 스프링, 완충(damper) 등

그림 3에 제작된 햅틱 다이얼의 제어 소프트웨어 화면을 나타내었다. 햅틱 이펙트를 결정하고 그 파라미터를 결정하며, 현재의 모터 위치를 확인하는 기능 등이 존재한다.

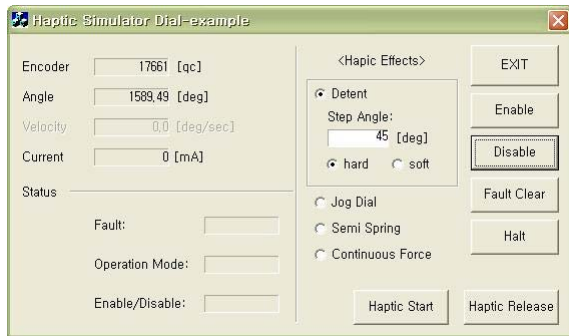


그림 3. 햅틱 다이얼 제어 소프트웨어

3.2 VRML과 Xj3D를 이용한 가상시작

실감가상시작 시스템에서 가장 중요한 기능 중 하나는 3D로 제품을 디자인하고, 각 기능을 구현해 보는 것이다. 세탁기의 가상시작품을 위해 제조사에서 제공한 UG CAD 파일을 이용하였다. CAD 파일에는 실제 제품의 치수 관련 데이터가 모두 담겨 있으므로, 쉽게 3D로 이를 추출하여 모델링하는 것이 가능하다.

3D 모델링은 VRML(Virtual Reality Modeling Language)을 이용하여, Xj3D 브라우저에서 가상시작품을 조작할 수 있도록 하였다. 전원 버튼, 기능 선택 다이얼 등의 사용자 인터페이스를 조작했을 시 가상시작품의 LCD에 현재 선택된 기능 정보가 나타나고(시각), 소리를 통해 실감을 더하였으며(청각), 이에 연결된 햅틱 다이얼을 통해 사용자는 느낌을 받을 수 있게 된다(촉각).

다음 그림 4에 브라우저에 로드된 가상시작품을 나타내었다. 그림 5는 가상시작품을 조작했을 때 나타나는 LCD화면을 확인할 수 있다.



그림 4. Xj3D 브라우저상의 가상시작품

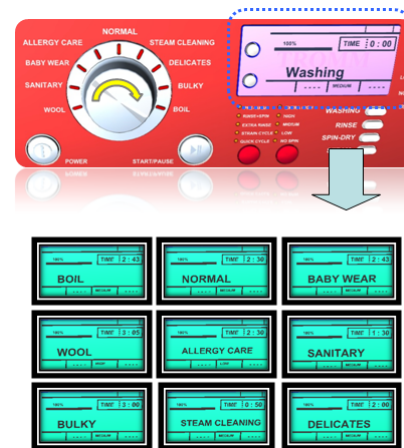


그림 5. 가상시작품의 조작에 따른 변화

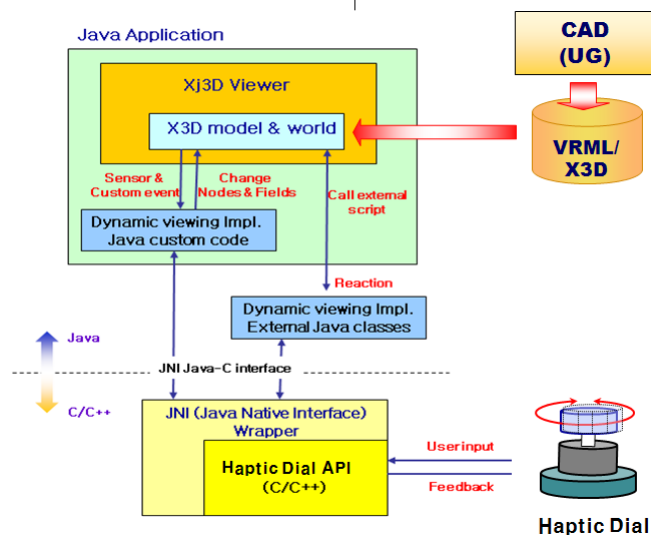


그림 6. 실감가상시작을 위한 햅틱 다이얼 시스템 전체 구성

3.3 소프트웨어 인터페이스

그림 6은 실감가상시작을 위한 햅틱 다이얼 시스템의 전체적인 소프트웨어 구성을 나타낸다. UG CAD로 제작된 설계 도면으로부터 VRML 파일이 생성되고, 이는 Xj3D 뷰어를 통해 디스플레이된다. 햅틱 다이얼의 API는 C++을 통해 구현되어 있기 때문에, 그 제어를 위해 MFC가 사용되었다. 그리고 JAVA기반의 뷰어와 C 기반의 제어 모듈 사이의 인터페이스를 위해 JNI Java-C Interface가 활용된다.

