

증강현실 저작환경에서 3D객체 조작을 위한 가상 손 기법들의 실험적인 평가*

하태진, 우운택

광주과학기술원 정보기전공학부 U-VR 연구실
{tha, wwoo}@gist.ac.kr

요약

본 논문은 증강현실 기반 저작(Authoring) 환경에서 감각형 객체를 조작 도구 프롭(Prop)으로 사용하여, 2D평면 또는 3D공간상에 3D객체 조작을 위한 효율적인 가상 손 기법(Virtual hand technique)을 제안한다. 제안된 방법은 연속적이고 이산적인 입력을 제공하는 버튼이 부착된 3차원 조작도구를 이용하여 빠른 조작행위를 가능하게 하며, 볼륨 기반 선택 영역 및 직조작(Direct manipulation) 기반의 이동 기법을 활용하여 효율적이며 사용성 높은 인터페이스를 제공한다. 제안된 조작 기법의 유용성을 검증하기 위해, 피츠의 법칙(Fitts' law)을 이용하여 기존의 3D객체 선택 및 위치/회전 조작 기법들의 성능을 비교 평가하였다. 3D객체가 2D평면상에 배치되어 있을 경우, 기존의 방법에 비해 효율은 최소 1.448배에서 최대 2.03 배 향상되었으며, 3D공간상에 배치되어 있을 경우에도 효율은 1.996배 향상되었다. 또한 정성적인 평가를 통해서도 기존 기법들에 비해 대체적으로 유의한 수준으로 높은 점수를 받았다.

1. 서론

기존 증강현실(AR: Augmented Reality) 응용어플리케이션 저작은, 가상현실(VR: Virtual Reality) 환경에서 3D콘텐츠 저작도구를 이용하여 콘텐츠 저작을 완료한 후 증강현실 상에서 그 3D콘텐츠 결과물을 실제 물리적 공간에 증강한다. 이 경우 서로 다른 두 공간상에 존재하는 좌표계의 문제, 3D객체 크기의 문제 등으로 인한 이질감이 발생되며 이를 보정하기 위한 추가적인 시간과 비용이 소용된다. 이를 보완하고자 도입된 몰입형 저작 기법은 증강현실 어플리케이션의 구동환경과 동일한 증강현실 환경에서 저작이 수행된다. 사용자는 감각형 인터페이스 기반의 직조작(Direct manipulation) 및 가상 손 기법(Virtual hand technique)을 이용하여, 저작과 동시에 테스트를 수행하여 즉각적인 수정을 통해 자연스럽게(현실과 가상의 이음매 없이) 증강현실 어플리케이션을 제작할 수 있는 장점이 있다[1].

몰입형 저작 인터페이스의 가장 중요한 기능은 3D객체 선택 및 위치/회전 방법이다. iaTAR에서는 카메라 트래킹 목적의 마커가 각 면에 부착된 정육

면체 형태의 조작 도구(Manipulation prop: 이하 프롭)에 증강된 짧은 가상 선 끝 점과 일정시간 동안 3D객체와 충돌 시켜 선택(이산적 입력) 이벤트를 발생시킨 후 프롭의 위치/회전 값을 3D객체에 적용한다[2]. 또는 마커가 윗면에 부착된 막대 또는 컵 모양의 프롭을 2D평면에 위치한 3D객체를 충돌시켜 선택한다[3][4]. 2D 평면을 기준으로 일정 높이 이내로 기울이거나 떨어뜨리는 제스처를 사용하여 위치/회전 변경을 완료한다.

상기 선택 및 위치/회전 조작 방법은 사용자가 선택 이벤트(이산적 입력)를 발생시키기 위한 특정한 기법(일정시간 동안 충돌상태 유지, 들어올리고 떨어뜨리는 제스처) 등 특정한 사용방법의 학습이 요구되며 선택 이벤트 발생을 위한 지연시간이 발생할 수 있다. 또한 단일 마커를 사용함으로써 임의의 카메라 시점에서 조작 도구 프롭을 추적하는데 실패하기도 한다. 마지막으로 3D객체를 조작과 관련된 위치/회전의 자유도가 2D 평면에 국한되어 있거나 제한적이다.

