
촉각 기반 윈도우 인터페이스

Manipulation of the Windows Interface Based on Haptic Feedback

이준영, Jun-Young Lee*, 경기욱, Ki-Uk Kyung**, 박준석, Junseok Park***
한국전자통신연구원 차세대 PC 연구그룹

요약 본 논문에서는 터치스크린이 장착된 윈도우 시스템에서 촉각 피드백을 사용해 윈도우 인터페이스와 상호작용하는 방법 및 체계를 제안한다. 사용자가 터치 스크린을 통해 윈도우 인터페이스와 상호작용할 때 발생하는 주요 이벤트는 윈도우 인터페이스 메시지 필터(Windows Interface Message Filter: WIMF)에 의해 감지되고, 촉각 정보 제공기(Haptic Information Provider: HIP)를 통해 적절한 촉각 정보로 변환되어 본 연구에서 제안한 스타일러스형 햅틱 인터페이스를 통해 사용자에게 촉각 자극을 전달한다. 본 연구에서는 윈도우 환경의 주요한 조작 방법인 버튼 클릭, 메뉴 선택 및 팝업, 창/아이콘 선택 및 끌어놓기(drag & drop), 스크롤에 대하여 촉각 피드백을 구현하였다. 피험자 실험결과 촉각 피드백은 상호작용하는 인터페이스 객체가 선택되었는지에 대한 사용자의 직관을 증대시켰으며, 인터페이스 객체의 위치 및 크기 조절 시 인터페이스의 정교한 조작을 도와 사용성을 증대시켰다.

Abstract In this paper, we suggest a haptic interface and a framework of interaction with haptic feedback based Windows graphical user interface (GUI) in a computing device with touch screen. The events that occur during a user interacts with Windows interfaces through a touch screen are filtered out by the Windows Interface Message Filter (WIMF) and converted into appropriate haptic feedback information by the Haptic Information Provider (HIP). The haptic information are conveyed to users through a stylus-like haptic interface interacting with a touch screen. Major Windows interaction schemes including button click, menu selection/pop-up, window selection/movement, icon selection/drag & drop and scroll have been implemented and user tests show the improved usability since the haptic feedback helps intuition and precise manipulation.

핵심어: *Haptic, Tactile feedback, Windows Interface, Touch Screen, Haptic Stylus*

*주저자 : 한국전자통신연구원 연구원; e-mail: dozob@etri.re.kr

**교신저자: 한국전자통신연구원 선임연구원; e-mail: kyungku@etri.re.kr

***공동저자 : 한국전자통신연구원 책임연구원; e-mail: parkjs@etri.re.kr

1. 서론

IT 기술이 발전하면서 다양한 모바일 장치들이 개발되고 있다. 이러한 모바일 장치들은 멀티미디어를 위한 성능이 강조되면서 넓은 화면과 고해상도가 요구되었으며, 휴대성이 강조되면서 작고 사용하기 쉬운 인터페이스가 필요하게 되었다. 소형화된 모바일 장치에서 크기의 대부분을 차지한 고해상도 스크린은 장치를 조작하기 위한 거의 대부분의 인터페이스를 떠맡기 위해 터치스크린으로 교체되었다. 시장조사기관인 아이서플라이(iSuppli)는 터치스크린의 전세계 시장 규모가 2007년 24억 달러에서 2012년 44억 달러로 성장할 것이라 예상했으며, 터치스크린의 비용 절감과 유저 인터페이스의 향상에 따라 2012년까지 세계 휴대전화의 40% 가량이 터치스크린을 채택할 것이라고 전망했다[1].

