

햅틱 / 사운드 그리드를 이용한 3차원 가상 환경 내의 위치 정보 인식 향상

Haptic and Sound Grid for Enhanced Positioning in 3-D Virtual Environment

김승찬, Seung-Chan Kim, 양태현, Tae-Heon Yang, 권동수, Dong-Soo Kwon
한국과학기술원 기계공학과 텔레로보틱스 및 제어 연구실

요약 본 논문에서는 사용자의 가상환경 내의 위치 정보에 대한 감각을 향상시키는 방법론으로서 햅틱 피드백(haptic feedback)과 사운드 피드백(sound feedback)의 모달리티를 활용한 그리드(grid)를 제안한다. 제안된 그리드는 사용자의 3 차원 공간 내의 움직임(explorative procedure)에 추가적인 비 시각적인(non-visual) 위치정보 피드백을 부여하는데 그 목적을 두고 있다. 햅틱 모달리티를 활용한 3 차원 그리드는 SensAble 사의 PHANTOM® Omni™ 를 활용하여 설계되었으며, 사운드 모달리티를 활용한 경우 저주파 배경음의 주파수 특성(frequency characteristics of sound source)을 사용자 손의 공간 좌표값에 근거하여 재생 시의 표본 추출 비율(sampling rate)를 연속적으로 바꾸는 방식으로 설계되었다. 이러한 공간 그리드는 두 모달리티 각각의 독립적인 제시 및 동시 제시/제거를 통해 평가되었으며, 동시 제시의 경우 두 모달리티간의 어긋남(cross-modal asynchrony)이 없도록 설계되어 사용자의 공간 작업 시 모달리티간의 조화 (manipulating congruency)를 확보할 수 있도록 하였다. 실험을 통해 얻어진 결과는 그것의 통계적 유의미성을 분석하기 위해 다원변량분석과 사후검증(Turkey. HSD)을 거쳐 해석이 되었다. 공간 내 특정 좌표 선택을 기준으로 하는 그리드의 사용자 평가 결과, 3 차원 내의 움직임에 대해 햅틱 및 사운드 피드백의 비 시각적 피드백은 사용자의 공간 작업의 오차를 줄여 주고 있음이 확인되었다. 특히 시각적인 정보만으로 확인하기 어려운 Z 축 상의 움직임은 그리드의 도움으로 그 오차정도가 50% 이상 줄어 드는 것으로 확인되었다($F=19.82, p<0.01$). 이러한 시각적 정보를 보존하는 햅틱, 사운드 피드백 방식을 HCI의 중요한 요소인 사용성과 유용성과 연관시켜 MMHCI(multimodal human-computer interaction) 방법론으로의 적용 가능성을 검토해 본다.

핵심어: HCI, Haptic, Sound, Grid, Multimodality, Positioning

1 서론

HCI(Human-Computer interaction)는 사람과 컴퓨터 사이의 상호작용을 연구하는 종합적(interdisciplinary) 학문의 영역이며, 유용성(usefulness), 사용성(usability), 감성(affect)등의 상호작용 필요조건을 수반한다[1]. 이러한 이 두 주체간의 상호작용은 주로 사용자 인터페이스(user interface)를 통해 이루어지게 되는데, 필연적으로 매개 인터페이스의 디자인 방법이 앞서 언급한 상호작용의 필요조건의 만족도를 결정짓는 중요한 요소가 되게 된다. 따라서 HCI 상호작용도(interactivity)를 증가시키기 위해서는 효과적인 인터페이스의 디자인이 요구되는데, 이러한 관점에서 S. Oviatt은 복잡성이 줄어든 보다 직관적이고 자연스러운 인터페이스가 HCI에 큰 기여를 할 것으로 예측하였다[15]. 또한 인터페이스의 모달리티 증가가 HCI의 상호 작용도의 증가에 큰 영향을 미친다는 연구 역시 꾸준히 진행되고 있다[5,15]. 이러한 관점에서 기존 인터페이스의 중심 정보 채널이었던 시각에 촉감과 청각의 요소를 더하는 멀티모달리티에 관한 많은 연구가 진행 중이다. Welch 등은 특히 공간적으로 분포된 정보(spatially distributed information)를 인지함에 있어서 시각적인 채널의 우세함이 있음을 연구한 바 있다[16]. 이처럼 시각 정보가 다른 모달리티의 정보보다 압도적인 것은 사실이지만, 보다 직

관적이고 자연스러운 인터페이스를 위해서는 기존의 시각 정보에 다른 모달리티의 정보가 보충이 되어야 할 것이다. 이러한 점에 초점을 두고, Jason P. Fritz등은 기존의 시각적인 자료(graphical data) 자료에 근 감각적인 피드백(kinesthetic feedback)을 더해 줌으로써 촉감정보를 통해 인식률을 높일 수 있음을 확인하고, 한걸음 더 나아가 청각적 피드백(audio feedback)을 더함으로 자료의 인식률을 더욱 향상시킬 수 있음을 발견한 바 있다[7]. 보다 정량적이고 체계적으로 Ernst, M. O 등은 감각운동의 통합(sensorimotor integration)에 관련할 수 있는 여러 감각의 채널 중 시각과 햅틱에 관한 (visual-haptic integration) 연구를 수행하였는데 이들은 사람은 통계학적으로 최적의 방법으로 시각과 햅틱 정보를 종합한다는 결과를 얻어내었다[6]. 시각과 청각 사이의 모달리티에 관한 연구에서 Hesham M. Kamel 등은 2차원의 평면상에 27×27개의 가상의 그리드를 형성하여 생성된 그리드들의 중심에서 청각 피드백(audio feedback)을 줌으로 시각장애인이 정확하게 원하는 점을 선택할 수 있게 하거나, 이전에 선택했던 점으로 쉽게 돌아갈 수 있게 하였다 [10]. 햅틱과 청각 사이의 모달리티와 관련해 Bernard D. Adelstein 등은 햅틱과 청각 정보 사이의 동기성에 대한 연구에서, 햅틱-청각 쌍의 자극 사이의 인가 가능한 비동

