

가상환경에서의 3차원 포인팅작업 성능평가 모형

Performance estimation model of the three-dimensional pointing tasks in virtual environment systems

박재희¹, 박경수²

¹한국표준과학연구원 인간공학연구실

²한국과학기술원 산업공학과

Abstract

Virtual reality environment system is expected to be used as a new user interface tool owing to its high immersiveness and high interactivity. To use VR interface effectively, we should identify the characteristics of the three-dimensional control tasks as if we did in two-dimensional graphic user interface environments. As a first step, we validated Fitts' law for the three-dimensional pointing tasks with the two input devices, Spaceball and Spacemouse. Different from the two-dimensional control tasks, VR pointing tasks needed inclusion of a new variable, size of the moving object, to Fitts' law. The modified Fitts' law highly enhanced the coefficient of determination, R^2 . Besides the fact, we also found that Spacemouse was superior to Spaceball in our experiments.

1. 서론

3차원 그래픽 환경과 각종 입출력장비의 발전으로 인공현실감(VR: Virtual Reality)기술은 날로 발전하고 있다. 최근에는 WWW(World Wide Web)에서의 표준적인 VR 환경 구축언어인 VRML(Virtual Reality Modeling Language)이 발표되어 컴퓨터에서의 VR 이용이 더욱 늘어날 것으로 예상된다[Pesce 1995]. 그동안 컴퓨터의 사용환경이 명령어기반사용자인터페이스(CUI:Command-based User Interface)에서 매킨토시(Macintosh)나 윈도우(Window)로 대표되는 그래픽사용자인터페이스(GUI:Graphic User Interface)로 변해왔는데 앞으로는 가상현실 사용자인터페이스(Virtual Reality User Interface)가 덧붙혀져 사용자인터페이스의 주류를 이룰 것으로 예상된다. 그러나 아직까지 이러한 VR 환경에서의 다양한 작업에 대한 인간성능(human performance)의 평가와 이에 따른 인간공학 원칙들은 충분히 확립되어 있지 못한 형편이다.

이미 GUI 환경에서는 사용자인터페이스의 가장 기본적인 작업인 포인팅(pointing), 드래깅(dragging) 작업들과 그 주요 입력장치인 마우스(mouse), 트랙볼(trackball), 조이스틱(joystick) 등에 대해 많은 연구들이 이루어진 바 있다(Card 1978, MacKenzie 1989, 박재희 1992). VR 환경에서도 최근에 이르러 GUI에서와 비슷하게 포인팅, 드래깅, 혹은 내비게이션(navigation) 등의 작업에 대한 인간성능을 예측하고 평가하는 연구들이 시작되고 있다. 이러한 노력의 대표적 예로 Zahi, Ware, Park(1994) 등의 연구가 있다. Zahi는 6자유도의 등척성(isometric)입력장비와 등력성(isotonic)입력장비에 대한 인간

성능을 비교하였다[Zahi 1993]. Ware는 3차원 포인팅 작업에 대해 시간지연(time delay)과 프레임 레이트(frame rate)를 함께 고려하는 수정된 Fitts 법칙을 제안한 바 있다[Ware 1994].

Fitts의 법칙은 손이 표적까지 도달하는 시간을 예측하기 위해 만들어진 모형으로, GUI 환경에서 위치 제어를 사용하는 마우스나 트랙볼의 포인팅과 드래깅 작업성능을 예측하는데에는 적합하였다. Fitts의 법칙은 이동시간 (Y)을 단순히 표적물체(target object)의 크기(ST)와 포적까지의 거리(D)의 함수로 표현하고 있다(식 1 참조).

$$Y = a + b \log_2(2D/ST) \text{ ----- (식 1.)}$$

그러나 VR 환경에서는 포인팅 작업의 성능을 예측하는데 Fitts의 법칙이 적절하지 못한 면이 몇 가지 있다. 첫째, VR의 등척성 입력장비들은 주로 속도제어가 유리하여[Zahi 1993] 이를 많이 사용하며, 위치 추적센서를 사용하는 등력성입력장비들의 경우에도 먼 거리의 표적을 포인팅하기 위해서는 공간 상에서의 손의 잦은 왕복운동을 필요로 하므로 Fitts의 법칙이 안 맞을 여지를 가지고 있다.

