

물리적 감각을 통한 디지털 정보의 조작을 위한 스마트 펍 시스템

Smart Puck System for Manipulating Digital Information via Physical Sensation

조현철*, 김래현*, 박세형*, 한만철*
한국과학기술연구원*

요약 본 논문에서는 대형 화면의 tabletop display상에서 물리적인 감각을 통해 정보를 직관적으로 조작할 수 있는 스마트 펍 시스템을 제시한다. 기존의 데스크 탑 PC 환경의 인터페이스는 물리적인 마우스와 디지털 정보의 공간적인 불일치가 생기고 마우스의 물리적인 움직임과 모니터 상 그래픽 커서의 이동을 맵핑하여 간접적으로 정보를 조작하므로, 사용자에게 직관적인 인터페이스를 제공해 주지 못하는 한계가 있다. 스마트 펍은 물리적인 인터페이스 장치로써 tabletop display상의 디지털 정보를 직접 조작할 수 있고, 스마트 펍을 끌거나 들어서 옮기거나 회전시키는 등의 물리적인 조작을 통해 사용자에게 디지털 정보와의 직관적인 인터페이스를 제공한다. 또한 대형 화면의 tabletop display는 여러 사용자가 함께 화면에 표시되는 정보를 공유하고 조작하는데 적합하다. 스마트 펍 시스템은 인간의 아날로그적인 지각과 반응을 통한 물리적인 인터랙션과 가상의 디지털 정보와의 거리를 줄여주는 역할을 한다. 이 시스템은 PDP 기반의 tabletop display 장치와 스마트 펍, 그리고 tabletop display상의 스마트 펍의 위치를 추적하는 위치 추적 장치와 스마트 펍의 입력을 전송 받아 정보를 처리하는 메인 PC로 구성된다. 마지막으로 스마트 펍 시스템의 인터페이스를 적용한 몇 가지 예시를 보여주고자 한다.

핵심어: *Tangible User Interface, Tabletop display, Smart Puck System*

1. 서론

현재 보편적인 데스크 탑 PC 환경은 모니터에 표시되는 디지털 정보를 키보드와 마우스를 이용하여 입력하거나 조작하는 GUI(Graphical User Interface)를 사용한다. 이러한 GUI 기반의 많은 응용프로그램들은 숙련된 사용자에게 효율적이고 유용한 인터페이스를 제공하고 있다.

하지만 이러한 컴퓨팅 환경은 실제 생활에서 우리가 주변의 사물과의 물리적인 감각을 통한 직접적인 상호작용과는 많은 차이가 있다. GUI 기반의 데스크 탑 환경에서는 마우스의 물리적인 위치와 움직임이 모니터 상 그래픽 커서의 이동에 맵핑되어 간접적으로 정보를 조작하는 기계중심의 인터페이스를 제공하고, 물리적인 마우스와 디지털 정보 간의 공간적 차이에 대한 사용자의 적응이 필요하다. 또한 데스크 탑 환경은 개인적인 업무에 최적화되어 여러 사용자가 정보를 공유하고 조작하는 공동 작업에는 적합하지 않다.

이러한 한계를 극복하고자 MIT 미디어랩의 Hiroshi Ishii 교수는 디지털 정보를 직접 만지고 체험할 수 있는 물리적인 형태로 제공하는 Tangible Bits 라는 개념을 제시하였다. [5] 이것을 통해 디지털 정보단위인 비트와 아날로그인 아톰 사이 즉, 물리적 공간과 사이버 공간의 경계를 없애는

것에 목적을 두고 있다. Tangible Bit의 개념을 적용한 예로 Sensetable [6]은 사용자가 직접 물리적으로 디지털 정보에 접근하고 조작할 수 있도록 하였다.

본 논문에서는 tabletop display 상에서 디지털 정보를 쉽고 직관적으로 조작할 수 있는 물리적인 도구를 제공하는 새로운 사용자 인터페이스인 스마트 펍 시스템을 소개한다. 스마트 펍은 디지털 정보와 인간의 아날로그적인 접근 방식의 갭을 극복하기 위한 물리적이고 직관적인 정보 접근 방식을 제공하는 도구이고, tabletop display는 여러 명의 사



그림 1. 스마트 펍 시스템

용자가 공동으로 작업할 수 있는 환경을 제공한다.