기 정도에 대한 실험을 통해 햅틱 장치에 추가될 수 있는 사운드의 조건 및 특성에 관한 논의를 하였다[2]. 이러한 관련 연구의 동향을 통해 볼 때, 새로운 HCI 인터페이스 설계를 위해 다양한 모달리티들간의 상호작용(intermodality)에 관한 연구는 필수 불가결한 요소임을 확인해 볼 수 있다. 본 논문에서는 이러한 관련 연구의 연장선 상에서 매개 인터페이스를 활용하여 3차원 공간을 네비게이션하는 사용자에게 기존의 시각적 피드백(visual feedback)의 추가적인 정보로서의 햅틱과 청각 피드백(haptic/auditory feedback)을 활용한 가상적인 그리드(virtual grid)를 제공하여 사용자의 공간 지각 능력을 향상시킬 수 있도록 하였다. 이를 통해 HCI를 위한 유용성 및 사용성을 증대를 목적으로 하는 인터페이스를 설계함에 있어, 하나의 중요한 도구로서의 가상 그리드에 대한 논의를 해 본다.

2 햅틱과 사운드 기반의 공간 그리드

2.1 배경(Background)

일반적인 2차원 평면 상에서 원하는 그림을 그리기 위해선 원하는 점을 쉽고, 정확하게 선택해야 하며, 이후에 그 점을 다시 찾아갈 수 있어야 한다. 그러나 대상의 차원이 3차원으로 확장되게 되면 기존의 시각 위주의 공간 지각 효율은 떨어질 수 밖에 없어 원하는 지점을 정확하게 포인팅하기가 어려워지게 된다. 게다가 3차원 가상 공간에서 특정한 좌표 지점으로의 네비게이션이 필요하게 되면, 단순한 시각에 의존한 손의 움직임으로는 위치 오차(position error)를 수반하는 결과를 만들어 낼 수 밖에 없다. 이에 일찍이 Lederman 등은 2차원의 햅틱 그리드가 시각 장애자들의 데이터 구별 능력을 높이는 것을 확인해 공간 내의 그리드의 중요성을 역설한 바 있으며[12], Hesham M. Kamel 등은 청각 그리드 기반의 2차원 드로잉 툴(grid-based dynamic drawing tool)을 개발하여 시각 정보가 부족한 상황에서도 올바른 그림을 그리는 것이 가능함을 보이며 비시각적 그리드의 필요성에 대해서 주장한 바 있다[11].

2.2 가상 그리드의 적용 예

현재 가상의 그리드 모델은 단백질 등의 분자 모델을 해석 및 도식화의 용도로 많이 사용되고 있다. 이러한 연구는 Garrett M. Morris[14] 등에 의해 진행되어 왔는데, 그 방법으로는 첫째로, 주어진 모델의 분자구조 근처에 $0.2\text{\AA} \sim 1.0\text{\AA}$ 간격으로 떨어진 점들의 3차원 격자배열로 그리드 맵(grid map)을 구성한다. 다음으로, 그리드 맵(grid map)안의 각 점에 분자 구조상의 모든 원자들의 상호작용으로 생성된 위치에너지를 미리 계산한 후 저장한다. 마지막으로, Autogrid라는 제안된 특정 함수를 사용하여 각 분자 간에 작용하는 쿨롱 힘을 계산한다. 이런 방식으로 정전기력의 전위 그리드 맵(electrostatic potential grid map)을 생성하고, 그 생성된 맵을 사용하여 분자 구조의 정전기장(electrostatic field)의 데이터를 만들어 낸다. 또한 근방의 격자 점들 사이의 에너지 차이

와 위치를 고려하여 에너지가 낮은 방향으로 흐르도록 하는 normalized gradient vector를 구하여 그 때 공간 상의 주어진 점에서의 힘을 위치 에너지와 점의 기울기 사이의 삼중 선형 보간법(tri-linear interpolation)으로 계산한다. 이렇게 형성된 벡터장(vector field)은 스타일러스(stylus)의 끝 단이 가장 가까운 그리드 점을 지날 때 활성화되어 적용된다. 이와 같은 특정 모델과 관련하여 그리드를 도입하게 되면 수렴한 모델에 보다 현실감 있는 특성을 부여할 수 있게 되는 장점이 있으며 위는 그것의 한 예를 보인 것이다. 2.3절에서는 이와 같은 모델의 해석 및 도식화의 용도가 아닌 위치 정보 인식에 도움을 주는 도구로서의 그리드에 대해 제안하고 설명한다.

2.3 위치 정보를 위한 멀티모달 그리드의 도입

인터페이스는 사물 간 또는 사물과 인간 간의 의사소통이 가능하도록 만들어진 물리적, 가상적 매개체를 의미한다. 인간이 주체가 되어 객체인 컴퓨터 혹은 로봇과의 의사소통을 하는 데에 있어 물리적으로는 키보드, 마우스, 음성 인터페이스 등이 그 예가 될 수 있을 것이며, 가상적으로는 그래픽 유저 인터페이스 등을 포함하는 소프트웨어가 그 예가 될 것이다. 아래의 그림은 이러한 매개인 인터페이스를 사용한 3차원 공간 내의 사용자의 움직임을 보이고 있다.