둘째, VR환경에서는 포인팅이나 드래깅 시 대상이 되는 물체(object)가 다양한 크기를 가질 수 있다. 일례로 가상의 사무실을 하나 만들었을 때 그 안에서 연필 혹은 책상등을 옮길 수 있는데 이때 이동의 대상이 되는 물체의 크기는 다양하고, 그 크기가 작업성능에도 영향을 미칠 것이다. 따라서 이동물체의 크기도 표적의 크기 못지 않게 중요성을 갖는다.

셋째, 인간의 수작업이나 GUI환경에서의 입력작업들은 시점(viewpoint)이 크게 변화하지 않으며, 확실한 방향축(reference axes)을 가지고 있다. 즉 실제의 수작업은 3차원 공간의 시각적 정보와 체성감각을 갖게 되며, 일반적 GUI 환경은 스크린 자체가 확실한 공간정보를 제공하게 된다. 그러나 3차원 가상환경에서는 시점의 변화를 수반시킬 경우 자신의 위치정보를 잃거나, 표적이 시야에서 사라지는 경우가 생기기 쉽다. 따라서 적절한 시각적 암시(visual cue)의 제공 여부에 따라 작업 수행도가 크게 달라질 것이다.

따라서 본 연구의 가정은 3차원 가상공간에서의 포인팅작업은 단순히 Fitts의 법칙을 적용하기에는 무리이며 이의 수정된 모형 혹은 다른 예측 모형을 필요로 한다는 것이다. 본 연구는 이러한 관점에서 포인팅작업 수행시간을 위에서 언급한 요인들을 포함하는 함수로 보고 이를 적절히 예측할 수 있는 모형을 구하고자 하였다.

2. 실험계획

2.1 실험장비

본 실험에는 개인용컴퓨터(intel 120MHz)가 사용되었고, 3차원 가상환경의 구성은 VR용 소프트웨어인 SuperScape™를 이용하였다. 출력장치로 SONY 사의 21인치 120 Hz 모니터를 가로 1024, 세로 768 픽셀 모드에서 사용하였다. 출력은 CrystalEyes™ 를 이용할 경우 입체시(stereoscopic vision)로도 제공될 수 있으나 이번 실험에서는 사용하지 않았다. 실험의 대상이 된 입력장치로는 Spaceball™, Spacemouse™ 가 사용되었다(그림 1 참조). 두 입력장치는 6자유도의 운동이 가능하나, 이번 실험에서는 X,Y,Z 축의 이동과 Y축을 중심으로 한 요(yaw) 회전 등 4 자유도만 갖도록 하였다. 이동물체에 시점(viewpoint)을 부착하고 6 자유도를 다 사용하면, 조종을 약간만 잘 못해도 표적이 시야에서 사라지기가 쉬워 작업의 난이도가 너무 커지기 때문에 4 자유도만 허용하였다.