기존의 TUI(Tangible User Interface) [3] 기술의 단점을 보완한 스마트 펙 시스템의 특징은 다음과 같다.

- 스마트 펙은 단순한 위치 입력뿐만 아니라 물리적이고 직관적인 정보 조작을 위해 다이얼 형태의 회전 입력과 버튼 입력을 구현하였고, 이는 무선으로 PC에 전송한다.

- PDP 기반의 tabletop display는 프로젝터 방식에 비해 캘리브레이션이 필요 없고 사용자의 손이나 몸에 화면이 프로젝션 되지 않으며, 일상 조명하에서도 선명한 화면을 볼 수 있다.

- 물리적인 감각을 통한 디지털 정보의 조작을 위해 새로운 GUI를 개발하였다. 다이얼 조작으로 로그인 할 수 있는 "Dial login menu"와 스마트 펙의 휠을 회전시켜 정보를 선택할 수 있는 "Wheel menu" 등이다.

본 논문의 구성은 다음과 같이, 2장에서는 스마트 펙 시스템의 구조와 정보 처리 과정을 설명하고 3장에서는 스마트 펙 시스템을 활용한 응용 소프트웨어의 예를 보여주며 마지막으로 결론을 맺는다.

2. 스마트 펙 시스템

2.1 시스템 구조

스마트 펙 시스템은 디지털 정보를 표시하는 50 인치 PDP 디스플레이 장치, 직관적인 정보 조작을 위한 물리적인 도구인 스마트 펙, 스마트 펙의 위치를 추적하는 적외선 센서, 스마트 펙의 입력을 받아 정보를 처리하는 메인 PC, 그리고 테이블 형태의 프레임으로 구성된다.

그림 2와 같이 테이블 프레임을 제작하여 상단에 50인치 PDP를 눕혀서 고정하고, 그 위에 적외선 센서를 설치함으로써 tabletop display를 구성하였다. PDP는 WXGA 해상도 (1280*768)를 지원하는 모델을 사용하고, 적외선 센서는 PDP의 크기에 맞춤제작이 가능하며 USB인터페이스를 사용하고 두 점 인식이 가능한 모델을 사용하였다.[9]

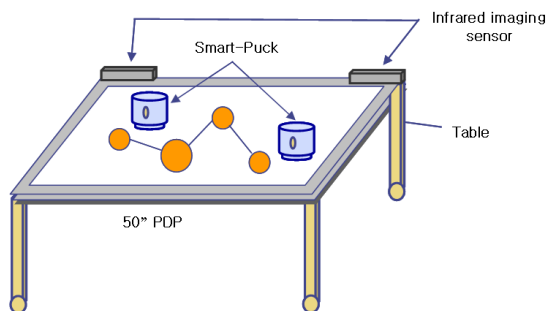


그림 2. 스마트 펙 시스템 구조도

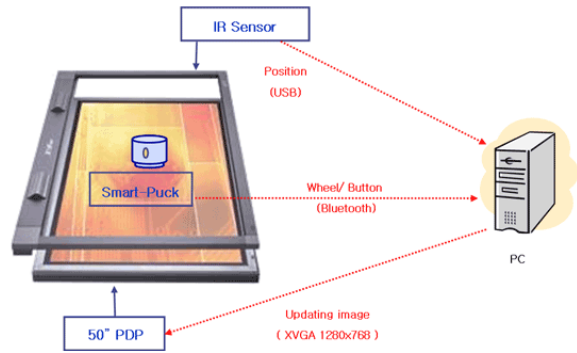


그림 3. 스마트 펙 시스템의 정보 흐름도

그리고 스마트 펙은 실린더 모양의 입력 도구로 제작하였으며, 이 스마트 펙의 기본적인 기능은 사용자의 물리적인 조작인 회전 입력과 버튼 입력을 감지하여 Bluetooth 무선 통신을 통해 메인 PC에 전송하는 것이다. 특히 회전 입력은 사용자의 감각을 잘 반영하여 직관적이고 세밀한 조작을 가능하게 한다.

스마트 펙 시스템의 정보흐름도는 그림 2에서 볼 수 있다. 적외선 센서는 USB 인터페이스를 이용하여 tabletop display 상에 있는 스마트 펙 및 손가락 등의 위치 정보를 메인 PC로 전송하고, 스마트 펙은 블루투스 통신을 통하여 회전 입력 및 버튼 입력을 메인 PC로 전송한다. 그리고 메인 PC에서는 위의 입력을 처리한 결과를 PDP화면으로 출력한다.