터치스크린의 사용은 인터페이스의 일원화라는 편리함을 제공하지만 조작의 불편함을 초래하는 문제가 발견된다. 터치스크린 조작의 정확성과 용이성을 위해 펜과 같은 모양의 스타일러스(Stylus) 등이 일반적으로 사용되고 있다. 고해상도 터치스크린 상에서 작은 인터페이스를 사용하기 위해 손을 사용하다 보면 접촉점이 손에 가려져 정교한 조작이 어려워지며, 실제 색이 재현되는 표면과 사용자가 접촉하는 표면 사이에 압력 감지 센서나 강화 유리 등의 두께로 보는 시각에 따라 접촉점과 커서가 어긋나 보이는 것을 쉽게 경험할 수 있다. 이러한 문제를 개선하기 위해 최근 터치스크린들은 얇은 필름 형태의 감압방식을 채택하거나 스타일러스가 터치스크린 표면에 직접 닿지 않더라도 일정 거리 내에서 그 위치에 반응하는 전자감응 방식(Active Digitizer) 등을 사용하고 있다. 하지만 이러한 기술적 개선에도 불구하고 근본적으로 해결되지 않는 문제는 거의 모든 사용자 인터페이스가 갖고 있던 물리적 피드백의 부재라 할 수 있다. 현재 사용되는 대부분의 사용자 인터페이스들은 시각 효과를 통해 인터페이스의 물리적 특성을 모사하고 있지만, 이로 인해 시각 피드백의 의존도가 높아져 사용자의 주의력을 크게 요구하게 되었다. 기존 물리적 인터페이스의 경우 사용자들은 촉각의 사용으로 직관적인 피드백을 통해 정확한 사용이 가능했으며, 현재 상황의 주의력을 분산시키지 않고 인터페이스를 조작하는 것이 가능했다. 이러한 관점에서 터치스크린 상의 인터페이스와 상호작용 시 촉각 피드백을 제공하는 다양한 연구가 진행되었다.

Fukumoto 등은 PDA의 뒷면에 소형 진동기를 달아 촉각 피드백을 전달하는 “Active Click”이라는 것을 개발했으며, 간단한 계산기 작업을 통해 이를 평가하고 정확도를 높이는 결과를 얻었다[2]. 보다 최근의 연구로서 Poupyrev 등은 piezoceramic 필름을 여러 겹 붙여 만든 소형 구동기(actuator)를 제작하고 소형 터치스크린 아래 부착하여 촉각 피드백을 제공하는 TouchEngine을 개발하였고[3], 이를 사용해 모바일 장치의 터치스크린 상의 동작(gesture) 구조에 따른 촉각 피드백을 제안하였다[4]. 이후 촉각 펜 컴퓨터의 디자인을

제안하고 기존 상용 태블릿 펜의 기능에 촉각 피드백을 추가하는 방향과 전략을 제시하였다[5]. 또한 Immersion, Nokia 등의 기업은 터치스크린 내부에 구동기를 내장하여 버튼을 누르는 느낌을 재현하였다[8]. 그러나 기존의 연구개발결과들은 장치 내부에 구동기를 내장하므로 장치의 촉각 출력이 충분히 커야 하며, 스크린의 크기가 클수록 적용이 어렵다. 또한 단말기 내부에 설치해야 하므로 회로적, 공정적 관점에서 새로운 노력을 요구한다. 이와는 다른 방향으로 Lee 등은 스타일러스 기반 터치스크린에서 스타일러스를 통해 촉각을 전달하는 “Haptic Pen”을 개발하였다[6]. Haptic Pen은 압력 센서와 솔레노이드를 사용해 접촉점에서 촉각 피드백이 가능한 구조를 가졌다. 하지만 구동기의 크기와 전력소모 문제로 인해 휴대성의 문제가 남아있었다. 이와 비슷한 연구로 Kyung 등은 진동촉각 외에 점자 표현이 가능한 소형 모듈을 내장한 Ubi-Pen을 개발하였는데[7], 본 논문에서는 기존 Ubi-Pen에 휴대성 문제와 재현하는 자극의 특성을 개선한 wUbi-Pen을 개발하였으며, 윈도우 활용의 전반을 포함한 새로운 응용 프레임워크를 제안코자 하였다.