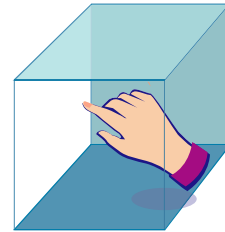


그림 1. 가상공간 내의 움직임에 대한 개념도

이러한 사용자 인터페이스를 활용함에 있어 초보자는 쉽게 사용할 수 있어야 하며, 숙련자는 그의 작업기능을 최대화 시킬 수 있어야 한다. 사용자가 임의의 작업 공간(workspace) 내에서 네비게이션 등의 탐색적 움직임(manual exploration)이 수반되는 작업을 할 때,

1) 사용자의 시각은 모니터 등의 디스플레이에 집중되게 되어, 대부분의 경우 자신의 손의 위치에 대한 피드백은 가상환경 내에 투영된 제한된 포인터에 의존할 수 밖에 없는 단점이 있으며,

2) 2.1 절에서 살펴본 바와 같이, 3차원 공간 내의 깊이 정보와 관련하여 정확한 정보를 얻을 수 없게 되는(visually ambiguous) 단점이 존재할 수 밖에 없게 된다.

이러한 단점은 사람과 다른 주체간에 데이터를 주고받기 위해 만들어진 인터페이스의 효율성을 떨어뜨려 결국은 사람과 대상과의 상호작용성을 떨어뜨리게 된다. 그림 2는 3차원 공간 내에서 사용자가 공간 작업을 수행할 때, 위치 정보를 햅틱, 혹은 청각의 물리적인 피드백을 통해 추가적인 위치 정보를 제공하는 가상 그리드의 개념도를 보이고 있다.

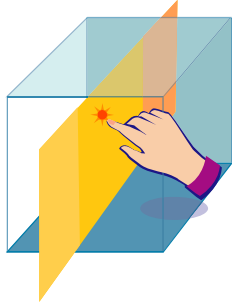


그림 2. 비시각적 그리드에 근거한 가상공간 내의 움직임

보통 컴퓨터를 활용하는 사용자들은 모니터로 대표되는 2D 그래픽 유저인터페이스 내의 커서를 제어함에 있어 마우스를 활용하게 된다. 마우스에 진동모터 및 보이스 코일등의 액츄에이터를 활용하여 촉감요소를 조합한 장치 등은 이미 개발되어 게임 및 윈도우 응용 프로그램과 관련하여 상용화 된 사례가 있다. 한 예로 iFeelPixel™ 사는 iFeelPixel이라는 자사의 소프트웨어를 통해 기존의 시각 기반의 윈도우 컴퓨팅 환경에 촉각 혹은 촉각의 감각(audio-tactile sensations)의 자극을 전달하여 멀티 모달리티기반의 인터페이스를 가능하게 하고 있다[8]. 또한 이 소프트웨어는 Immersion 사의 TouchSense 하드웨어 장치와 연동될 경우 물리적인 촉각 정보를 제시할 수 있게 된다. 다음 장에서는 이러한 기존 연구의 연장선 상에서 가상 작업 공간 내에 햅틱, 사운드 혹은 그 두 모달리티의 조합을 활용한 그리드의 생성에 대해 설명하고, 그것이 실제 사용자의 공간 작업 효율을 어떻게 증가시키고 있는지를 실험을 통해 확인한다.

3 그리드를 이용한 공간 인식 (Multi-modal Space Identification)

그리드를 이용한 공간의 분할은 2장에서 살펴본 햅틱과 사운드 모달리티를 활용하여 이루어지며, 각각의 모달리티의 독립적인 사용 및 동시 제시가 사용자의 공간 지각에 어떻게 영향을 미치는지를 확인한다.

3.1 피실험자

피실험자는 23~29 세의 평균 나이 26세의 분포를 갖는 6명의 한국과학기술원 학생으로 구성된다. 피험자 모두 피부 감각 및 근감각이 정상으로 햅틱 피드백 수용에 적합한 상태이며, 청력 역시 문제가 없어 사운드 피드백 수용에도 적합한 상태이다.

3.2 실험 장치

3차원 작업 공간에서의 햅틱 그리드는 힘 반향 인터페이스(force feedback interface)인 SensAble 사의 PHANTOM Omni를 이용하여 생성되며, 사운드 그리드는 Microsoft API인 DirectSound®를 활용하여 생성되어 Sony MDR-NC50(Noise canceling headphone)을 통해 실험을 수행하고 있는 사용자에게 전달된다.



그림 3. 햅틱 그리드 생성 및 3차원 입력을 위한 PHANTOM® Omni™

3.3 자극의 방법 및 실험 과정

다음의 그림 4는 실험에서 정의된 0점을 원점으로 하며 왼손 좌표계(Left-Handed Coordinate System)를 따르는 3차원 가상 공간을 보이고 있다. 그림에서 붉은 색의 구는 $x:y:z=6:5:5$ 인 직사각형의 작업공간의 내부를 움직이는 사용자 커서의 심볼을 나타내며, 아래의 예는 평면의 수직방향의 값이 증가하는 즉, z축 방향으로 증가하고 있는 커서의 개념도를 보이고 있다.

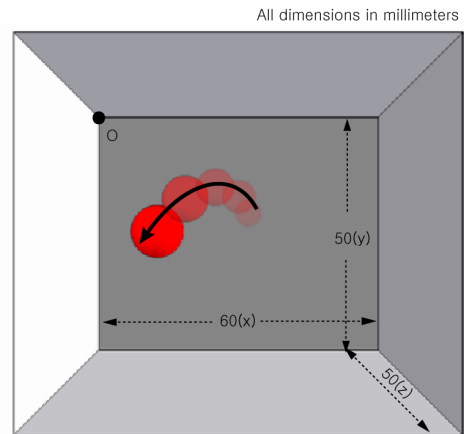


그림 4. 실험을 위해 정의된 3차원 가상 공간의 개념도

피험자는 위에서 제시된 공간에서 아래와 같은 종류의 그리드의 피드백을 받으며 실험을 진행하게 된다. 그리드는 표 1과 같이 아무런 그리드가 제시되지 않는 0, 햅틱 그리드 1, 사운드 그리드 2, 햅틱 + 사운드의 조합 3의 총 네 가지 형태로 구성되어 있다.