2.2 입력 정보 처리

본 논문에서 사용한 적외선 센서는 일정 시간 간격으로 tabletop display 상을 스캔하여, 감지되는 물체의 개수와 각각의 2차원 좌표를 전달한다. 이 때 적외선 센서에서 감지되는 물체의 좌표는 (0,0) ~ (65535,65535)범위의 값으로 전달되고, 감지할 수 있는 최대 개수는 2개이다.

적외선 센서에서 감지되는 좌표 값은 tabletop display의 해상도에 맞추어 아래 식과 같이 해당하는 좌표를 계산할 수 있다.

$$Pd_x = Pi_x * resolution_width / 65535 \quad (1)$$

$$Pd_y = Pi_y * resolution_height / 65535$$

위 식에서 Pi 는 적외선 센서에서 감지되는 좌표이고, Pd 는 tabletop display에 해당하는 좌표, resolution은 화면 해상도(1280*768)이다.

적외선 센서에서 전달하는 정보는 단지 현재 tabletop 상의 물체의 위치 정보이지 시간에 대한 위치 좌표의 연속성

```

class SmartPuck {
    UINT x, y;
    bool bPrvOn;
    bool bOn;
    bool bMoved;
    bool bBtnDown;
}

```

그림 4. 스마트 픽 클래스

등은 알 수 없으므로, S/W상에서 스마트 픽 객체를 생성/유지 하며 후처리를 하였다. 그림 4는 스마트 픽 객체의 클래스를 보여준다.

본 논문에서 사용한 후처리에는 다음과 같은 과정을 포함한다. 먼저 적외선 센서에서 감지되는 두 좌표를 스마트 픽 객체의 이전 좌표 값과 비교하여 각 좌표에 가까운 값으로 대입한다. 이 과정을 통해 하나의 스마트 픽을 움직이다 다른 픽을 tabletop display 상에 놓았을 때 기존 스마트 픽의 좌표가 튀는 현상을 방지하여, 시간에 대한 위치좌표의 연속성을 보장할 수 있다.

또한 현재 적외선 센서에서 감지되는 물체의 개수 정보를 유지하여, 감지되는 물체의 개수가 증가했을 때 새로 추가된 위치 좌표에 해당하는 PUCK_ON 메시지를 발생하거나, 감지되는 물체의 개수가 감소했을 때 사라진 좌표에 해당하는 PUCK_OUT 메시지를 발생시킬 수 있다. 이를 응용하여 tabletop display 화면상의 버튼을 손가락으로 누르는 인터페이스를 구현하였다. 그림 4의 bOn 변수는 현재 스마트 픽 객체가 tabletop display 상에 놓여있는 지를 나타내고 bPrvOn 변수는 이전 상태를 체크하여, bPrvOn==false && bOn==true일 때 PUCK_ON 메시지를 발생시킨다.

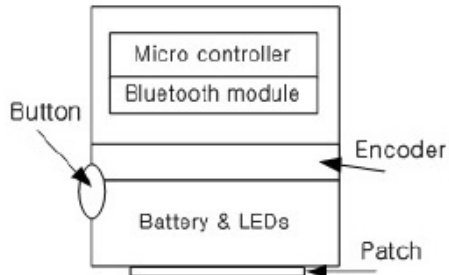
그리고 적외선 센서에서 일정시간 간격으로 계속해서 스캔하여 전달되는 좌표정보를 모두 처리할 수 없으므로, 이를 필터링 하여 사용해야 한다. 스마트 픽 객체의 개수와 좌표를 유지하여, 적외선 센서에서 감지되는 물체의 개수 또는 좌표의 변화가 없으면 PUCK_IDLE 메시지를 발생시키고 좌표의 변화가 생기면 PUCK_MOVE 메시지를 발생시킨다. 그림 4의 bMoved 변수는 현재 스마트 픽 객체가 좌표 변화가 있었던 지의 여부를 나타낸다.

이상과 같은 후처리를 통하여 적외선 센서에서 전달되는 위치 정보를 세분화 하여 PUCK_IDLE, PUCK_ON, PUCK_OUT, PUCK_MOVE의 네 가지 메시지로 처리한다.