본 논문에서는 윈도우 인터페이스와 상호작용 시 햅틱 스타일러스를 통해 촉각 피드백을 제공함으로써 터치스크린을 사용할 때 발생하는 모호성을 감소시키고 정확한 조작이 가능하도록 돕는 촉각 기반 윈도우 인터페이스를 제안한다. 다음 2 장에서는 본 논문에서 제안하는 촉각 기반 윈도우 인터페이스에 대해 기술한다. 2.1 장에서는 본 논문에서 사용된 촉각 피드백을 제공하기 위한 햅틱 스타일러스와 제공되는 촉각 피드백의 종류에 대해 기술한다. 2.2 장에서는 햅틱 스타일러스를 사용하기 위해 제공하는 API에 대해 설명하며, 2.3 장에서는 실제 윈도우 인터페이스 상호작용에 적용하여 구현된 기능들에 대해 기술한다. 3 장에서는 본 연구를 통해 개발된 촉각 기반 윈도우 인터페이스에 대한 사용자 평가를 서술하고, 마지막 4 장에서 본 논문의 결론 및 향후 연구에 대해 논의한다.

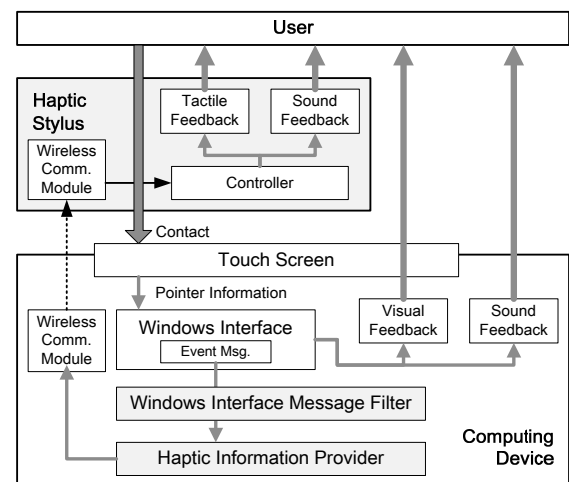


그림 1 촉각 기반 윈도우 인터페이스 시스템 프레임워크

2. 촉각 기반 윈도우 인터페이스

본 논문의 촉각 기반 윈도우 인터페이스 시스템의 구성은 그림 1 과 같다. 사용자는 터치스크린 상에서 햅틱 스타일러스를 쥐고 윈도우 인터페이스와 상호작용한다. 이때 발생하는 인터페이스의 주요 이벤트는 윈도우 인터페이스 메시지 필터(Windows Interface Message Filter: WIMF)를 통해 감지되고, 촉각 피드백을 제공하기 위해 햅틱 정보 제공기(Haptic Information Provider: HIP)로 전달된다. HIP에서는 전달된 주요 이벤트를 분석하고 적절한 촉각 피드백 정보를 생성하여 햅틱 스타일러스로 전송한다.

기존 윈도우 인터페이스는 기본적으로 시청각 피드백을 제공한다. 햅틱 스타일러스에서 제공하는 청각 피드백은 실제 접촉 지점에서 발생하는 촉각에 대한 청각 피드백을 위한 것으로 기본적으로 제공되는 청각 피드백과 구분된다.

2.1 햅틱 스타일러스 및 촉각 피드백

본 논문에서 사용한 햅틱 스타일러스는 기존 Kyung 등이 개발한 Ubi-Pen 의 진보된 모델인 wUbi-Pen 이다[7]. wUbi-Pen 은 배터리를 내장하고 블루투스를 통해 무선으로 연결되는 휴대형 햅틱 인터페이스 장치이며, 촉각 피드백을 제공하기 위해 선형 진동기(Impact generator)와 진동모터(Vibration motor)를 사용하고 스피커를 내장해 촉각뿐만 아니라 청각 상호작용이 가능하도록 설계되어있다. 그림 2 는 wUbi-Pen 과 그 내부 모듈을 보여준다.