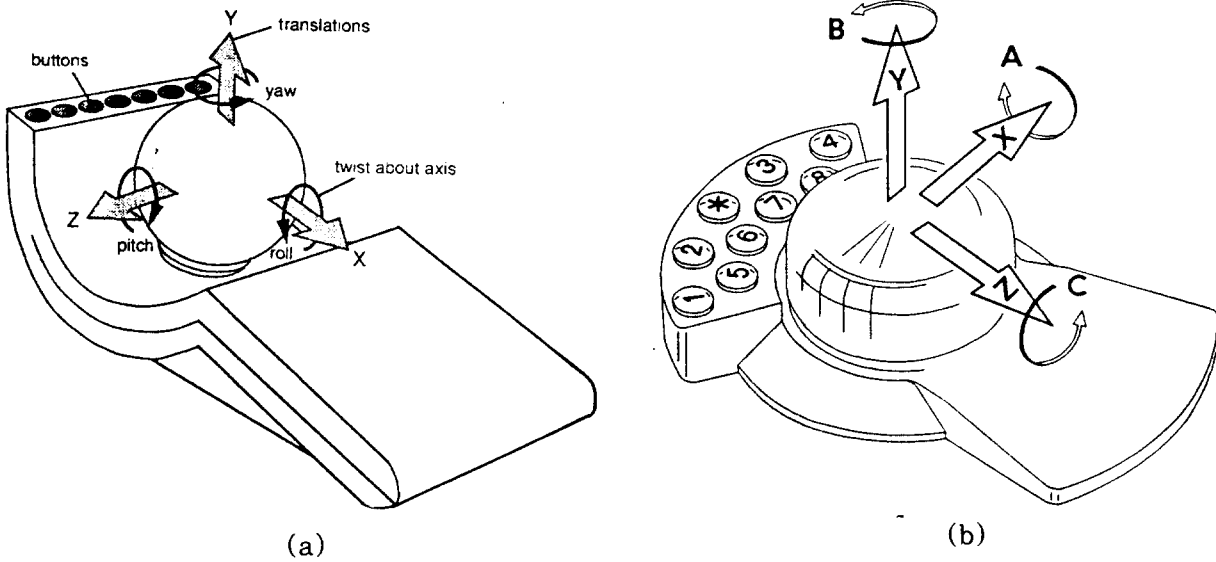


그림 1. 3차원 입력장비 : (a)Spaceball, (b)Spacemouse

2.2 실험방법

피실험자에게 주어진 작업의 내용은 항상 일정 위치에 나타나는 정육면체의 이동물체를, 무작위 위치에 나타나는 또다른 표적 정육면체까지 빠른 시간 안에 이동시켜 맞추면 작업이 끝나도록 하였다. 이 작업은 GUI 에서의 포인팅 작업에 해당한다고 할 수 있다. 표적물체의 위치는 X,Y,Z 공간 상에 무작위로 나타나게 하여 이동물체와 표적 간의 거리가 실험 때마다 변화하도록 하였다. 이동물체와 표적의 크기도 각각 일정간격의 10 단계 변화를 주어 모두 100 개의 조합이 생기도록 하였다. 한편 시각적 암시로 XY, YZ, ZX 면을 각각 무작위로 보이거나 안 보이도록 하는 시각적 암시를 고려하였다. 실험조건에 고려된 각 독립변수와 그 변위는 다음과 같으며, 작업의 한 장면을 그림 2에 나타내었다.

D : 정육면체 표적물체의 한변의 길이 ($D=5005n$: $n=1,2,\dots,10$)

ST: 정육면체 이동물체의 한변의 길이 ($ST=5005n$: $n=1,2,\dots,10$)

SM: 표적과 이동물체 사이의 거리 ($SM=30000\sim 2000000$)

VC: 시각적 암시 ($VC=XY$ 면(0 or 1)+ YZ 면(0 or 1)+ ZX 면(0 or 1): 0 무, 1 유)

각 피실험자는 무작위로 추출되는 작업 조건에 대해 모두 100 번의 시도를 하였다. 물론 피실험자는 실험 전 충분한 연습을 하도록 하여 VR 환경과 입력장비에 어느 정도 숙련이 이루어진 상태에서 작업을 수행하도록 했다. 피실험자는 두 입력장비를 모두 사용하되, 사용 순서는 피실험자 그룹을 둘로 나누어 서로 균형을 맞추도록 했다. 종속변수인 작업수행시간과 1/10 초마다의 이동물체의 궤적은 SuperScape 스크립트(script) 언어를 이용해, 자동으로 기록할 수 있도록 하였다.