본 논문에서 사용한 스마트 픽은 사용자가 휠을 돌려 회전 입력이 발생하거나, 버튼을 눌러 버튼 입력이 발생할 때



(a) 스마트픽의 실제 이미지



(b) 스마트픽의 구조도

그림 5. 스마트 픽

블루투스 통신을 통해 메인 PC에 그 정보를 전달한다. 사용자의 회전 입력은 엔코더를 이용하여 감지하며 6도 간격으로 시계방향/반시계방향 회전메시지를 전달하며, 버튼 입력은 버튼 누름과 땀 메시지를 전달한다. 스마트 픽에서 발생하는 메시지는 PUCK_ROTATE_R, PUCK_ROTATE_L, PUCK_BUTTON_DOWN, PUCK_BUTTON_UP의 네 가지이다.

위의 회전 입력의 경우에 사용자가 휠을 빠르게 돌리는 경우 메시지 오버플로우가 일어나 원활한 인터랙션이 되지 않는 경우가 발생한다. 또한 휠의 감도가 좋아서 사용자가 스마트 픽의 위치 이동만 시킬 때에도 의도하지 않은 회전 입력이 발생하는 경우도 생긴다.

이를 해결하기 위해 경우에 따라 2가지 방법을 사용하는 데, 첫 번째 방법은 일정시간(50ms) 동안 발생하는 회전 메시지를 누적하여 한 번에 처리하는 것이다. 이 방법은 화면의 Zoom In / Zoom Out 또는 연속적인 파라미터 조절 등에 사용하기 적합하다. 두 번째 방법은 메시지를 누적시켜 일정 개수에 도달하면 처리하는 방식으로, 후에 설명할 "Wheel menu"등의 불연속적인 조절에 사용하기 적합하다. 이 경우에는 메시지를 누적하는 도중 반대방향의 회전 메시지가 발생하거나 버튼 메시지가 발생하면 누적 카운트를 0으로 설정한다. 이렇게 해야 이전에 누적된 메시지 때문에 발생하는 혼동을 줄일 수 있다.

그리고 그림 4의 bBtnDown 변수는 현재 스마트 픽 객체의 버튼이 눌러졌는지 여부를 나타내는 변수이며, 이를 통해

두 개의 스마트 픽 각각의 드래그&드롭 인터랙션을 구현하였다.

2.3 물리적인 인터랙션을 위한 새로운 GUI

스마트 픽의 회전입력은 사용자에게 직관적이고 세밀한 조작을 가능하게 해준다. 특히 연속적이고 범위가 넓은 파라미터의 변경에서 사용자가 직관적으로 변경 속도를 조절하면서 세밀하게 입력할 수 있으며, 스크롤바와 같은 선형적인 입력 방식에 비해 공간적인 한계가 없는 장점이 있다.

위와 같은 스마트 픽의 장점을 잘 반영하는 새로운 GUI를 개발하였다. 가상의 원상에 배열된 그래픽 아이템들 중에서 원하는 아이템을 물리적인 휠 회전을 통해 선택할 수 있는 "Wheel menu"와 물리적인 다이얼을 조작하는 느낌으로 로그인 할 수 있는 "Dial login" 등이다.

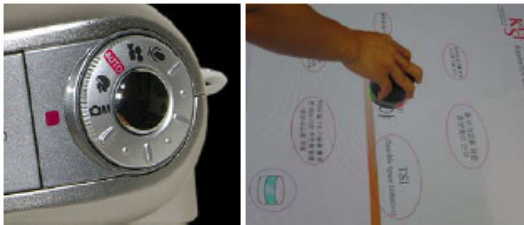


그림 6. 디지털 카메라의 모드 변경 다이얼과 "Wheel menu"

다이얼 형태의 사용자 인터페이스는 일상에서 널리 쓰이고 있다. 예를 들면 디지털 카메라의 모드 변경 다이얼을 통해 사용자는 사진을 찍거나 동영상 촬영하는 모드를 쉽게 변경할 수 있다. 본 논문에서는 물리적인 다이얼 인터페이스를 모사하여 "Wheel menu"를 만들었다.(그림 6) 사용자가 스마트 픽의 휠을 돌리면 tabletop display 상의 메뉴 아이템들이 따라서 돌며, 휠을 멈추었을 때 선택지점에 위치한 메뉴가 선택된다, 동시에 그 메뉴에 해당하는 모드 변경 또는 내용 표시 등의 동작이 활성화 된다. 선택지점의 표시는 화살표로 가리키거나, 메뉴 크기를 선택지점에 가까울수록 크게 표시하는 방식으로 알려준다. 이를 통해 사용자는 직관적으로 원하는 메뉴를 선택할 수 있다.