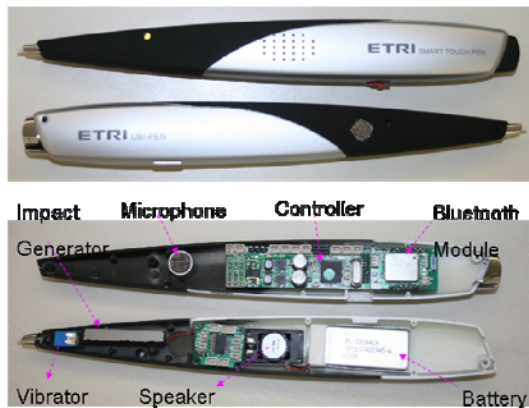


그림 2 wUbi-Pen 및 내부모듈

wUbi-Pen 은 일반적으로 진동 촉각을 생성하는 데 사용하는 진동모터 외에 자기장을 이용하여 내부 질량체가 선형운동을 하는 선형 진동기를 포함한다. 선형 진동기는 HIGH/LOW 의 디지털 신호만으로 제어 가능하나 다양한 촉각 패턴을 생성하기 위해 PWM(Pulse Width Modulation)방식을 사용하였다. 이를 이용하여 기본적으로 재현 가능한 위, 아래 충격 및 충격 없는 내부 질량체 이동을 조합하여 10 가지 촉각 패턴을 생성하였다. 그림 3 은 질량체가 아래쪽에 위치한 경우 재현 가능한 5 가지 촉각 패턴에 대한 PWM 의 순환 비(duty ratio), 내부 질량체의 위치 및 충격량을 보여준다. 그림 3 의 (a)는 기본

충격에 대한 PWM 의 순환 비(duty ratio)와 그에 따른 내부 질량체의 이동을 나타낸다. 그림 3 의 (b)는 사용자가 충격을 인지할 수 없도록 PWM 의 순환 비를 점진적으로 변화시켜 내부 질량체의 위치를 이동시키는 것을 보이며, 앞의 (a)와 적절히 조합하여 (c), (d), (e)의 패턴을 생성하였다.

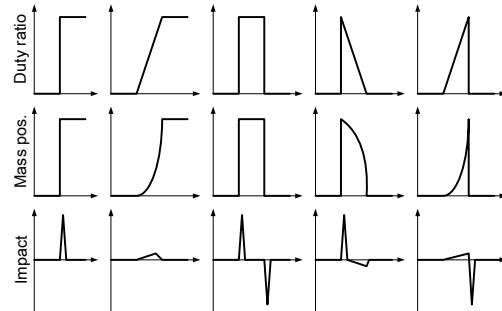


그림 3 선형 진동기를 사용한 촉각 패턴 종류

2.2 Haptic Information Provider API

본 논문에서는 윈도우 인터페이스와 상호작용시 햅틱 스타일러스를 통해 촉각 피드백을 제공하기 위한 API 를 설계하였다. 그림 4 는 촉각 피드백을 제공하는 API 의 사용에 대한 버튼을 누를 때의 예이다.

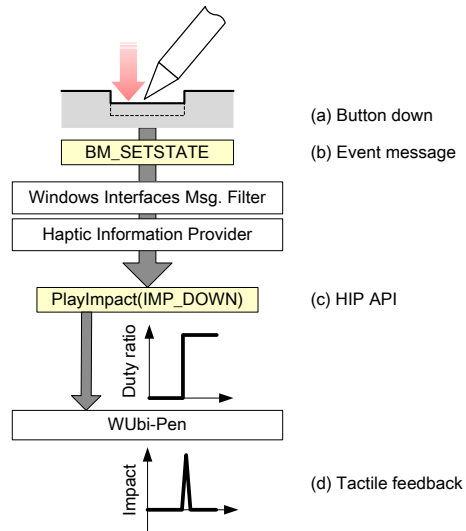


그림 4 버튼을 누를 때 촉각 피드백을 제공하는

API 사용 예

사용자가 터치 스크린 상에서 햅틱 스타일러스를 사용해 버튼을 누르면(그림 4. (a)) 윈도우 시스템에서 버튼의 상태 설정을 위한 BM_SETSTATE 이벤트가 발생하고(그림 4. (b)), 이 메시지는 WIMF 를 거쳐 HIP 에 전달된다. HIP에서는 촉각 피드백을 생성하기 위해 Haptic Information Provider API(HIP API)를 호출(그림 4. (c)), PWM 으로 제어되는 선형 진동기의 순환 비를 설정하고, wUbi-Pen 으로 전달된 순환 비는 실제 촉각 피드백으로 변환된다(그림 4. (d)).

현재 사용된 wUbi-Pen 의 기능을 중심으로 HIP API 는 선형 진동기 및 진동모터 제어 함수들을 포함한다. 촉각 피드백을 위한 두 모듈 모두 PWM 방식을 통해 제어되며, 표 1 은 선형 진동기, 표 2 는 진동모터 제어를 위한 API 를 보여준다.