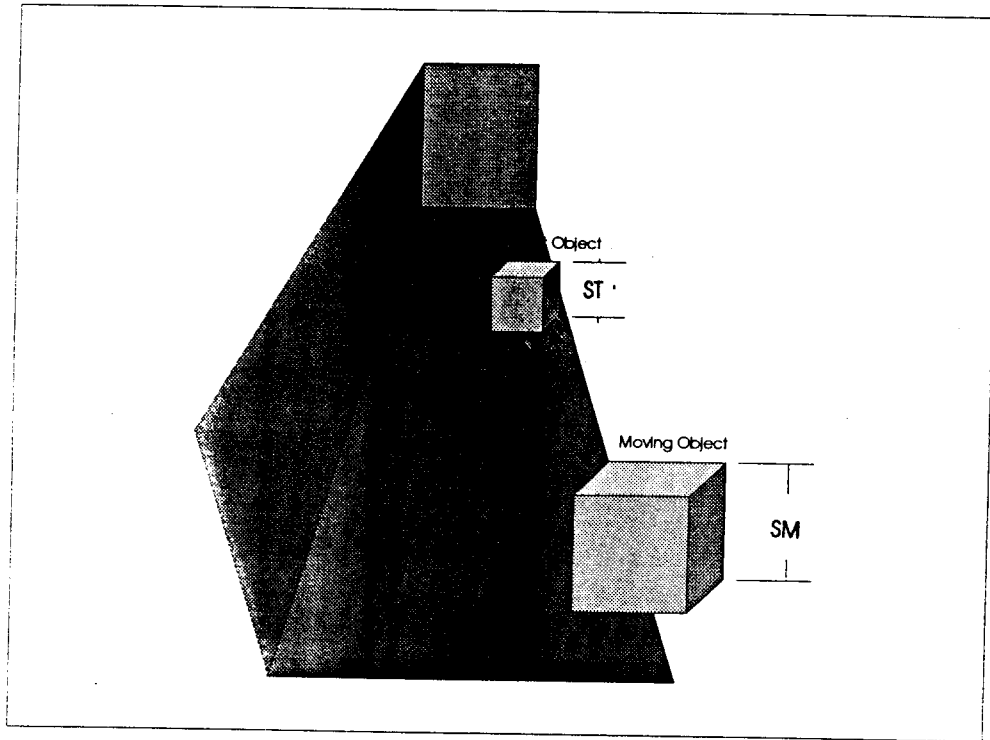


그림 2. 가상환경에서의 3차원 포인팅작업

3. 결과분석과 토의

스페이스볼과 스페이스마우스 두 입력장비에 대한 실험 데이터를 분석한 결과는 다음과 같다. 우선 평가 모형을 찾기 위해 Fitts의 법칙을 위시해 이를 변형한 몇 개의 모형을 추출하고 이에 대해 회귀분석을 실시하였다. 예비분석 단계에서 시각적암시(VC)는 일관성 있는 결과를 보이지 못하여 에러에 넣어서 계산하였다. 또한 작업완수시간의 분산이 작업 난이도에 따라 증가하는 경향을 보였기 때문에 가중회귀모형을 사용하였다. D, SM, ST 등의 변수들을 대상으로 한 회귀식과 각 모형별 결정계수 (R^2)의 값은 다음 표 1. 과 같이 나타났다.

표 1. 각 회귀모형과 결정계수

| Model (ID) | Spaceball | | R^2 | Spacemouse | | R^2 |
|----------------------------|-----------|------|-------|------------|------|-------|
| | a | b | | a | b | |
| $\log_2(2D/TS)$ | -1.74 | 1.26 | 0.21 | -2.85 | 1.22 | 0.28 |
| $\log_2(2D/(ST+MS))$ | -4.17 | 2.08 | 0.38 | -2.86 | 1.52 | 0.33 |
| $\log_2(2D/(ST^2+SM^2))$ | 17.41 | 1.74 | 0.75 | 14.66 | 1.55 | 0.62 |
| $\log_2(10D/(ST^2+SM^2))$ | 12.75 | 1.60 | 0.79 | 13.23 | 2.28 | 0.75 |
| $\log_2(10D/(2ST^2+SM^2))$ | 15.69 | 2.15 | 0.78 | 15.31 | 2.36 | 0.84 |

이를 볼 때 VR의 두 입력장비인 Spaceball과 Spacemouse을 이용한 가상환경에서의 포인팅작업은 Fitts의 법칙으로는 잘 설명 될 수 없는 것으로 보인다. 본 실험 결과에 의하면 식 2 와 같은 형태의 모형이 오히려 더 타당하리라 보여진다.

$$Y = a + b \log_2(cD / (2ST^2 + SM^2)) \text{----- (식 2.)}$$

이 모형에 의하면 표적의 단면적과 이동물체의 단면적의 합이 작업난이도에 영향을 미치게 되는데 이 때 표적의 크기가 이동물체에 비해 2 배 정도의 중요성을 더 갖고 있다고 볼 수 있다. c 는 모수로 본 실험에서는 10 이 적정한 것으로 나타났다. 이 모형을 이용해 회귀분석을 한 결과가 그림 3에 나타나 있다.