본 논문에서는 증강현실 저작 환경에서 3D객체의 선택 및 조작 방법을 제안한다. 일반 컴퓨터 사용 환경에서 쉽게 구할 수 있는 마우스 입력장치에 탈부착이 가능한 다수의 마커가 인쇄된 정육면체 형태의 상자를 제안하였다. 마우스 버튼입력 처리를 통해 저작 인터페이스에서 이벤트 함수를 발생시키는데 필요한 이산적 입력을 제공할 수 있으며, 다수의 마커는 임의의 카메라 시점에서 적절하게 프롭의 추적을 가능하게 하여 3D 객체 위치/회전 속성 변경에 필요한 연속적인 입력을 동시에 제공할 수 있다. 제안하는 드래그 엔드 드롭 기능은 2D 평면상뿐만 아니라 3D공간(공중)에도 3D 객체의 3축 위치 및 3축 회전 조작을 동시에 가능하게 한다. 뿐만 아니라 프롭에 증강된 원구형태의 3D 볼륨 영역을 충돌 범위로 확장하여 3D 객체의 선택을 용이하게 한다. 마지막으로 제안된 조작 기법의 유용성을 검증하기 위해, 피츠의 법칙을 이용하여 기존의 3D객체 선택 및 위치/회전 조작 기법들의 성능을 비교 평가한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서 3D 객체 조작 기법에 대한 기술적인 설명을 하고 3장에서 사용성 평가에 대한 사항에 대해 서술한다. 4장에서는 정량적/정성적 평가 결과를 보이고, 마지막으로 5장에서 결론과 향후 연구에 대해 언급한다.

* 본 연구는 문화체육관광부 및 한국문화콘텐츠진흥원의 문화콘텐츠기술연구소육성사업의 연구결과로 수행되었음

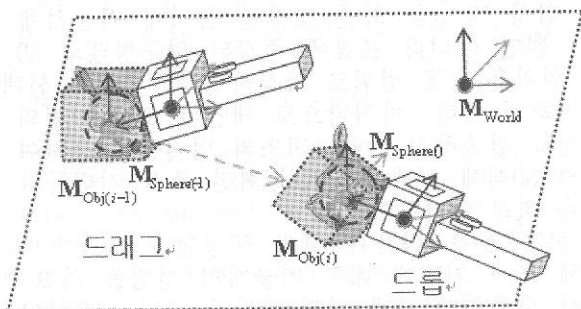
2. 3D 객체 조작 기법

저작 사용자 입력장치는 이산 및 연속 타입 입력을 요구한다. 연속적인 입력 신호 측면에서, 임의의 카메라 시점에서 적절한 프롭 위치 좌표를 추적하고 경우에 따라 이를 3D객체의 위치/회전 속성 및 크기 색상 변경에 필요한 입력 값으로 변환할 수 있다. 동시에 이산적 입력은 마우스 버튼입력 처리를 통해 저작 인터페이스에서 필요한 이벤트 함수(3D 객체 선택 또는 저작 메뉴 선택)를 발생시키는데 사용된다. 본 논문에서는 기존의 마우스에 탈 부착이 가능한 카메라 트래킹 패턴 마커가 인쇄된 정육면체 형태의 상자를 고안하였다. 다수의 마커는 임의의 시점에서 프롭의 추적을 가능하게 한다.

조작도구 프롭의 선택 볼륨이 3D객체 경계 박스와 충돌한다면, 해당 3D객체의 선택이 가능하다. 만약 다수의 객체가 동시에 경계 상자에서 충돌되는 경우, 가장 짧은 거리의 객체 1개가 선택되도록 한다. 또한 가상 원구의 2D기준 평면에 충돌을 하였을 때 물리적인 피드백을 제공하기 위해, 원구 형태의 투명 플라스틱을 프롭의 앞부분에 부착한다.

3D객체의 3축 위치와 3축 회전 조작은, 3D객체가 선택된 상태에서, 사용자가 조작도구 프롭 버튼을 누르고(이산 타입 입력) 유지를 하면 드래그 상태(연속 타입 입력)가 되고, 만약 사용자가 버튼을 떼게 되면(이산입력) 드롭 상태가 되어 3D객체의 위치/회전 속성 변경이 완료된다(그림 1). 수식 1와 같이 드래그 상태 동안 위치 속성은 현재 프레임에서 얻어진 M_{Sphere} 를 3D객체의 좌표행렬에 대입한다. 회전 속성은 이전 프레임의 원구(M_{Sphere})로부터 얻어진 좌표행렬의 회전 속성값에 대한 현재 프레임의 상대적인 회전 속성 값을 3D객체의 좌표행렬에 대입한다.

$$[RT]M_{Obj(t+1)} = [R]M_{Obj(t)} \left([R]M_{Sphere(t)}^{-1} [R]M_{Sphere(t+1)} \right) [T]M_{Sphere(t+1)} \quad (1)$$



(그림 1) 3D 객체 이동 및 회전시의 좌표계 관계.