표 1. 실험에서 사용된 그리드의 종류

Grid Type	설명
0	-
1	Haptic
2	Sound
3	Haptic + Sound

햅틱 그리드

PHANToM Omni의 주어진 160W×120H×70D (mm)의 힘 반향 작업공간(force feedback workspace) 중 직교 좌표계 그리드의 2차원 평면성을 고려하여 60W×50H×50D(mm) 만을 작업공간으로 사용하였으며 각 축을 10mm 간격으로 총 150(=6×5×5)개의 셀(cell)로 구분하였다. 햅틱 정보를 제공하는 그리드는 다음과 같은 방법으로 생성되어 피험자에게 제공된다.

- 1) 1mm 지름의 구 형태의 커서가 셀의 경계를 지날 때,
- 2) PHANToM Omni는 0.25N/mm의 강성(stiffness)을 갖는 박막(thin film)의 평면을 형성하며,
- 3) 사용자가 힘을 평면에 수직으로 가하게 되면
- 4) 피험자는 가상의 평면에서 지정된 평면의 강성에 해당하는 반력을 느끼게 되며(Hookes' Law)
- 5) 그 힘이 1N 이상이 되면 커서는 평면의 경계를 통과(pop-through)해 인접 셀로 이동할 수 있게 된다.

사운드 그리드

햅틱 그리드와 동일한 셀의 분할을 사용하며, 사용자의 커서가 셀의 경계 부근을 지날 때, 헤드폰으로 제공되고 있던 50Hz의 저주파 사운드의 sampling rate를 사용자 커서의 위치의 함수로서 지수적으로 연속적으로 변화시켜 피험자에게 전달되는 소리의 주파수 특성(frequency characteristics of sound)을 바꾸어 그리드를 생성한다.

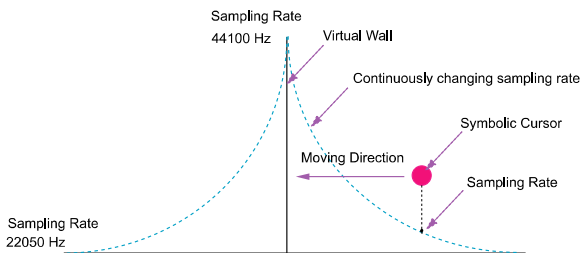


그림 5. 가상의 그리드를 통과할 때 발생하는 사운드 피드백에 대한 개념도 (2차원 단면도)

사용자의 커서의 움직임에 따른 위치의 값(arg, argument)을 인자로 하여(exponent applied to the base e), 얻어지는 sampling rate의 관계식은 아래와 같다.

$$\text{Sampling Rate(Hz)} = 22050 \times (1 + \exp(-k \times \text{arg}))$$

위 식의 k는 벽 주변의 어느 정도 영역에서 사운드 그리드가 활성화 되는지를 결정하는 상수로서 실험에서는 0.5의 값을 사용하였다. 두 모달리티 간의 싱크(sync)와 관련하여, grid type 4의 경우처럼 햅틱 그리드와 같이 제시되는 경우에는 동시 발생성(time synchronicity)을 프로그래밍 수준에서 확보하여 두 모달리티 간의 효과적인 커플링을 구현하였다. 사람 청각의 소리 구별 식역(threshold)이 각 피험자의 상태, 소리의 주파수 특성 등에 따라 다르지만[3,13], 일반적으로 2ms에서 150ms에 이르는 값을 갖고 있으며[3,4], 또한 1ms로 갱신되어야만 하는 햅틱 정보를 고려하여 그리드 주변의 사운드 sampling rate는 1ms로 갱신되도록 하였다.

공통 사항

모든 3차원 공간상의 포인팅 작업은 물리적인 자극의 피드백과는 관계없이 PHANToM Omni를 이용해 수행된다. 또한, 테스트에서 사용된 네 가지 그리드 조건 모두 공통적으로 외벽으로 구분되는 5개의 평면(그림 7 참조)에 대해 0.5N/mm의 강성을 부여하였으며, 5N 이상의 pop-through 경계힘 이상을 가해야 그 외벽을 통과할 수 있도록 설계되었다. 0.25N/mm의 강성 부여되어 있는 햅틱 그리드의 통과를 위한 힘이 1N임을 고려해 볼 때, 외벽은 그리드와 구분된 특성을 갖고 있음을 알 수 있으며, 이것은 사용자가 태스킹 중에 작업 공간을 벗어나지 않도록 하기 위해 설계된 특성으로 볼 수 있다.

3.4 실험 과정

아래의 그림 6은 가상공간 내에서 기존의 시각정보에 청각과 촉각 정보를 덧붙여 실험을 수행 중인 한 피험자의 모습을 보이고 있다. 피험자는 좌표계에 대한 안내를 받은 후 PHANToM Omni를 이용해 제시된 좌표라고 생각되는 지점으로 공간 내의 커서를 이동시킨 후, 장치의 확인 버튼을 누름으로서 제시된 문항 한 단계를 마치게 된다. 이러한 세션은 각각의 그리드 형태 별로 20번씩 랜덤 제시가 되어 각 피험자는 총 80개(=20×4)의 개의 좌표 선택 작업을 수행하게 된다. 실험 도중 원점 정보에 대한 도움이 항상 제공되어 사용자의 올바른 응답을 유도하도록 하였다.

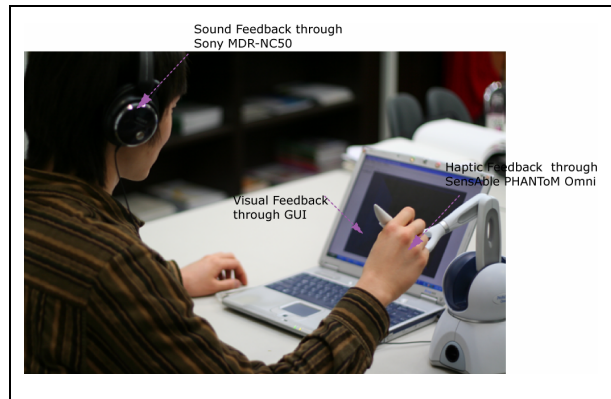


그림 6. 햅틱 그리드를 위한 PHANTOM® Omni™

아래의 그림 7은 실험을 위한 GUI 환경을 보여주고 있는데, 80개의 일련의 문항에 제시되는 그리드는 아래 그림처럼 시각적으로 나타나지 않는다.