표 1 선형 진동기 제어 API

Function	Description
BYTE GetMassPos()	선형 진동기 내부 질량체의 위치 반환
void SetMassPos(BYTE pos)	선형 진동기 내부 질량체의 위치 설정
void PlayImpact(UINT impactType)	정의된 촉각 패턴 재현

표 2 진동모터 제어 API

Function	Description
BYTE GetVibrIntensity()	진동모터의 진동 세기 반환
void SetVibrIntensity(BYTE intensity DWORD dwTime_ms)	진동모터의 진동 세기 및 유지 시간 설정
void GradualVibr(const int from, const int to, const int di, const int dt)	점진적인 진동 변화 재현 from: 시작 진동 세기, to: 최종 진동 세기 di: 진동 세기 변화량 dt: 진동 변화 시간 간격

2.3 윈도우 인터페이스 적용

윈도우 시스템을 사용하면서 가장 일반적으로 사용되는 사용자 인터페이스로 버튼, 메뉴, 아이콘, 스크롤 등이 있다. 본 논문에서는 이러한 윈도우 인터페이스에 다음과 같은 촉각 피드백을 추가하였다.

2.3.1 Button

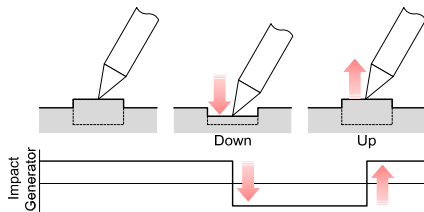


그림 5 버튼 클릭에 대한 촉각 피드백

버튼은 윈도우 인터페이스로써 가장 많이 사용되는 것 중 하나이며 촉각 피드백을 제공함으로써 가장 큰 효과를 볼 수 있는 인터페이스이기도 하다. 버튼은 사용자의 입력에 따라 Down/Up 의 두 가지 상태를 가질 수 있다.

그림 5 는 버튼 클릭에 대한 촉각 피드백을 보여준다. 물리적인 버튼을 생각해보면 버튼이 눌러지면서 변위가 최대로 일어나는 순간에 순간적으로 아래로 가해지는 충격을 느낄 수 있고 버튼에서 손을 떼는 순간에는 순간적으로 위로 가해지는 충격을 느낄 수 있다. 이러한 수직방향의 물리적인 충격을 재현하기 위해 선형 진동기를 사용한다.

2.3.2 Menu

버튼과 함께 윈도우 인터페이스로써 가장 많이 사용되는 것이 메뉴라 할 수 있다. 일반적으로 메뉴를 사용할 때는 상위 메뉴를 선택해 하위 메뉴 항목을 띄우고 해당 메뉴 항목을 바로 선택하거나, 터치스크린 표면에 스타일러스를 접촉한 상태 그대로 하위 메뉴 위를 지나 원하는 항목까지 이동해 선택하기도 한다. 이때 각 메뉴나 메뉴 항목의 특성에 맞는 촉각 피드백을 제공함으로써 사용성을 증대시킬 수 있다. 그림 6 는 후자의 경우로 메뉴 선택 시 제공되는 촉각 피드백의 예를 보여준다.

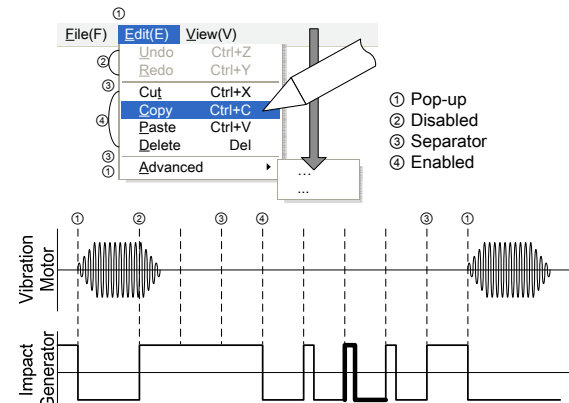


그림 6 메뉴 사용시 제공되는 촉각 피드백

최상위 메뉴 선택에 의해 하위 메뉴가 뜨거나 마우스 오른쪽 버튼을 통해 팝업 메뉴가 뜰 때는 진동모터를 사용해 새로운 메뉴 항목이 열리는 것을 알려준다(그림 6. ①). 비활성화 되어 있는 메뉴나 시각적으로 각 항목을 구분해 주는 구분자에 대해선 아무런 촉각 피드백을 제공하지 않으며(그림 6. ②, ③), 일반적인 항목에 대해선 버튼과 같이 선택 항목이 약간 들어가는 촉각 피드백을 제공한다(그림 6. ④).