그림 7. 소형 금고의 자물쇠와 "Dial login"

다음으로 그림 7과 같이 소형 금고 등에서 사용되는 다이

얼 형태 자물쇠를 모사하여 "Dial login"을 만들었다. 이는 디지털 환경에서 일반적으로 로그인을 할 때 키보드로 비밀번호를 입력하는 형식을 대체하여, 금고의 자물쇠를 여는 것과 같이 스마트 픽의 휠을 시계방향 또는 반시계방향으로 돌리면서 비밀번호를 입력하여 로그인을 할 수 있게 한다.

이외에도 라디오의 볼륨조절 다이얼 등 일상생활에서 쉽게 접하고 직관적으로 조작할 수 있는 다이얼 인터페이스를 모사함으로써, 사용자에게 물리적인 감각을 통해 직관적으로 디지털 정보를 조작하는 느낌을 줄 수 있다.

3. 응용프로그램

스마트 픽 시스템을 활용한 두 가지 응용프로그램을 보여 주고자 한다. 첫 번째는 Google 사에서 제공하는 지구 위성 사진 탐색 프로그램인 구글어스(Google earth) 서비스에 마우스와 키보드의 인터페이스 대신 스마트 픽을 이용한 인터페이스를 적용 시켰고, 두 번째는 공공시설 등에 설치되어 정보를 제공하는 키오스크에 적용하여 두 점 인식 및 회전 입력을 통해 직관적인 인터페이스를 제공하는 키오스크를 구현하였다.

3.1 구글어스 인터페이스

구글어스는 구글사에서 제공하며, 지구의 위성사진부터 도시의 도로와 작은 건물까지 연속적으로 탐색할 수 있는 인터넷 프로그램이다.[4] 구글어스는 기본적으로 마우스와 키보드를 이용한 인터페이스를 사용하는데, 스마트 픽 시스템을 통해 이런 인터페이스를 대체하였다. (그림 8)

이를 구현하기 위해 스마트 픽의 인터페이스를 구글어스의 해당하는 마우스 메시지로 해석하여, IPC(Inter-process communication)를 통해 구글어스로 전송하는 방식을 사용하였다.

이 프로그램은 표 1과 같이 3가지 모드를 이용하여 구글어스의 인터페이스를 구현하였으며, 각 모드의 변경은 적외



그림 8. 구글어스 인터페이스

모드	스마트 픽	마우스 메시지
Move Zoom	버튼 입력 & 드래그	왼쪽 버튼 입력 & 드래그
	휠 회전	오른쪽 버튼 입력 & 드래그 (상하 이동)
Tilt Rotate	버튼 입력 & 드래그	가운데 버튼 입력 & 드래그 (상하 이동)
	휠 회전	가운데 버튼 입력 & 드래그 (좌우 이동)
Point	버튼 입력	더블 클릭

표 1. 스마트 픽 - 마우스 메시지 맵핑

션 센서의 두 점 인식 기능을 이용하여 스마트 픽을 조작하는 손의 반대쪽 손으로 tabletop display 화면의 버튼을 눌러 실행할 수 있다.

Move & Zoom 모드에서 사용자는 스마트 픽을 시작 위치에 놓고 버튼을 누른 상태로 드래그 함으로써 구글어스의 화면을 움직일 수 있으며, 스마트 픽의 휠을 회전시킴으로써 화면의 확대/축소를 실행할 수 있다. 이 때 스마트 픽의 메시지와 마우스 메시지의 맵핑은 표 1에서 볼 수 있듯이, 스마트 픽의 버튼 입력과 좌표 이동 메시지를 마우스의 왼쪽 버튼을 누른 상태로 좌표 이동 메시지로 변환하여 구글어스에 전달하며, 스마트 픽의 회전 입력 메시지는 마우스 오른쪽 버튼을 누른 상태로 x좌표를 고정시킨 채 y좌표만을 증감시키는 메시지로 변환하여 구글어스로 전달한다.