3. 사용성 평가

3.1 평가 모델

제안된 3D 객체 조작 기법의 사용성을 평가하기 위해 피츠의 법칙(Fitts' law)을 이용한다. 피츠의 법칙은 인지공학 분야에서 포인팅 장치의 작업의 난이도에 대한 사용자의 운동(움직임)에 따른 지연(소요) 시간을 정량적으로 평가 및 예측 할 수 있는 수학적 모델로[5], 초기위치의 일정 영역을 포인팅 장치로 선택한 후, 최대한 빠르게 목표위치의 일정영역을 선택하는 시간을 기록한다.

작업의 난이도(ID: Index of Difficulty)는 초기 위치의 영역과 목표 위치의 영역 사이의 거리(A: Target Amplitude)와 영역의 너비(W: Target Width)로 구성된다. 두 영역 사이의 거리가 멀어지거나(A가 높아짐) 영역 너비가 좁아질 경우(W가 작아짐), 작업의 난이도(ID:bits 단위)는 높아진다. 또한 이동 시간 (MT: Movement Time)은 작업 난이도(ID)의 선형 관계로 가정한다. 즉 작업의 난이도가 높아질수록 시간은 오래 걸리게 된다. 수식 2의 성능의 지표(IP: Index of Performance, bit/sec단위)는 ID/MT로 얻을 수 있다 [6].

추가로 오차 계산을 고려하는 효과적인 목표 영역 너비(We:Effective width)을 이용한 효율(TP: Throughput)은 ISO의 권고사항[7]을 참조하였다. We는 수식 5과 같이 목표 영역과 사용자가 선택한 영역 사이의 표준편차를 포함한다. 또한 실질적인 평가를 위해서 목표영역의 위치가 3차원 위치로 확장하였다. 그림 2는 3차원 위치 변화를 나타낸 것이다.

$$IP = ID/MT \quad (2)$$

$$\text{Throughput} = ID_e/MT \quad (3)$$

$$ID_e = \log_2 \left(\frac{A}{W_e} + 1 \right) \quad (4)$$

$$W_e = 4.133SD \quad (5)$$

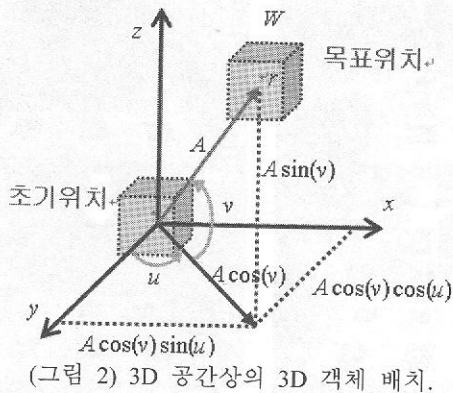
$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [(x_i - \bar{x})^2 + (y_i - \bar{y})^2 + (z_i - \bar{z})^2]}{n-1}} \quad (6)$$

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [(x_i - \bar{x})^2 + (y_i - \bar{y})^2 + (z_i - \bar{z})^2]}{n-1}} \quad (7)$$

$$x = A \cos(v) \cos(u)$$

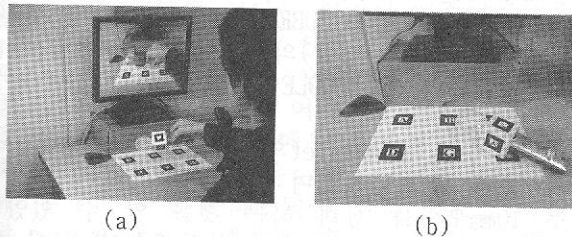
$$y = A \cos(v) \sin(u)$$

$$z = A \sin(v)$$



3.2 평가 환경 및 과정

아틀렛의 구동은 급격하게 변하지 않는 일반적인 실내 환경에서 수행되었다. 카메라는 일반 USB 카메라를 이용하였고, 초당 영상입력은 30번이고 영상의 해상도는 640x480픽셀이다. 컴퓨터는 2.40GHz CPU, 4GB 메모리를 장착하고 있다. 사용된 라이브러리는 osgART[9]로 장면 그래프(Scene graph) 구조의 렌더링 방식과 컴퓨터 비전 기반 추적 함수를 제공한다. 그림 3(a)에서와 같이 모니터, 카메라, 사용자의 시선이 일직선상에 있도록 하였다.



(그림 3) 실험 환경: (a) 실험 공간, (b) 입력 영상.

