

가상현실 표시장치의 공간적, 시간적 해상도에 따른 인간성능 평가

박재희*, 박경수**, 고희동***

*한경대학교, **한국과학기술원 산업공학과, ***한국과학기술연구원

Human Performance Variations in the different Spatial and Temporal Resolutions of a Stereoscopic Display

Jae Hee Park*, Kyung Soo Park**, Hee Dong Ko***

*Hankyong National University, ** Dept. of Industrial Eng.,KAIST, *** KIST

Abstract

가상현실 시스템은 대부분 가상세계에 대해 사용자의 3차원 제어작업을 요구하게 된다. 이때 3차원 제어작업을 효과적으로 하기 위한 입출력장치의 최적 설계는 매우 중요하다. 본 연구에서는 3차원 표시장치의 주요 설계요소인 공간적 해상도(spatial resolution), 시간적 해상도(temporal resolution or frame rate), 가상세계의 복잡도가 3차원 제어작업의 인간성능에 미치는 영향을 알아보았다. 이를 위해 3 조건의 화면 해상도, 2 조건의 프레임 레이트(18 Hz고정과 18Hz 이상 변동 최대화 조건), 3 조건의 가상세계 복잡도에 대한 18 조합에 대한 실험을 실시하였다. 실험결과 18Hz 로 고정된 프레임 레이트 조건이 프레임 레이트를 그 이상 최대로 하는 것보다 더 좋은 제어성능을 보였다. 화면 해상도는 높을수록 제어성능이 향상되었다. 가상세계의 복잡도에서는 방향 정보만 주는 경우가 방향 정보가 없는 경우나 너무 많은 정보가 있는 경우보다 나은 성능을 보였다. 이러한 실험결과는 가상환경 시스템의 표시장치나 가상세계 설계에 참조될 수 있을 것이다.

Keywords: Virtual reality, Spatial resolution, Frame rate, Human performance

1. 서론

가상환경시스템의 휴먼 인터페이스(human interface) 부분을 설계하거나 사용하다 보면 여러 가지 인간공학적 문제에 부딪치게 된다. 즉, 입력장치의 민감도 혹은 CD(Control Display) gain을 얼마로 하는 것이 좋을지, 또 어떤 입력장치가 주어진 작업에 적절할지 등이 고민사항이 된다(Lee, N.S., Park, J.H., and Park, K.S.

1996). 또한 출력 부분의 설계나 선택에 있어서도 어떤 장치가 좋을지, 화면 해상도(spatial resolution)와 프레임 레이트(frame rate; temporal resolution)는 어느 정도가 적절할지 모두 고민의 대상이 된다.

이러한 부분에 대한 연구는 전통적으로 HCI(Human Computer Interaction)의 주요 연구 대상이었는데 주로 2차원 GUI(Graphic User Interface) 환경에서 많은 연구가 이루어

진 바 있다. 그러나 상대적으로 3차원 입출력장치에 대한 인간성능에 대해서는 아직까지 그리 많은 연구가 이루어져 있지 못하다.

본 연구에서 다루는 3차원 출력장치의 주요 설계 고려요소로는 Stuart(1996)가 이미 출력장치의 해상도와 프레임 레이트(frame rate)와 가상세계의 복잡도(world complexity)를 제시한 바 있다. 상식으로 생각하면 높은 해상도와 높은 프레임 레이트가 항상 좋을 것으로 생각되나 컴퓨팅 파워에 한계가 있기 때문에 현실에서는 결국 앞서 언급한 세 요소의 적절한 절충이 요구되기도 한다(Brooks, 1988). 이에 대한 실험적 연구 결과를 낸 연구자들로는 Smets(1995), Ranadive(1979), Sheridan(1992) 등이 있다.

본 연구에서도 이러한 출력장치 설계의 세 요소에 대해 가상현실 시스템에서의 3차원 마우스 제어작업에 대해 실험을 실시하여 그 영향을 알아보았다.

2. 방법

2.1.1. 피실험자

5 명의 남자, 1명의 여자가 실험에 참여하였다. 피실험자 집단의 평균연령은 24.5 세이었고 표준편차는 3.3 년이었으며 이전에 가상현실 시스템을 이용한 3차원 제어작업을 해 본 경험이 없는 사람으로 국한하였다.