이 때 스마트 픽의 드래그 메시지와 휠 회전 메시지를 모두 마우스 메시지로 변환함에 따라 사용자의 의도치 않은 회전 입력 등으로 인해 구글어스의 화면이 불규칙하게 크게 튀는 현상이 발생하여, 스마트 픽의 회전 입력이 들어오면 메시지를 누적시켜 특정 개수 이상의 회전 입력 메시지가 누적되어야 마우스 오른쪽 버튼 드래그 메시지로 변환하는 트릭을 사용하였다.

Tilt & Rotate 모드에서 사용자는 스마트 픽을 드래그 함으로써 구글어스 화면의 기울임(tilt) 정도 변환을 할 수 있으며, 스마트 픽의 휠을 회전시킴으로써 화면의 회전을 실행할 수 있다. 이 때 스마트 픽 메시지와 마우스 메시지의 맵핑도 표 1과 같이, 스마트 픽의 버튼 입력과 좌표 이동 메시지를 마우스의 가운데 버튼을 누른 상태로 x좌표를 고정시킨 채 y좌표만을 스마트 픽의 좌표로 대입시켜 변환하고, 스마트 픽의 회전 입력 메시지는 마우스 가운데 버튼을 누른 상태로 y좌표를 고정 시킨 채 x좌표만을 증감시키는 메시지로 변환하여 구글어스로 전달한다.

마지막 Point 모드에서 사용자는 스마트 픽을 특정한 지점 위에서 버튼을 눌러서 특정 지점을 확대할 수 있으며, 메시지 맵핑은 스마트 픽의 버튼 입력을 해당하는 좌표에서 마우스 왼쪽 버튼 더블클릭 메시지로 변환하여 구글어스로



그림 9. 정보 키오스크

전달한다.

3.2 정보 키오스크

일상생활 중 공공시설이나 대형 서점 같은 곳에 설치되어 행정 절차, 시설물 이용 방법 등의 정보를 제공하는 키오스크를 많이 볼 수 있다. 스마트 픽 시스템을 본 연구 센터의 연구 분야에 대한 정보를 제공하는 키오스크에 적용하여 두 점 인식 및 회전 입력을 통해 직관적인 인터페이스를 구성하였다. (그림 9)

이 프로그램은 Macromedia Flash와 Microsoft Visual Studio (MFC)를 이용하여 구현하였으며, C++레벨에서 적외선 센서와 스마트 픽의 메시지를 전달받아서 해석하고, 이에 해당하는 Flash 함수를 Flash의 external interface를 사용하여 호출하며, Flash 레벨에서 해당하는 화면 업데이트를 실행하는 방식을 사용하였다.

이 프로그램에서는 앞서 제안된 "Wheel menu" 인터페이스를 적용시켜 tabletop display 화면의 왼쪽에 회전 메뉴를 구성하였다.(그림 10) 즉 사용자가 스마트 픽의 휠을 회전시키면 회전의 방향과 정도에 따라 메뉴가 선택되고, 그 메뉴에 해당하는 관련 정보가 화면의 오른쪽에 나타나게 된다. 이 때 회전 메뉴는 그림 11(a)와 같이 스마트 픽을 화

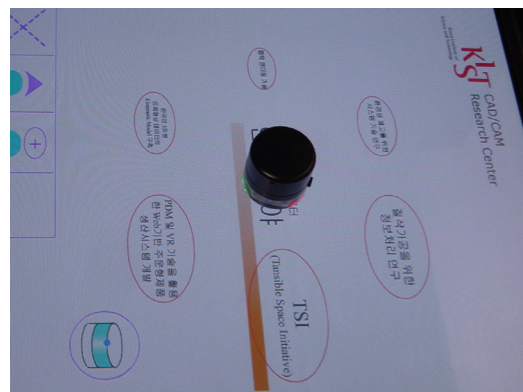
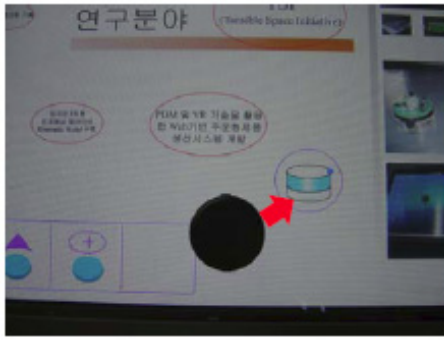


그림 10. 정보 키오스크에 사용된 "Wheel menu"