완성된 시스템의 실제 사진을 다음 그림 7에 나타내었다. 좀 더 나은 실재감을 주기 위해 실제 세탁기의 사용자 인터페이스 부분 패널을 덧씌워서 조작할 수 있게 하였다. 사용자는 상황에 맞는 다이얼을 햅틱 다이얼에 연결하여, 화면상의 가상시작품을 실제 조작하는 것과 같은 느낌을 받을 수 있다. 덧붙여 다이얼로 메뉴를 선택하거나 세탁을 수행하도록 버튼을 눌렀을 때 실제와 같은 소리로 청각적인 정보를 제공하여 마치 실제 제품을 조작하는 것처럼 느낄 수 있도록 하였다.

4. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 새로운 제품을 디자인하는 사용자가 가상으로 시작품을 제작하고, 사용자 인터페이스에 어떠한 촉감을 줄 것인지에 대해 쉽게 디자인하고 확인해볼 수 있는 실감 가상시작을 위한 시스템을 제안하였다. 이 중 다이얼 및 버튼으로 이루어진 인터페이스에 특화된 햅틱 다이얼 시스템의 구조 및 실제 완성된 형태를 제시하였다. 간단한 1-DOF의 다이얼에 대해 이러한 햅틱 효과를 디자인하고 실제 기계적인 다이얼의 움직임과 매핑하는 것만으로도 제품

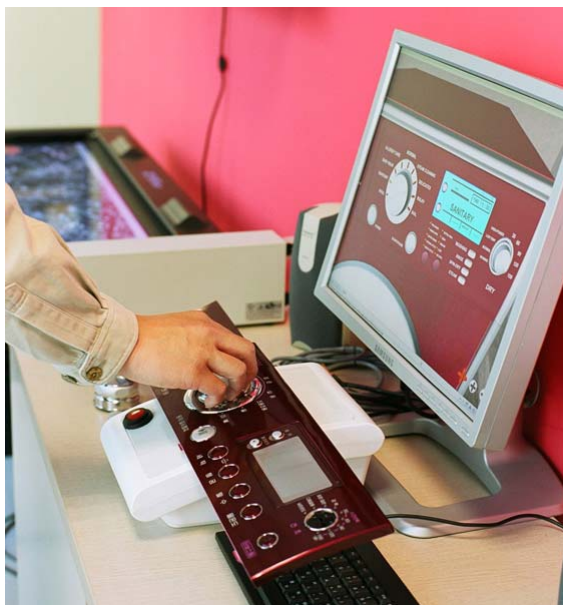


그림 8. 실감 가상시작을 위한 햅틱 다이얼 시스템

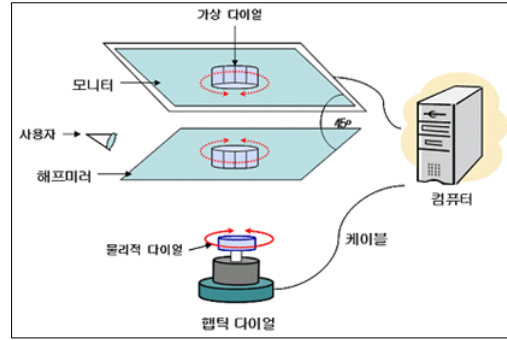


그림 7. 멀티모달 워크벤치 구성도

디자인시에 좀 더 많은 정보를 얻을 수 있을 것으로 생각된다.

향후에는 다이얼 외의 자주 사용되는 입력 장치 - 버튼, 슬라이더, 조이스틱 등 - 에 대응하는 햅틱 입력 모듈의 제작과 관련한 연구가 진행될 것이다. 또한, 그림 8과 같은 멀티모달 워크벤치[6]를 사용하여 증강현실(Augmented Reality)을 통한 일체화된 정보를 사용자에게 제공할 수 있도록 하는 연구가 진행될 것이다.

참고문헌

- [1] F. Zorriassatine, C. Wykes, R. Parkin, and N. Gindy, "A survey of virtual prototyping techniques for mechanical product development" Proc IMechE, Part B: Journal of Engineering Manufacture, Vol. 217, No. 4, Professional Engineering Publishing, pp. 513-530, 2003.
- [2] Hans V. Bjelland, and Kristian Tangeland, "User-Centered Design Proposals for Prototyping Haptic User Interfaces" Lecture Notes in Computer Science, Vol. 4813, Springer, pp. 110-120, 2007
- [3] Karon E. MacLean, and Jayne B. Roderick, "Smart Tangible Displays in the Everyday World: A Haptic Door Knob" Proc. of Advanced Intelligent Mechatronics (AIM'99), IEEE/ASME, pp.203-208, 1999
- [4] Phantom², SensAble Technologies, <http://www.sensable.com/>
- [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, Se Hyung Park, "Haptic interaction and volume modeling techniques for realistic dental simulation" The Visual Computer, Vol. 22, No. 2, Springer, pp. 90-98, 2006.