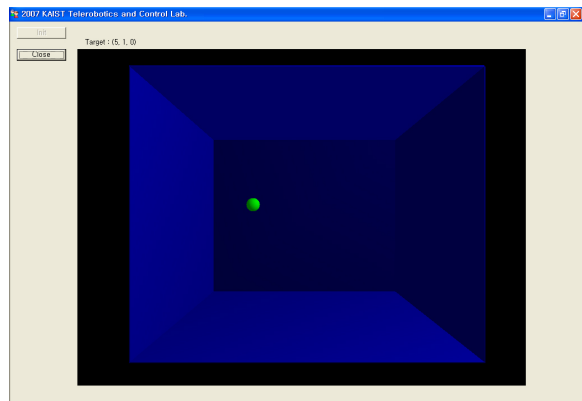


그림 7. 실험을 위한 그래픽 유저 인터페이스

3.5 실험 결과

3.5.1 그리드 모달리티 별 수행 오차 비교

아래의 표 2는 각 모달리티의 조합으로 그리드를 구성 하였을 때, 목표점의 값과 선택 값과의 차이인 유클리드 거리(Euclid distance)를 기술통계(descriptive statistics)로서 나타낸 것이다. 표 2에서 E_TOT는 3차원 유클리드 공간상의 오차값을 나타내며, E_i는 i(i=x, y, z) 축 상의 2차원 거리를 나타내고 있다. 또한, 오차의 분석은 각각의 축의 값을 종속변인으로서 취하고 이들을 비교하는 방식으로 이루어지게 된다. 아래의 백분율 열(column)은 공간상에 그리드가 존재하지 않을 때를 기준으로 하여 각 축 별 오차율을 표시한 것이다.

표 2. 그리드 종류별 오차값의 기술 통계

	Grid Type	Mean		Std. Dev
		distance	%	
E_TOT	0	28.28	100.00%	20.87
	1	18.16	64.21%	15.66
	2	17.27	61.06%	12.43
	3	15.72	55.60%	10.61
E_X	0	11.97	100.00%	13.46
	1	9.80	81.85%	11.52
	2	8.92	74.54%	9.55
	3	7.76	64.85%	6.54
E_Y	0	10.78	100.00%	15.64
	1	8.18	75.85%	10.00
	2	7.29	67.63%	6.18
	3	6.94	64.35%	5.56
E_Z	0	18.55	100.00%	14.40
	1	9.66	52.07%	9.30
	2	10.20	55.00%	9.32
	3	9.44	50.90%	9.43

다음의 그래프는 위의 표 2에 근거하여 각 축 별 오차 및 표준편차를 그리드 종류에 따른 그래프로 나타낸 것이다.

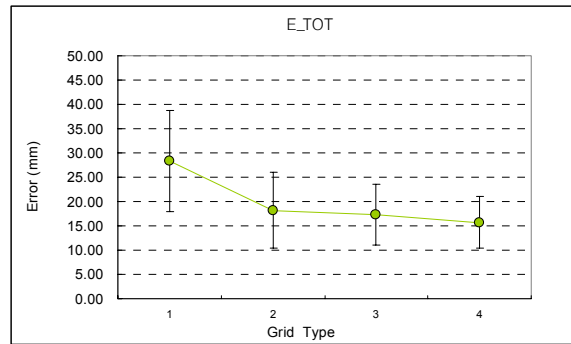


그림 8-1. 그리드의 종류와 두 좌표 사이의 오차

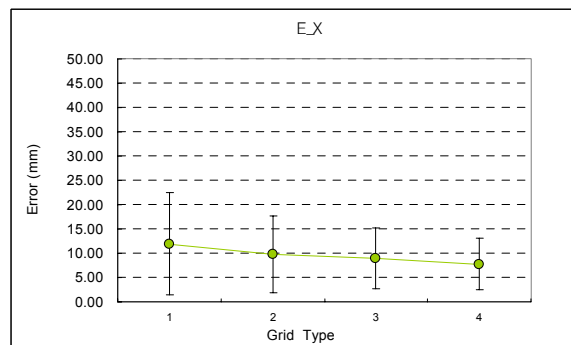


그림 8-2. 그리드의 종류와 두 좌표 사이의 x축 오차

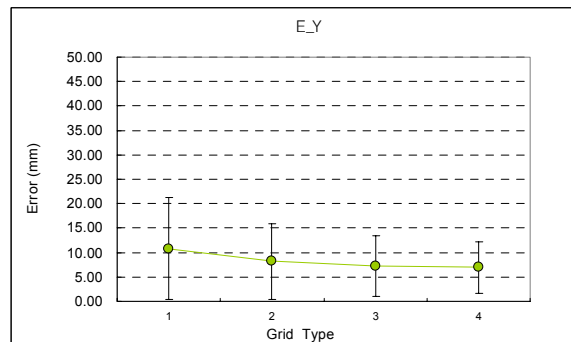


그림 8-3. 그리드의 종류와 두 좌표 사이의 y축 오차

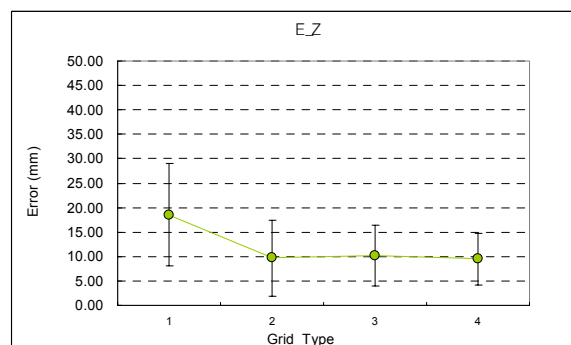


그림 8-4. 그리드의 종류와 두 좌표 사이의 z축 오차

일련의 그림 8과 표 2를 통해, 가상 공간 내의 그리드 효과 즉, “물리적인 그리드의 존재는 가상 공간 내의 태스크 능력을 높인다” 라는 가설을 시각적으로 확인할 수 있는데, 특히 그림 8-4에서 E_z 즉, z축의 오차 및 표준편차가 크게 줄어 들고 있음을 확인해 볼 수 있다. 또한 이러한 가설은 다음의 표 3에서와 같이 변량 분석(ANOVA)을 통해 얻은 F비 값에 의해 통계적인 유의성이 검증되었다.