2.1.2. 실험장치

PC 환경에서 가상현실 저작도구인 Superscape™를 이용하여 실험에 사용할 가상세계 세 형태를 만들었다. 실험에 사용된 입력장치는 Spacemouse™ 이었으며 민감도는 실험을 통해 32cm/N·sec 로 최적화시킨 상태가 되도록 했다(박재희, 1998). 출력장치로는 LCD 셔터링 방식의 입체안경인 CrstalEyes™를 사용하였다. 화면의 해상도는 320×200부터 1600×1200까지 몇 단계로 변화시킬 수 있었으며, 프레임 레이트는 최대 60Hz까지 가능했다

2.1.3. 실험계획

해상도 3 조건(320×200, 640×480, 1024×768), 프레임 레이트 2 조건(18Hz 고정, 18Hz 이상 변동(최대화)), 가상세계 복잡도 3조건(무방향성 공간, 방향제시 공간, 현실유사공간-그림 1참조) 등의 총 조합인 18 개 실험조건에 대해 6 명의 피실험자가 모두 4 단계(phase)에 걸쳐 작업을 수행하도록 했다. 각 단계에서 피실험자는 3회의 작업수행을 하도록 했으면 그 평균치를 각 단계의 작업 수행시간으로 계산했다.

작업내용은 3차원 마우스인 Spacemouse를 사용하여 화면의 정육면체 모양의 커서(cursor)를 정해진 정육면체 형태의 빈 공간에 넣도록 하는 것이었다. 작업수행시간은 1/1000 초 단위로 측정되었다.



(a)무방향성 공간



(b)방향제시 공간



(c)현실유사 공간

그림 1. 실험에 사용된 가상세계

3. 결과 및 토의

대부분의 인간성능 실험에서 작업 회수가 반복될수록 성능이 좋아지는 학습효과가 나타난다. 본 연구에서도 1, 2 단계에서 피실험자들의 학습효과가 나타난 것으로 파악되었다. 이에 본 연구에서 의도한 실험조건에 대한 비교만을 위해서는 피실험자들이 학습효과가 더 이상 안 나타난 것으로 분석된(박재희, 1998) 3, 4 단계의 실험 데이터에 대해서만 분산분석(ANOVA)을 실시했다.

분석결과 모든 설계요소 별로 작업 수행시간에 통계적 차이가 있는 것으로 나타났다. 프레임 레이트는 18Hz 로 고정된 경우가 각 실험 조건 별 컴퓨터 능력이 되는 한 프레임 레이트를 최대화시킨 경우보다 작업 수행시간이 적게 걸린 것으로 나타났다($F_{1,655}=4.66, P=0.031$). 이는 프레임 레이트가 빠를수록 화면 전환이 부드럽고 자연스러워 작업성능도 향상시킬 수 있으리라는 예상과 다르게 나온 것이다. 이는 지나치게 프레임 레이트가 높으면 장면 전환이 빨라져 오히려 3차원 커서의 위치제어 작업에는 방해 받을 수 있음을 의미한다.

본 실험에서 제시한 18Hz 는 가장 복잡한 가상세계를 1024 × 768 pixel 해상도로 제시할 경우에 나올 수 있는 평균 속도를 기준으로 한 것이다. 인간 눈의 점멸융합주파수가 약 25 Hz 내외임을 고려하면 프레임 레이트는 18Hz -25 Hz 사이에서 최적화 할 필요가 있다. 즉 너무 프레임레이트를 높이는 것은 비용만 더들지 3차원 제어작업 작업성능은 저하할 수 있음을 알 수 있다.

화면의 해상도는 예상대로 해상도가 클수록 작업성능이 좋아지는 것으로 나타났다 ($F_{2,655}=8.91, P=0.000$), 던컨(Duncan)의 범위검정 결과로는 800×600과 1024 × 768 pixel 해상도 사이의 통계적 차이는 없는 것으로 나타났다. 따라서 커서의 3차원 제어작업 정도에는 최소 800×600 pixel 정도의 해상도가 요구된다 할 수 있다.

가상세계의 복잡도에서는 방향정보를 주는

공간이 무방향 공간이나 현실 유사공간에 비해서 유리한 것으로 나타났다($F_{2,655}=10.36, P=0.000$). 무방향성 공간은 3차원 커서 제어 작업이 매우 힘들 것이라는 것은 짐작할 수 있었던 사항이다.