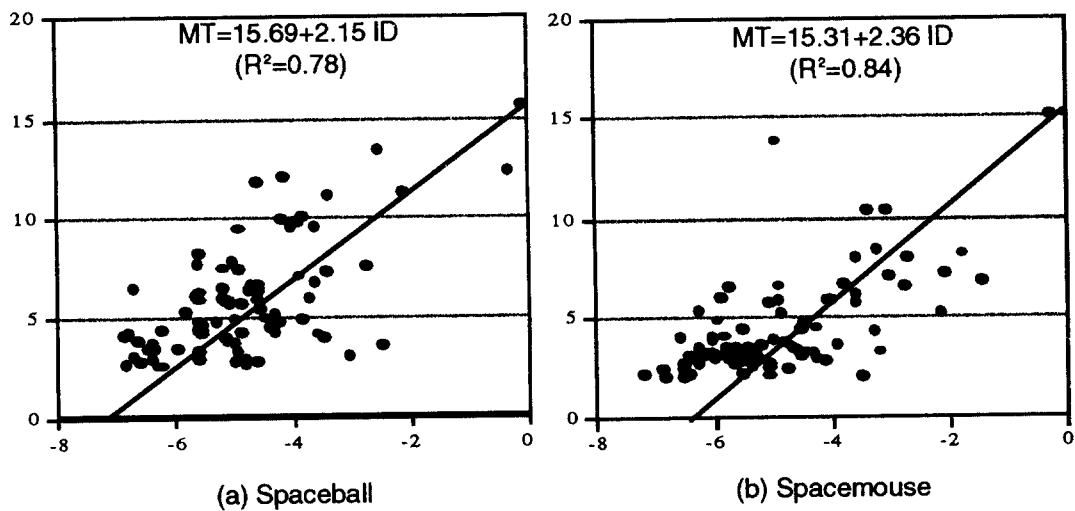


그림 3. Spaceball과 SpaceMouse 의 포인팅 작업성능 예측

Spaceball과 Spacemouse에 대한 비교를 수행하기 위해 두 회귀선의 동일성 검정을 실시하였다. 귀무가설은 두 회귀식의 절편과 기울기가 각각 동일하다는 것이된다. 검정결과 검정통계량 $F(2,170) = 3.0397$ 로 두 회귀식은 서로 같지 않은 것으로 나타났다($P = 0.0505$). 이러한 결과를 볼 때 Spacemouse는 Spaceball에 비해 본 연구의 대상이 된 ID 구간에서는 우수한 3차원 포인팅 장치라고 할 수 있다.

4.결론

본 연구는 3차원 가상현실 세계에서의 입력제어작업의 성능을 평가하기 위한 연구의 일환으로 이루어졌다. GUI 환경에서와 마찬가지로 3차원 가상환경에서도 포인팅이 가장 기본적인 작업이 될 것이다. 본 연구는 우선적으로 3차원 가상환경에서의 포인팅 작업에 대해 Fitts의 법칙을 이용해 작업성능 예측 모형을 만들어 보았다. 그러나 분석 결과 3차원 가상환경에서는 Fitts의 법칙을 단순히 적용시킬 수 없다는 것이 밝혀졌다. 대신에 이동물체의 크기까지 고려한 수정 모형을 제안하였으며 이는 포인팅 작업에 대해 상당히 높은 설명력

을 보여주었다. 또한 본 실험에 사용된 두 개의 입력장치인 Spacemouse와 Spaceball을 비교할 때 Spacemouse 통계적으로 약간 우세한 것으로 나타났다.

물론 이 한 번의 실험으로 3차원 입력작업의 인간성능의 특성을 다 파악했다고 볼 수 없다. 이번 실험에서 고려되었지만 유의한 결과를 보이지 못했던 시각적 암시와, 자유도, 시점의 부착 위치 등이 복잡하게 3차원 작업에 관여하고 있는 것이 사실이다. 따라서 앞으로의 연구는 이러한 나머지 요소들까지 포함하는 실험으로 확장되어야 할 것이다. 이러한 특성들의 관계가 명확히 밝혀지어야만 3차원 입력장치의 적절한 설계와 가상 환경 작업의 효과적인 구성이 가능해질 것이다.

참고문헌

- [1] Card, S.K., English, W.K., and Burr, B.J.(1978), Evaluation of mouse, rate-controlled isometric joystick, stepkeys and textkeys for text selection on a CRT, *Ergonomics*, 21, 601-613.
- [2] MacKenzie, I.S., Sellen, A., and Buxton, W.(1991), A computer of input devices in elemental pointing and dragging tasks, *Proceedings of the human factors in computing systems*, 161-184.
- [3] Pesce, M. (1995), *VRML: browsing & building cyberspace*, New Riders Pub.
- [4] Park, J.H., Lee, N.S., and Park, K.S. (1994), Reality and human performance in virtual environment, *The 3rd pan-pacific conference on occupational environment(seoul, Korea)*, 535-539.
- [5] Space control company (1994), *3D input device Magellan: User's manual, V3.8*.
- [6] Ware, C., and Blackrishnan, R.(1994), Reacjhing for objects in VR displays: lag and frame rate, *ACM Tr. on CHI*, 1(4), 331-356.
- [7] Zahi, S. and Milgram, P. (1993), Human performance evaluation of manipulation schemes in virtual environments, *Proc. of IEEE Virtual Reality Annual international Symposium(Seattle, U.S.A)*.
- [8] 박재희, 이남식 (1992), 직접조작방식 입력장치의 성능 비교, *대한인간공학회지*, 11(1), 103-109.