표 3. 각 축의 오차와 그리드 종류와의 상관관계 검증을 위한 F비

Grid Type	F	Sig.
E_TOT	16.47186	0.00
E_X	3.393179	0.02
E_Y	3.498236	0.02
E_Z	19.82233	0.00

위의 표에서 얻어진 F비의 값이 x축과 y축에서는 $p < 0.05$, z축과 오차 간의 거리값은 $p < 0.01$ 수준에서 유의미한 차이를 갖고 있으므로 집단간 평균들이 의미있는 차이를 갖고 있음, 즉 각 축별 오차값은 그리드가 있고 없음에 큰 상관관계를 갖고 있다는 사실을 확인할 수 있다. 아래의 그림 8-1 에서 8-4는 변량분석의 결과, 유의미한 평균의 차이가 확인되어 집단(그리드 별) 간의 차이를 구분하기 위해 실시된 Turkey의 HSD 검증 결과를 나타낸다.

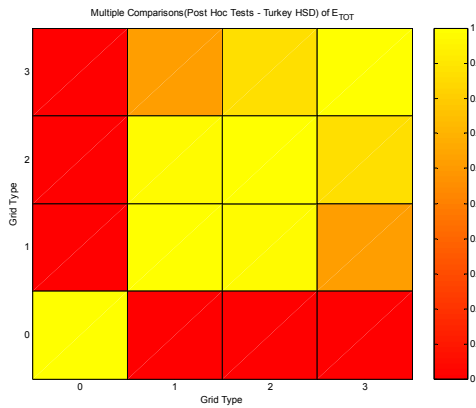


그림 8-1. E_{TOT} 의 사후 처리 결과 (Post hoc results)

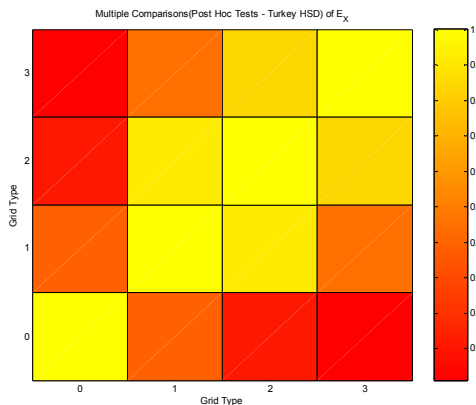


그림 8-2. E_X 의 사후 처리 결과 (Post hoc results)

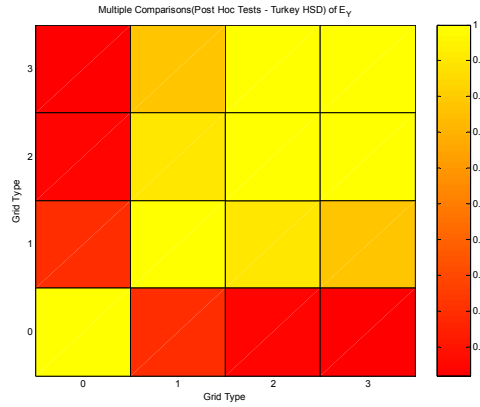


그림 8-3. E_Y 의 사후 처리 결과 (Post hoc results)

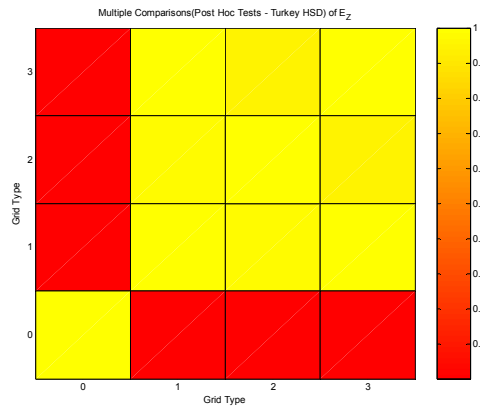


그림 8-4. E_Z 의 사후 처리 결과 (Post hoc results)

Turkey 사후 검증 결과는 그 조합을 통해 나타난 값이 0에 가까울 수록 그 변량원들의 조합이 통계학적인 의미를 갖고 있음을 나타낸다. 이러한 사실을 바탕으로 x, y, z 축 모두 그리드의 영향이 분명함을 확인할 수 있는데, 주목할 것은 모니터의 평면과 평행한 x축과 y축의 두 차원 공간의 움직임에 비해 평면에 수직 방향인 z축 상의 움직임의 경우 오차가 가장 크게 줄어 들고 있다는 점이다($F=18.82$, $p < 0.01$). 이는 시각적으로 충분한 정보를 얻을 수 없는 깊이 정보에 대해 햅틱과 사운드 피드백이 해당 정보를 보충하여 사용자의 위치 인식에 큰 도움을 주고 있음을 의미한다.

3.5.2 논의

다음의 그래프는 한 피험자의 각 그리드 조건 별(표 1 참조)에 따른 3차원 좌표값을 나타낸다. 각 피험자 별로 탐색전략(exploration strategy)이 동일하지 않아 공간 내의 궤적의 평균을 나타 낼 수가 없으므로 본 절에서는 대표적인 한 피험자의 데이터를 제시하고 분석한다. 데이터는 가독성을 위해 각 조건별 샘플 데이터의 처음 1/2에 해당하는 값만을 표시했으며, 표시된 데이터의 푸른색은 각 실험 단계의 처음 단계를, 보라색은 각 실험 단계의 후반부를 의미한다.