난이도(ID)는 총 16단계 시도(너비x거리)로 구성된다. 실험상에서는 무작위 순서로 각각의 시도를 수행하도록 하였다. 독립 변수는 영역의 너비/위치(W, A)를 포함하는 작업의 난이도(ID)이고 종속 변수는 이동시간(ms), 오차(mm), 그리고 정성적 평가 점수(표2)이다. 이를 통해 효율(IP)와 오차를 고려한 효율(Throughput)을 구할 수 있다. 비교 가능한 기법은 표1과 같이 2차원 배치에서는 총 4가지, 3차원 배치에서는 총 2가지 대조군을 비교한다.

<표 1> 실험 독립 변수

독립 변수	속성
너비(W)	10, 20, 30, 40(mm)
거리(A)	60, 120, 180, 240(mm)
각도	0, 30, 60(도)
2차원 배치	CUP (2D_CUP) PADDLE (2D_PADDLE) CUBE (2D_CUBE) ARtalet (2D_ARtalet)

3차원 배치	CUBE (3D_CUBE) ARtalet (3D_ARtalet)
--------	----------------------------------------

<표 2> 정성적인 평가 항목(7 점 척도)

평가 항목	범위
3D객체 선택(Selection)	1 (어려움) ~ 7 (쉬움)
3D 객체 이동(Translation)	1 (어려움) ~ 7 (쉬움)
3차원 깊이 인식(3D Depth)	1 (어려움) ~ 7 (쉬움)
프롭의 인식(Tracking)	1 (불안) ~ 7 (안정)
체감 속도(Speed)	1 (느림) ~ 7 (빠름)
피로도(Comfortable)	1 (불편) ~ 7 (편안)
이해도(Understand)	1 (어려움) ~ 7 (쉬움)

3.3 비교 기법 구현 사항

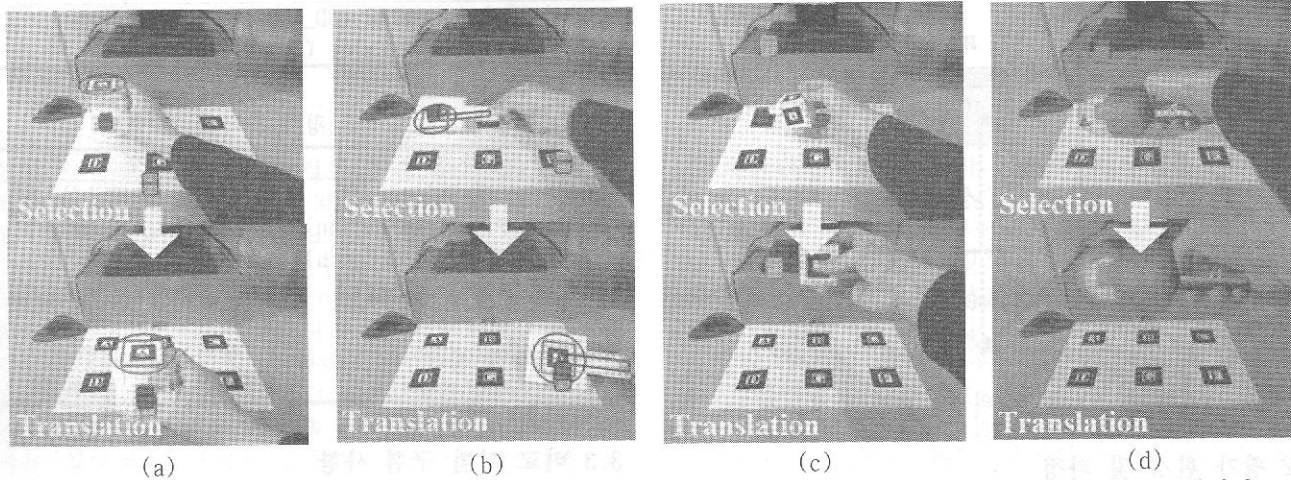
실험에서 사용하는 기준 마커는 ARToolKit[8]에 포함되어 있는 마커를 사용하며, 각 마커의 크기를 4cm로 10cm간격으로 2행 3열로 6개가 배치되어 있다. 조작용구 프롭에 부착되어 있는 마커 또한 ARToolKit 예제에 포함되어 있다. ARtalet과 CUBE의 경우 윗면과 아랫면을 제외한 4면에 대해 부착이 되어있고, PADDLE과 CUP의 경우에는 마커 1개를 윗면에 부착하였다. 마커 크기는 3cm이고 주변에 5mm의 흰색 여백을 두어, 결과적으로 4cm의 길이이다.