2.3.3 Pick-up, drag & drop

포인터의 조작을 통해 위치나 크기를 조절할 수 있는 것들에 대해 많은 사용자들이 객체가 선택되었는지에 모호함을 느낀다. 이때 촉각 피드백이 제공된다면 사용자에게 직관적으로 알려주는 것이 가능해진다.

파일을 복사하거나 이동할 때 메뉴 사용 없이 가장 간단하게 할 수 있는 방법은 끌어놓기(drag & drop)이다. 그림 7 은 한 예로 아이콘을 선택해 끌어놓기를 할 때 제공되는 촉각 피드백을 보여준다.

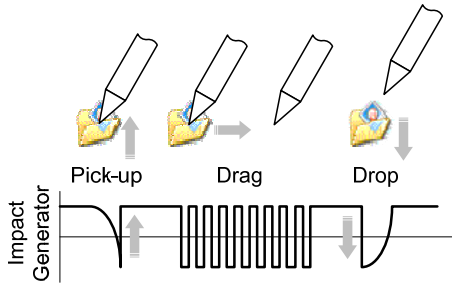


그림 7 아이콘의 Pick-up, drag & drop

사용자가 아이콘을 선택하면 자석처럼 햅틱 스타일러스에 붙는 듯한 느낌을 재현하기 위해 선형 진동기를 사용해 위쪽으로 충격을 준다. 이때 일반적인 대기 상태에서 선형 진동기의 질량체는 위쪽에 위치하므로 점진적으로 아래로 이동시킨 후 위쪽으로 충격을 발생시킨다. 사용자가 햅틱 스타일러스를 이동시키면 이동하는 이벤트가 발생할 때마다 촉각 피드백을 제공해 정교한 조작이 가능하도록 돕는다. 마지막으로 원하는 곳에서 햅틱 스타일러스를 떼면 아이콘이 떨어져 나간다는 느낌을 재현하기 위해 선형 진동기를 아래쪽으로 충돌시킨 후 다음 동작을 위해 질량체를 위로 점진적으로 이동시킨다.

아이콘 외에도 윈도우를 옮기거나 크기를 조절할 때, 스크롤바를 조작할 때 등에서도 동일한 촉각 피드백 제공 방법을 사용할 수 있었다. 스크롤바를 조작할 때는 수직/수평 스크롤바의 특성에 맞춰 수직/수평 성분의 커서 이동 속도를 계산해 촉각 피드백의 강도를 달리하는 방법을 사용했다.

2.3.4 알림

윈도우 인터페이스의 직관적인 반응 외에도 상태의 변화나 경고 등의 수단으로 촉각 피드백을 사용할 수 있다. 일반적인 모바일 환경에서는 주변의 소음으로 인해 청각 피드백이 제 효과를 발휘하지 못하는 경우가 많으며, 특정 알림 메시지를 확인하기 위해 모방일 기기에 시선을 집중하는 것은 매우 힘든 일이다. 이때 촉각 피드백은 직관적인 알림 기능을 효과적으로 제공한다.

가장 쉬운 예로 윈도우의 최소화, 최대화, 닫기 버튼을 눌러 발생하는 동작들에 대해 점진적인 진동촉각을 제공함으로써 시각적으로 확인하지 않고도 현재 사용자 입력에 대한 결과를 쉽게 알 수 있다.

3. 실험 및 평가

본 연구의 실험은 2007 차세대컴퓨팅산업전시회에서 일반인을 대상으로 수행되었다. 피실험자는 나이 6~65 세 사이의 162 명(남자 99 명, 여자 56 명, 무응답 7 명)을 대상으로 하였으며, 대략 5 분 정도의 설명을 듣고 직접 사용해 본 후 다음 설문에 응답하였다.