그리드의 조건과 관계없이 사용자는 원점(좌측 상단 모서리, 그림 4의 O점)을 reference frame으로 활용하여 탐색 작업을 하는 것을 확인할 수 있다. 그리드가 제시되지 않은 경우(그림 9-1) 사용자는 불필요한 궤적을 만들

어 내게 뒀을 물리적 그리드가 제시된 다른 경우와 비교하여 확인해 볼 수 있다. 또한 사운드 그리드가 들어간 경우(그림 9-3)는 햅틱 피드백이 적용된 다른 경우와(그림 9-2, 9-4)는 다르게 특정 라인을 평행하게 따라가는 경향성은 찾을 수 없으나, 한 면을 통과할 때의 사운드 피드백을 얻기 위해 특정면을 관통하는 움직임의 경향성을 보이고 있다. 햅틱과 사운드 그리드가 동시에 제공되는 경우(그림 9-4) 다른 경우에 비해 불필요한 움직임이 줄어든 것을 그래프 좌표의 모양 및 한 단위 실험을 마치기 위해 소요된 샘플값의 감소를 통해 확인할 수 있다. 아래의 표 4는 주어진 단계를 수행하기 위해 소요되었던 샘플의 갯수 및 그에 해당하는 소요 시간을 나타내고 있다.

표 4. 주어진 과정을 수행하기 위해 소요된 샘플 수 및 시간

Grid Type	sample 수	소요시간(분)	시간 비율
E_TOT	11455	3.82	210.11%
E_X	6571	2.19	120.52%
E_Y	6310	2.10	115.74%
E_Z	5452	1.82	100.00%

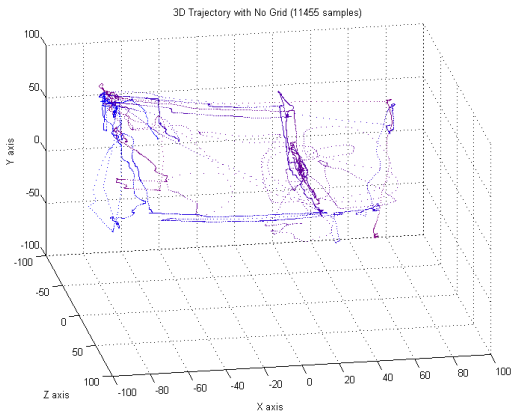


그림 9-1. 그리드가 제시 되지 않았을 때의 공간 궤적

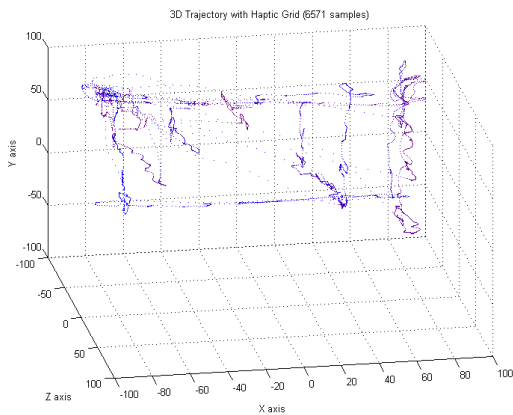


그림 9-2. 햅틱 그리드가 제시 되었을 때의 공간 궤적

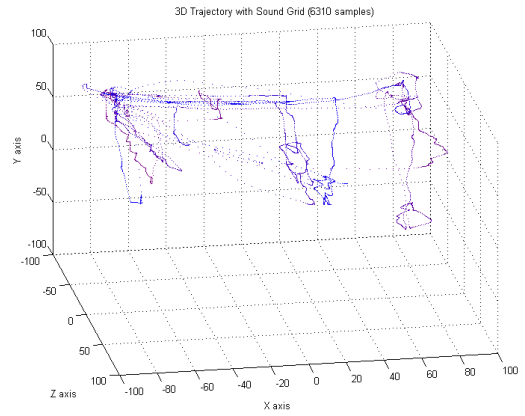


그림 9-3. 사운드 그리드가 제시 되었을 때의 공간 궤적

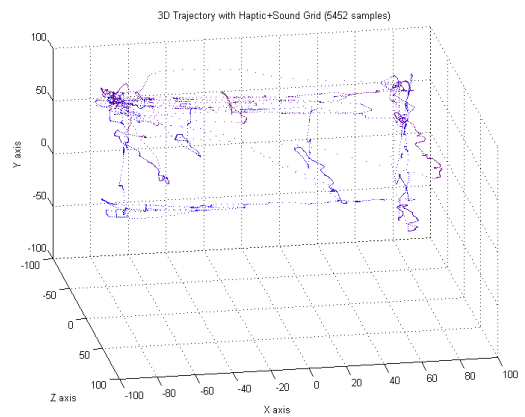


그림 9-4. 햅틱+사운드 그리드가 제시 되었을 때의 공간 궤적

4 결론 및 논의

3절에서 제시된 실험 결과 햅틱과 사운드 그리드의 동시 제시 경우 x축은 64.85%, y축은 64.35%, z축은 50.90% 정도로 작업 오차가 줄어들게 되는 현상을 확인하였다. 특히 x, y의 2차원 평면 요소보다 시각적으로 유용한 정보를 적게 얻을 수 밖에 없는 깊이 정보를 의미하는 z축의 오차가 상대적으로 더 크게 줄어드는 현상을 확인하였다. 또한 grid type 1~3에 해당하는 햅틱, 사운드, 햅틱 + 사운드 그리드의 중에서 두 모달리티가 동시 발생(time synchronicity)을 갖고 그리드가 제시되는 grid type 3이 가장 높은 오차 감소율, 작업 시간(exploration time)의 절반 이상의 감소(표 4 참조)를 보였다. 이 결과는 일상 생활에서 일어나는 접촉이 필연적으로 사운드를 수반하는 현상과 관련하여 고찰될 수 있는데, 이는 Stephen R. Ellis 등이 가상환경에서 사용자들을 만들어진 공간(synthetic space)내에 보다 몰입시키기 위해서는 청각과 촉각의 비시각적 모달리티의 추가 적용이 필요하다고 설명한 것[5]과 동일 맥락에서 살펴 볼 수 있을 것이다. 같은 선상에서 Alejandro Jaimes 등 역시 MMHCI(multimodal human-computer interaction)을 이루는 여러 요소 중 멀티모달 상호작용이 가장 중요한 요소라고 그림 10을 통해 주장한 바 있다[9].