컵 방법(CUP): 컵은 원통형으로 높이는 80mm이고, 둘레는 50mm으로 40mm 크기의 마커가 컵의 위 부분에 부착이 되어있다. 선택 조건은 3D객체가 컵에 붙어있지 않고 마커의 z축 값이 2D평면을 기준으로 80mm 높이 이내에 있을 경우이다. 떨어뜨리는 조건은 3D객체가 컵에 붙어있고 마커의 z축 값이 2D평면을 기준으로 110mm 이상일 경우로 설정하였다.

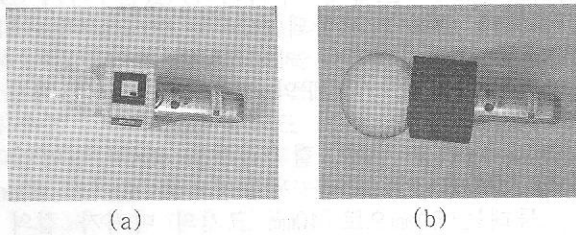
패들 방법(PADDLE): 2D 평면을 기준으로만 3D객체를 배치할 수 있고, 패들과 3D객체가 충돌 시 3D객체가 패들 위에 위치한다. 목표 위치로 패들을 움직인 후 기울이는 제스처를 사용하여 3D객체를 2D평면에 떨어뜨린다. 선택 영역은 40.0 mm이고, 3D객체 크기에 따라 들어올리고 떨어뜨리는 조건이 변경된다.

정육면체 형태의 프롭(CUBE): 3D객체를 선택하기 위해, 다수 마커가 부착된 정육면체 형태의 프롭 앞에 증강된 가상 선 끝을 3D객체와 충돌 시킨 후, 일정시간 동안 가상 선 끝이 3D객체 안에 포함되도록 한다. 3D객체 선택/해지 이벤트는 15프레임 이상 연속적으로 손으로 마커가 가려질 경우 실행된다.

아틀렛 기법(ARtalet): 기존 마우스의 앞부분에 다수의 마커가 인쇄된 정육면체 상자가 탈 부착한 형태로 장착되어있다. 정육면체 앞에 부착된 투명한 플라스틱 재질의 원구의 반지름은 2cm 이고, 0.5cm 두께를 갖는다. 증강현실 화면에서는 노랑색 가상 원구 모델이 합성된다. 이 플라스틱 원구에 의해 가상원구와 2D 평면과의 충돌 시 물리적 피드백을 제공할 수 있다.



(그림 5) 비교 기법들의 선택 및 이동 방법: (a) 3D객체의 2D배치 상황에서의 CUP 기법 (2D_CUP), (b) 3D객체의 2D 배치 상황에서의 PADDLE 기법 (2D_PADDLE), (c) 3D객체의 3D배치 상황에서의 CUBE 기법 (3D_CUBE), (d) 3D객체의 3D배치 상황에서의 ARtalet 기법 (3D_ARTalet).



(그림 4) 아틀렛 기법의 조작도구 프롭 (a) 입력영상, (b) 증강현실에서의 조작조구.

4. 평가결과

피 실험자는 총 20명으로, 남성 15명 여성 5명으로 구성되며 평균 나이는 30.05세 (표준편차 4.87세)였다. 증강현실 경험자는 16명이었고, 전원 오른손잡이였다.

4.1 정량적 평가 결과

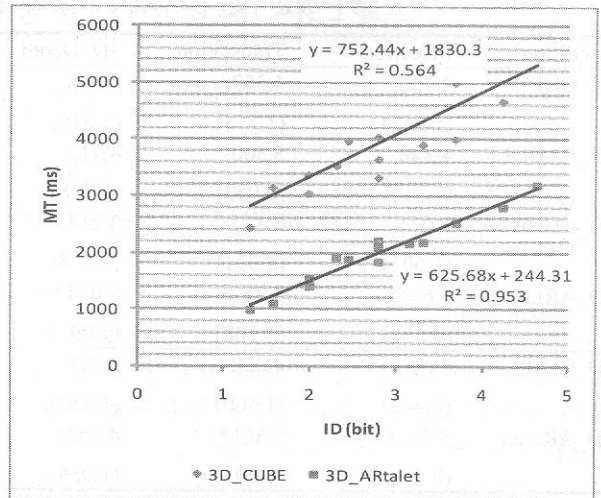
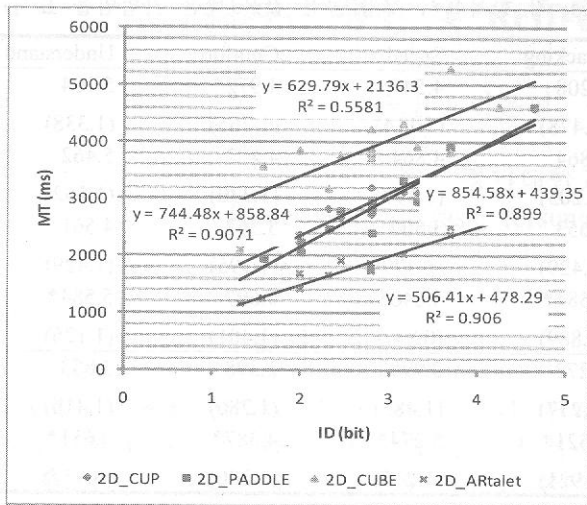
2D 배치: 2D_ARTalet의 경우가 가장 적은 경과 시간이 소요되었으며, 그 다음으로 2D_PADDLE, 2D_CUP, 2D_CUBE 순이었다. 오차 측면에서는 모든