(a)



(b)

그림 11 정보 키오스크에서 제공되는 인터페이스

면상의 일정영역으로 옮겨야 활성화 되도록 하여, 메뉴 선택과 다른 인터페이스와의 구분을 확실히 하는 유저 인터페이스를 디자인 하였다. 또한 동영상 재생을 위한 선택이나 상세 정보 선택을 정밀하게 하기 위한 방법으로 선택적으로 스마트 픽의 일정거리 위에 떨어져 픽을 따라다니는 보조커서를 둘 수 있는 인터페이스를 제공한다. (그림 11(b))

4. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 기존의 모니터, 마우스, 그리고 키보드로 구성된 데스크 탑 인터페이스를 넘어서 물리적이고 직관적인 인터페이스를 제공하는 스마트 픽 시스템을 소개하였다. 이 시스템은 기존의 프로젝션 방식을 대체한 PDP 기반의 tabletop display, 효과적인 물리적 입력 도구인 스마트 픽, 스마트 픽의 위치를 추적하는 적외선 센서, 그리고 메인PC로 구성된다. 스마트 픽은 사용자의 직관적인 입력인 회전, 이동 등을 통해 정보를 직접 조작할 수 있다. 이 스마트 픽 시스템의 활용 예로써 구글어스 프로그램에 효과적인 인터페이스로 사용하였고 직관적인 인터페이스를 적용한 정보 키오스크 프로그램을 구현하였다.

현재 스마트 픽 시스템은 적외선 센서를 통한 위치 정보와 스마트 픽 자체의 회전 및 버튼 입력 정보가 분리되어 인식하므로, 두 개의 스마트 픽을 동시에 tabletop display

상에 놓았을 경우 스마트 픽의 회전 및 버튼 입력과 그에 해당하는 스마트 픽의 좌표를 동기화하는 것이 불가능 하다. 또한 적외선 센싱 방식이 갖는 문제점으로 하나의 스마트 픽이 다른 스마트 픽을 가리는 경우 완벽한 두 점 인식이 불가능 하다. 이를 보완하면 현재보다 다양한 인터페이스를 시도해볼 수 있을 것이다.

또한 현재의 스마트 픽은 사용자의 입력 도구로써만 사용되며 출력 기능은 전혀 가지지 않는다. 앞으로 이를 보완하여 스마트 픽을 통한 입력뿐만 아니라 시각, 청각, 촉각을 통한 정보의 피드백을 제공하는 기능을 추가하고자 한다. 시각, 청각, 촉각을 통한 피드백을 통해 선택된 정보의 상태 등을 사용자에게 물리적 느낌으로 전달함으로써 직관적인 인터페이스를 구현할 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1]Brygg Ullmer and Hiroshi Ishii, "The metaDESK: Models and Prototypes for Tangible User Interfaces", in Proceedings of Symposium on User Interface Software and Technology (UIST '97), pp. 223-232. 1997
- [2]Brygg Ullmer and Hiroshi Ishii, "mediaBlocks: Tangible Interfaces for Online Media (video)", in Extended Abstracts of Conference on Human Factors in Computing Systems CHI '99, pp. 31-32. 1999
- [3] Brygg Ullmer and Hiroshi Ishii, "Emerging Frameworks for Tangible User Interfaces", In Human-Computer Interaction in the New Meillennium, Addison-Wesley, August 2001, pp. 579-601. 2001
- [4] Google Earth, <http://earth.google.com/>
- [5] Hiroshi Ishii, Brygg Ullmer, "Tangible Bits: Towards Seamless Interfaces between People, Bits, and Atoms", In proceedings of CHI'97, pp.234-241. 1997
- [6]James Patten, Hiroshi Ishii, Jim Hines and Gian Pangaro, "Sensetable: A Wireless Object Tracking Platform for Tangible User Interfaces", in CHI'01, pp.253-260. 2001
- [7]Jun Rekimoto and Eduardo Sciammarella, "ToolStone: Effective Use of the Physical Manipulation Vocabularies of Input Devices", Proc. of UIST 2000. 2000
- [8]Laehyun Kim, Hyunchul Cho, Sehyung Park, Manchul Han, "A tangible user interface with multimodal feedback", In proceedings of HCI International 2007, to appear, 2007.
- [9] XYFer system, <http://www.e-it.co.jp>