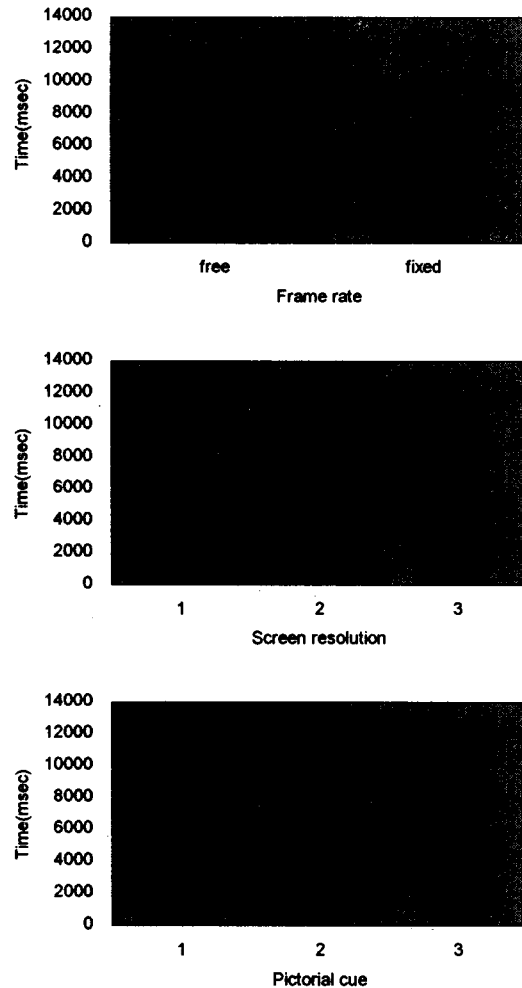


그림 2. 출력장치 요소별 작업수행시간 비교

그러나 방향정보를 포함해 위치에 대한 다양한 정보를 받을 수 있는 현실 유사공간의 경우에도 간단한 방향정보만 주는 경우보다 작업 수행시간이 오래 걸린 것은 의외였다. 본 실험의 경우 현실 유사공간은 사무실을 묘사한 것인데 커서 제어 작업 도중 커서가 이동 경로에서 벗어날 경우 다른 물체 뒤에 가려지는 등의 문제가 발생했는데 이런 것도 작업수행시간을

늘리는데 기여한 것으로 판단된다.

가상세계의 복잡도는 가상세계가 보다 크고 정밀한 내용을 담을수록 올라가게 되는데, 이는 사실감(reality)의 증대를 위해서는 어쩔 수 없는 일이기도 하다. 그러나 가상세계가 복잡해질수록 높은 해상도가 요구되고 그러다보면 컴퓨팅 파워의 한계 상 프레임 레이트가 18Hz 훨씬 이하로 떨어져 작업 성능을 크게 떨어트릴 수도 있게 된다. 따라서 가상세계의 복잡도는 작업성능을 고려할 때 프레임 레이트가 18Hz 이하로 내려가지 않는 범위에서 결정될 필요가 있다. 그리고 사실감보다 작업성능이 중용한 작업 같은 경우에는 가능한 방향정보를 필수적으로 포함한 단순한 가상세계 일수록 좋을 것으로 여겨진다.

4. 결론

출력장치를 포함한 가상세계의 출력 부분의 표현은 3차원 제어작업에 매우 밀접한 관련을 가지고 있다는 것을 실험을 통해 알 수 있었다. 해상도, 프레임 레이트, 가상세계의 복잡도 모두가 작업성능에 영향을 주는 것으로 나타났다. 프레임레이트는 가능한 18Hz 와 점멸융합주파수인 25 Hz 사이에서, 화면의 해상도는 최소한 800 × 600 pixel 이상이 되어야 좋은 것으로 나타났다. 가상세계는 방향정보가 필수적으로 포함되어야 하며 단순할수록 작업성능에는 도움이 되는 것으로 나타났다.

향후에도 이러한 문제에 대한 체계적 실험이 계속 진행되어 그 정보가 축적된다면 3차원 제어작업을 위한 출력장치의 인간공학적 설계가 가능할 것이다.

참고문헌

박재희(1998), Human performance of the three-dimensional control task in virtual environment, 박사학위논문, 한국과학기술원.

박재희, 박경수(2000), 가상현실시스템에서의 3차원 제어작업의 인간성능 평가, 대한인간공학회지, 19(1), 49-61.

Brooks, F.P.Jr.(1988), Grasping reality through illusion-interactive graphics serving science, Proc. of the CHI '88 Conferences on Human Factors in Computer Systems, 1-11.

Lee, N.S., Park, J.H., and Park, K.S.(1996), Reality and human performance in a virtual world, Int'l J. of industrial ergonomics, 18, 187-191.

Sheridan, T.B.(1992b), Telerobotics, automation, and human supervisory control, MIT press.

Stuart, R. (1996), The design of virtual environment, McGraw-Hill.

Ranadive, V.(1979), Video resolution, frame-rate, and grayscale tradeoffs under limited bandwidth for undersea teleoperation, SM Thesis, MIT.

Smets, G.J.F. and Overbeeke, K.J. (1995), Trade-off between resolution and interactivity in spatial task performance, IEEE Computer graphics and applications, Sep., 46-51.