조작 기법이 10mm 오차를 상회하였다. 3D_CUBE를 제외한 다른 조작 기법의 경우 모두 상관계수의 값이 0.9 이상으로 피츠의 법칙에 따른 모델링이 적절하게 정형화 되었다. 작업의 난이도가 증가함에 따라 선형적으로 소요시간이 증가하는 것을 관찰할 수 있었으며, 2D_ARTalet의 경우에 전체적으로 적은 소요시간이 걸리는 것을 알 수 있었다(그림 6). 2D_ARTalet의 경우가 IP 가장 효율이 높았으며, 그 다음으로 2D_PADDLE이었으며 근소한 차이로 2D_CUP가 뒤를 따랐다. 2D_CUBE의 경우는 가장 효율이 낮았다. TP(Throughput)의 경우에도 2D_ARTalet이 가장 높았으며 2D_PADDLE, 2D_CUP, 2D_CUBE 순이었다(표3).

3D 배치: 3D_ARTalet의 경우 3D_CUBE보다 적은 경과시간이 소요되었으며 오차 측면에서는 두 기법 모두 10mm 오차를 상회 하는 것을 알 수 있었다. 3D_ARTalet 조작도구의 경우 상관계수의 값이 0.9 이상으로 피츠의 법칙에 따른 모델링이 정형화 적절하게 되었으나 3D_CUBE의 경우는 그렇지 않았다(그림 6). 2D_ARTalet의 경우에 3D_CUBE보다 전체적으로 적은 소요시간이 걸리는 것을 알 수 있었다. 3D_ARTalet의 경우 3D_CUBE의 경우보다 효율이 약 2배 높았다. Throughput의 경우에도 3D_ARTalet이 3D_CUBE보다 약 2배 높았다(표3).

<표 3> 비교 기법들의 정량적인 성능 평가 결과

	2D_CUP	2D_PADDLE	2D_CUBE	2D_ARTalet	3D_CUBE	3D_ARTalet
이동시간: MT (ms)	2911.047 (1063.679)	2826.667 (835.371)	3868.143 (1306.063)	1750.989 (532.616)	4058.553 (1218.802)	1939.118 (656.275)
오차: Error (mm)	12.302 (9.153)	9.833 (7.728)	12.898 (9.195)	12.753 (10.123)	10.368 (8.363)	10.045 (8.636)
효율: IP (bit/s)	0.915	0.987	0.703	1.427	0.699	1.395
효율: TP (bit/s)	0.685	0.797	0.553	1.110	0.540	1.128



(a) 3D 객체의 2D배치, (b) 3D배치.

5.2 정성적 평가 결과

표 4에 3D 객체의 2D 및 3D 배치에 대한, 비교기법들간의 정성적인 평가 결과를 표기하였다. 피실험자들의 의견을 바탕으로 다음과 같이 정성적인 평가에 대한 내용을 정리하였다.

Selection: CUP과 PADDLE은 3D객체의 크기보다 선택영역이 커서, 프롭이 3D객체와 가까울 경우 자동으로 선택이 되어 쉽다는 의견이 다수였다. CUBE는 일정 시간 동안 대고 선택된 상태를 유지하는 것과, 마커가 연속적으로 인식이 안 되는 경우가 종종 있기 때문에 선택이 어렵다는 의견이 있었다. 특히 작은 객체 선택이 매우 힘들며 깊이 인식을 정확하게 해야 하는 점을 지적하였다. ARtalet은 앞에 부착된 구형 플라스틱이 선택 범위를 물리적으로 느끼게 해주 선택하기 쉽다는 의견이 있었다.