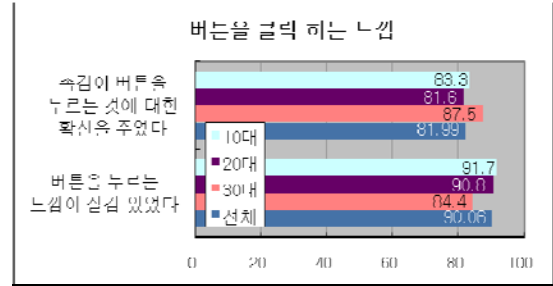


그림 8 버튼을 클릭하는 느낌에 대한 동의

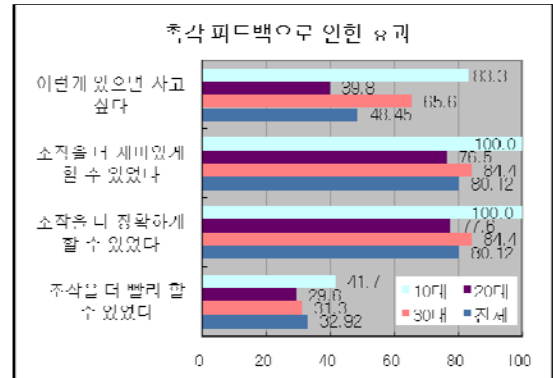


그림 9 촉각 피드백으로 인한 효과에 대한 동의

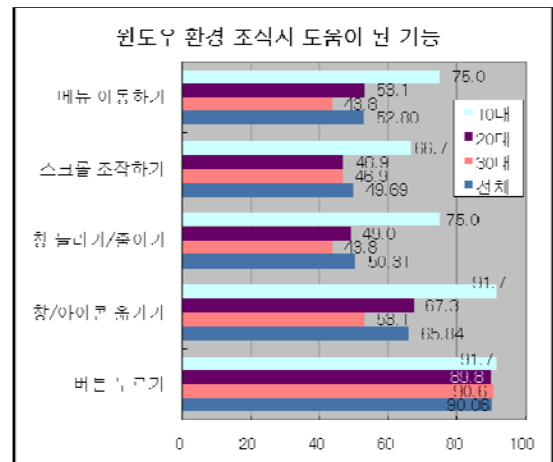


그림 10 윈도우 환경 조작시 도움이 된 기능에 대한 동의

그림 8 은 “버튼 클릭을 하는 느낌을 느낄 수 있었다면, 아래 내용 중 동의 하는 것에 ‘모두’ 표시해 주세요”란 항목의 연령별 응답 그래프이다. 연령대에 대한 차이는 거의 없으며 선형 진동기를 사용한 물리적인 충격 피드백이 버튼 클릭을 모사하는 데 기능적인 측면과 사실적인 측면 모두에서 효과적이었음을 확인할 수 있다.

그림 9 는 “촉감을 느낄 수 있었기 때문에 생기는 효과 중에 동의하는 것에 ‘모두’ 표시해 주세요”란 항목의 연령별 응답 그래프이다. 기술에 대한 상품성 질문에 10 대 사용자들이 다른 연령대에 비해 높은 호응을 보이며, 다른 연령대에서도 적지 않은 호응을 볼 수 있다. 촉각 기반 윈도우 인터페이스 조작에 대한 정확성과 흥미도 측면에서도 10 대 사용자들이 높은 호응을 보여주며, 전체 비율로도 높은 호응이 있음을 알 수 있다. 촉각 피드백으로 인한 조작의 체감속도에 대해서도 적지 않은 수의

사람들이 도움이 되었다고 응답했으며, 조작의 속도 보단 정확도에 더욱 만족함을 알 수 있다.