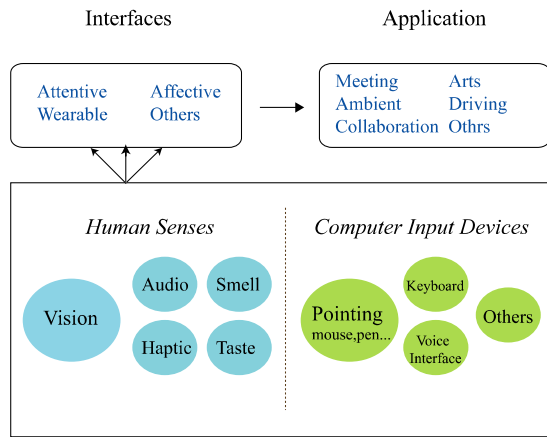


그림 10. 인간 중심의 접근법을 위해 필수 불가결한 멀티모달 상호작용의 개념도[9]

HCI의 관점에서 ‘유용성’은 사람들이 시스템을 이해하고자 하는 과업을 효과적(effective)으로 달성할 수 있어야 하는 것을 의미하며, ‘사용성’은 시스템을 사용하는 과정이 효율적(efficient)이어야 한다는 조건을 의미한다 [1]. 이처럼 위의 두 요소는 분리되어 생각하기 어려운 상관관계를 갖고 있는데, 그림 11과 같이 정리될 수 있다.

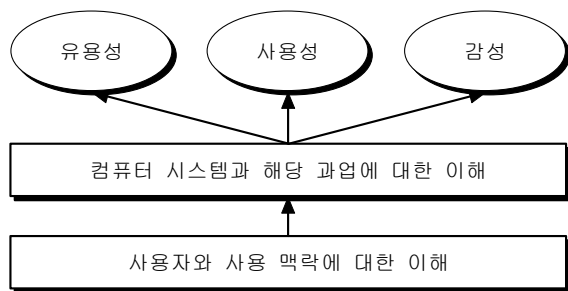


그림 11. HCI의 목표와 선결 조건 및 구성 요소[1]

본 연구에서는 3차원 공간 내의 가상 그리드를 이용하여 햅틱과 사운드의 두 모달리티의 상호작용이 HCI에 미치는 영향을 실험을 통해 확인해 보았다. 실험 결과, 사용자 인터페이스에서의 추가적인 모달리티의 사용은 HCI의 선결 요건인 사용성과 유용성을 높일 수 있다는 사실을 재확인할 수 있었으며, 궁극적인 MMHCI 구현을 위한 중요한 방법론이라는 것도 확인할 수 있었다.

Acknowledgements

본 연구는 정보통신부 ‘촉각용 스마트 햅틱 인터페이스 장치 기술개발 (2004-S-030)’과 KIST ‘실감공간기술개발’ 사업의 지원을 받아 수행되었음.

참고문헌

[1] 김진우, Human Computer Interaction 개론, 안그라픽스, 2005.
 [2] B.D. Adelstein, D.R. Begault, M.R. Anderson, E.M. Wenzel, Sensitivity to haptic-audio asynchrony, 2003, pp. 73-76.
 [3] D.A. Eddins, D.M. Green, Temporal integration

and temporal resolution, Hearing. Handbook of perception and cognition (1995).

[4] R. Efron, Conservation of temporal information by perceptual systems, Perception and Psychophysics 14 (1973) 518-5530.
 [5] S.R. Ellis, What are virtual environments?, Computer Graphics and Applications, IEEE 14 (1) (1994) 17-22.
 [6] M.O. Ernst, M.S. Banks, Humans integrate visual and haptic information in a statistically optimal fashion, Vol. 415, 2002, pp. 429-433.
 [7] J.P. Fritz, T.P. Way, K.E. Barner, Haptic representation of scientific data for visually impaired or blind persons, 1996.
 [8] iFeelPixel™, <http://www.ifeelpixel.com/>, 2006.
 [9] A. Jaimes, N. Sebe, Multimodal Human Computer Interaction: A Survey, Computer Vision and Image (2006).
 [10] H.M. Kamel, J.A. Landay, Sketching images eyes-free: a grid-based dynamic drawing tool for the blind, ACM Press New York, NY, USA, 2002, pp. 33-40.
 [11] H.M. Kamel, J.A. Landay, A study of blind drawing practice: creating graphical information without the visual channel, ACM Press New York, NY, USA, 2000, pp. 34-41.
 [12] S.J. Lederman, J.I. Campbell, Tangible graphs for the blind, Hum Factors 24 (1) (1982) 85-100.
 [13] B.C.J. Moore, An introduction to the psychology of hearing, (1982).
 [14] G.M. Morris, D.S. Goodsell, R.S. Halliday, R. Huey, W.E. Hart, R.K. Belew, A.J. Olson, Automated docking using a Lamarckian genetic algorithm and an empirical binding free energy function, J Comput Chem 19 (1998) 1639-1662.
 [15] S. Oviatt, Multimodal interfaces, 2003, pp. 286-304.
 [16] R.B. Welch, D.H. Warren, Immediate perceptual response to intersensory discrepancy, Vol. 88, 1980, pp. 638-667.