Translation: CUP과 PADDLE은 2D평면에 조작도구를 대고 이동하면 되기 때문에 쉽다는 의견이 있었다. CUBE는 빠르게 움직여서 인식이 잘 안 되는 경우에 조기에 이동이 완료가 되어버리는 단점이 있었다. ARtalet은 마우스 드래그 형식과 유사하기 때문에 쉽다는 의견이었지만, 몇몇 사용자는 드래그 도중에 계속 버튼을 누르고 있어야 하는 것을 불편해 하기도 했다.

3D Depth: CUP은 선택영역의 시각적 효과가 깊이에 인식에 도움이 된다는 의견이 있었고, PADDLE의 경우 2D 평면에 대고 하는 것이기 때문에 입력영상에서 패들의 위치를 알고 있기 때문에 쉬운 것 같다는 의견이 있었다. CUBE는 객체 안에 가상 선 끝이 포함되는 것을 직관적으로 확인할 수 있어서 좋으나, 깊이를 정확히 인식해야 선택이 가능한 것은 매우 어려웠다. ARtalet은 구형태가 선택 영역으로 인해 쉽게 선택할 수 있어 깊이를 정확히 고려하지 않아도 된다는 점을 지적하였다.

Tracking: CUP과 PADDLE의 경우 위에 붙어있는 마커의 위치가 컵을 들어 올릴 때 카메라가 인식하기 어려운 각도로 순간적으로 변하기 때문에 간혹

조작 도구 인식이 안 되는 경우가 있었으며, CUBE은 손으로 마커를 쥐고 있기 때문에 마커에 대한 손가락 가림 현상이 매우 빈번히 발생하고, 결국 마커를 1개 쓰는 것과 비슷한 것 같다 점을 지적하였다. ARtalet은 마커와 사용자의 손잡이 부분이 분리가 되어 있어 상대적으로 마커의 손 가림 현상이 적어 트래킹이 잘 되는 것 다는 긍정적인 평가였다.

Speed: CUP과 PADDLE은 3D객체 선택 후 내려놓는 속도가 특정 제스처를 사용하기 때문에 시간이 지연되는 듯한 느낌을 받는다고 하였으며, CUBE는 마커가 인식되지 않는 경우 모든 조작이 되지 않아 지연처럼 느껴진다는 의견이었다. ARtalet은 손사용이 자유로워 빠르게 3D객체를 이동할 수 있는 것 같다는 의견과 버튼으로 인해 선택/해지가 수월하다는 의견이었다.

Comfort: CUP은 바닥 기준으로 이동함으로 편안하다는 의견과 동시에 컵을 손에 쥐고 이동하는 것으로 인해 손목이 자유롭지 않다는 의견이었다. CUBE는 선택을 위해 일정시간 동안 계속 같은 자세를 유지하고 있어야 하는 것을 불편해하였다. 특히 3D객체크기가 매우 작을 경우 가상선 끝으로 충돌시키는 것을 매우 어려웠다. ARtalet은 상대적으로 다른 조작기법에 비해 편안하다는 긍정적인 평가가 있었으나 이동하는 도중에 계속 버튼을 누르고 있어 손가락과 손목에 피로도가 증가한다는 점을 지적하였다.

Understand: PADDLE은 들어 올려서 내려놓는 것이 삽에 대한 메타포와 국자로 음식을 떠서 다른 곳으로 옮기는 것과 같은 느낌과 비슷하여 이해하기 쉽다는 의견이었다. CUBE은 가상 선으로 정확하게 3D객체를 선택했다는 것을 알 수 있는 것에 긍정적이었으나 선택 및 해지방법의 이해가 어렵다는 의견이 다수였다. ARtalet은 버튼으로 즉각적으로 선택/해지가 되는 시점을 명확하게 알 수 있고 기존의 드래그 엔드 드롭 방식과 동일하기 때문에 이해도가 높았다는 의견이었다.

<표 4> 비교기법들간의 정성적인 평가 결과 ((): 표준편차, *: 각 항목에서 가장 높은 값을 받은 기법임을 표시)

Condition	Selection	Translation	3D Depth	Tracking	Speed	Comfort	Understand
2D_CUP	4.736 (1.652)	4.557 (1.713)	3.698 (1.519)	4.208 (1.478)	4.547 (1.114)	4.972* (1.765)	5.104 (1.338)
2D_PADDLE	4.848 (1.316)	5.500 (0.953)	4.712 (1.208)	4.864 (1.203)	4.864 (1.197)	4.402 (1.330)	5.462 (1.162)
2D_CUBE	3.071 (1.601)	4.337 (1.331)	3.214 (1.528)	3.653 (1.429)	3.500 (1.379)	3.367 (1.395)	4.561 (1.429)
2D_ARtalet	5.697* (0.878)	5.742* (1.108)	5.034* (1.097)	5.584* (0.889)	5.640* (0.843)	4.697 (1.401)	5.584* (1.126)
3D_CUBE	3.000 (1.442)	4.058 (1.500)	2.728 (1.450)	3.272 (1.277)	2.990 (1.485)	2.398 (1.286)	3.883 (1.416)
3D_ARtalet	5.552* (0.913)	5.561* (0.902)	4.882* (1.039)	5.321* (0.921)	5.274* (1.215)	4.387* (1.200)	5.651* (0.957)