그림 10 은 “촉감을 재현하는 기능 중 윈도우 환경을 조작하는 데 도움이 되었던 기능들을 ‘모두’ 표시해주세요”란 항목의 연령별 응답 그래프이다. 본 연구를 통해 구현된 다양한 촉각 피드백 중 다섯 가지 항목만을 대상으로 하였으며, 사용자들의 응답률이 실제 물리적인 인터페이스와 유사한 촉각 피드백을 제공하는 인터페이스 순으로 높게 나옴을 알 수 있다. 위의 설문을 통해 사용자 인터페이스에 대한 촉각 피드백이 사용성을 높인다는 결론을 얻을 수 있었으며, 좀더 실감나고 효율적인 촉각 피드백 연구가 필요함을 알 수 있었다. 전반적으로 감성이 풍부한 10 대의 연령층에서 높은 호응을 얻을 수 있었으며, 새로운 기술에 적응이 빠른 세대라는 점에서 촉각 기반 윈도우 인터페이스 기술이 크게 주목 받을 수 있고 발전 가능성이 클 것이라 예상된다.

그림 11 은 모바일 장치에서 햅틱 스타일러스(wUbi-Pen)를 사용해 촉각 기반 윈도우 인터페이스를 사용하는 모습을 보여준다.



그림 11 햅틱 스타일러스의 모바일 기기 사용

4. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 터치 스크린이 장착된 윈도우 시스템에서 촉각 피드백을 사용해 윈도우 인터페이스와 상호작용하는 방법 및 체계를 제안했다. 사용자 입력에 대한 윈도우 인터페이스의 반응을 분류하고 이에 해당하는 다양한 촉각 피드백을 제안하였으며, 전반적인 윈도우 시스템에서 촉각 피드백 제공이 가능하도록 촉각 제공 프로그램(Haptic Information Provider: HIP)을 개발하였다. 본 연구에서 제안한 방법에 따라 사용자 평가를 실시한 결과 촉각 피드백 기반 윈도우 인터페이스가 터치스크린을 사용하는 데 있어서 사용성을 증가시킴을 확인할 수 있었다.

윈도우 운영체제와 각종 컴퓨팅 장치의 사용자 인터페이스들은 계속해서 진화하고 있다. 본 논문에서 제안하는 촉각 기반 윈도우 인터페이스가 이러한 진화에 적응하기 위해선 좀더 다양한 촉각 피드백의 정의가 필요하다. 또한 향후 촉각에 대한 표준화가 진행되어

윈도우 제어판에서 인터페이스 사용시 발생하는 소리를 설정하는 방법과 같이 햅틱 인터페이스를 설정하고 다양한 촉각 피드백을 사용자가 정의하는 서비스로 발전시키는 것을 목표로 할 것이다.

Acknowledgement

본 연구는 정보통신부 IT 신성장동력핵심기술개발사업의 일환으로 수행하였음. [07MH2110, 퍼스널 라이프 로그기반 지능형 서비스 기술개발]과 [u-컴퓨팅 환경의 인간친화형 차세대PC 기술 표준 개발]

참고문헌

- [1] 류준영, "터치스크린 열풍 속으로 - 겹지로 두드리는 간편한 세상", 과학동아, pp. 80~83, 2007
- [2] Fukumoto, M. and T. Sugimura, "Active Click: Tactile Feedback for Touch Panels" Conference on Human Factors in Computing Systems, pp. 121~122, 2001.
- [3] Poupyrev, I., J. Rekimoto, et al., "TouchEngine: A Tactile Display for Handheld devices." Conference on Human Factors in Computing Systems, pp. 644~645, 2002.
- [4] Poupyrev, I. and S. Maruyama, "Tactile Interfaces for Small Touch Screens", Proceedings of the 16th annual ACM symposium on User interface software and technology, pp.217~220, 2003.
- [5] Poupyrev, I., M. Okabe, and S. Maruyama, "Haptic Feedback for Pen Computing: Directions and Strategies", Conference on Human Factors in Computing Systems, pp. 1309~1312, 2004.
- [6] Lee, J. C., P. H. Dietz, et al., "Haptic Pen: A Tactile Feedback Stylus for Touch Screens", Proceedings of the 17th annual ACM symposium on User interface software and technology, Vol. 6, No. 2, pp. 291~294, 2004.
- [7] Kyung, K. U. and J. S. Park, "Ubi-Pen: Development of a Compact Tactile Display Module and Its Application to a Haptic Stylus." Proceedings of the Second Joint EuroHaptics Conference and Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator System, pp. 109~114, 2007.
- [8] Immersion Corporation, <http://www.immersion.com>