5. 결론 및 향후 연구

본 논문은 증강현실 기반 저작을 위한 3D객체를 선택 및 위치/회전 속성 조작 기법을 제안하였다. 일반 컴퓨터 사용환경에서 쉽게 구할 수 있는 마우스 입력장치에 탈부착이 가능한 다수의 마커가 인쇄된 정육면체 형태의 상자를 제안하여, 마우스 버튼입력 처리를 통해 저작 인터페이스에서 이벤트 함수를 발생시키는데 필요한 이산적 입력을 제공할 수 있었다. 드래그 엔드 드롭 기능을 이용하여 2D 평면상뿐만 아니라 3D좌표계에서 3D 객체의 3축 위치 및 3축 회전 조작을 동시에 가능하게 하였다. 뿐만 아니라 프롭에 증강된 원구형태의 3D 볼륨 영역을 충돌 범위로 확장하여 3D 객체의 선택을 용이하게 하였다. 제안된 조작 기법의 유용성을 검증하기 위해, 피츠의 법칙을 이용하여 기존의 3D객체 선택 및 위치/회전 조작 기법들의 성능을 비교 평가하였고, 기존의 방법에 비해 효율은 최대 약 2배 향상된 결과를 보였다. 또한 정성적인 평가를 통해서도 기존 기법들에 비해 대체적으로 유의한 수준으로 높은 점수를 받았다.

본 연구에서 제안한 3D 객체 조작기법은 일반 사용자도 쉽고 직관적인 방법으로 증강현실 3D 객체와의 상호작용을 가능하게 할 것으로 기대하며, 증강현실 기반의 차세대 동화책, 3차원 과학시뮬레이션, 테마파크등과 같은 교육 및 게임 산업에 응용될 수 있을 것으로 예측하고 있다.

향후 연구로써, 3D객체 선택 및 위치/회전 변경 시 3차원 깊이감 향상을 위한 3D 객체의 그림자 삽입 또는 진동 피드백등의 효과 등을 분석하는 것과, 다양한 크기의 3D객체가 밀집되어있는 경우 선택 볼륨의 크기를 가변적으로 설정하여 효과적인 3D객체 선택을 할 수 있는 방법 등이 연구되어야 한다. 마지막으로 3D객체 이동의 정밀도를 향상시킬 수 있는 방법도 연구되어야 한다.

참고문헌

- [1] I.Poupyrev, D.S.Tan, M.Billinghurst, H.Kato, H.Regenbrecht, N.Tetsutani, "Tiles: A Mixed Reality Authoring Interface," Interact, 2001.
- [2] G.Lee, C.Nelles, M.Billinghurst, GJ.Kim, "Immersive Authoring of Tangible Augmented Reality Applications," ISMAR, pp.172-181, 2004.
- [3] H.Kato, M.Billinghurst, I.Poupyrev, K.Imamoto, K.Tachibana, "Virtual Object Manipulation on a Table-Top AR Environment," ISAR, pp.111-119, 2000.
- [4] H.Kato, K.Tachibana, M.Tanabe, T.Nakajima, and Y.Fukuda, "MagicCup: A Tangible Interface for Virtual Object Manipulation in Table-Top Augmented Reality," Proceedings of the Augmented Reality Toolkit Workshop, pp.75-76, 2003.
- [5] PM.Fitts, "The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement," Journal of Experimental Psychology, 47, pp.381-391, 1954
- [6] IS.MacKenzie, "Fitts' law as a research and design tool in human-computer interaction," Human-Computer Interaction, volume 7, pp.91-139, 1992.
- [7] SA.Douglas, AE.Kirkpatrick, IS.MacKenzie, "Testing pointing device performance and user assessment with the ISO 9241, Part 9 standard," CHI, pp.215-222, 1999.
- [8] ARToolKit, <http://www.hitl.washington.edu/ARToolKit>
- [9] J.Looser, R.Grasset, H.Seichter, M.Billinghurst, "OSGART: A Pragmatic Approach to MR," Industrial Augmented Reality Workshop, ISMAR, 2007