



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사학위논문

혼합 현실 상의 원거리 물체의 효율적인 조작을
위한 벽 기반 공간 조작 기법

Wall-based Space Manipulation Technique for Efficient
Manipulation of Distant Objects in Mixed Reality

2017년 8월

서울대학교 대학원
컴퓨터공학부
황 정 인

혼합 현실 상의 원거리 물체의 효율적인 조작을

위한 벽 기반 공간 조작 기법

Wall-based Space Manipulation Technique for Efficient

Manipulation of Distant Objects in Mixed Reality

지도교수 서진욱

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함

2017년 4월

서울대학교 대학원

컴퓨터공학부

황정인

황정인의 석사학위논문을 인준함

2017년 6월

위원장: _____ 신영길 _____ (인)

부위원장: _____ 서진욱 _____ (인)

위원: _____ 이제희 _____ (인)

초록

혼합 현실 (Mixed Reality) 환경에서 사용자는 다양한 가상의 물체를 자유롭게 생성하고, 조작하거나 배치할 수 있다. 그러나 조작하고자 하는 물체가 사용자로부터 먼 거리에 위치할 때에는 물체와의 거리가 가까울 때는 발생하지 않았던 다양한 사용성 측면의 문제들이 발생한다. 본 논문에서는 벽을 이용해 사용자 주변 공간의 스케일을 조절함으로써 원거리 물체의 정밀하고 효율적인 조작을 돕는 벽 기반 공간 조작 (Wall-based Space Manipulation, WSM) 기법을 제안한다. WSM을 활용해 사용자는 주변에 존재하는 벽의 위치를 조절하여 공간을 축소할 다음, 가까워진 물체를 보다 정밀하고 효율적으로 조작할 수 있다. 예비 사용자 실험을 통해 초기 프로토타입의 문제점과 개선점을 확인하고, 사용자 피드백을 바탕으로 인터랙션 방식을 개선한 후 본 사용자 실험을 수행하였다. 그 결과 WSM이 원거리 물체를 효율적으로 조작하는 데에 도움을 줄 수 있음을 확인하였다. 또한, 실험을 통해 얻은 피드백들을 바탕으로 WSM을 추가적으로 개선하고 확장할 수 있는 다양한 가능성을 발견할 수 있었다.

주요어: 혼합 현실, 증강 현실, 3차원 물체 선택, 3차원 물체 배치, 원거리 물체, 공간 조작, 공간 왜곡

학번: 2015-22917

목 차

1. 서론.....	1
2. 관련 연구.....	5
2.1. 가상 현실 상의 물체 선택 및 조작.....	5
2.2. 증강/혼합 현실 상의 물체 선택 및 조작	7
3. 디자인 및 구현	9
3.1. 원거리 물체 조작의 문제점	9
3.2. 벽 기반 공간 조작 (Wall-based Space Manipulation).....	10
3.2.1. 물체 위치 조정 방식	13
3.2.2. 포인팅 방식	14
3.2.3. 입력 방식	15
4. 예비 사용자 실험.....	16
4.1. 실험 설계	16
4.1.1. 실험 개요	16
4.1.2. 독립 변수	18
4.1.3. 종속 변수	19
4.1.4. 실험 참여자	20
4.1.5. 실험 장비	20
4.1.6. 사용자 인터뷰	21
4.2. 실험 결과	22
4.3. 결과 분석	24

5. 사용자 실험	27
5.1. 예비 사용자 실험과의 차이점.....	27
5.2. 실험 설계	29
5.2.1. 실험 개요.....	29
5.2.2. 독립 변수.....	31
5.2.3. 종속 변수.....	32
5.2.4. 실험 참여자	33
5.3. 실험 결과	33
5.3.1. 수행 시간.....	33
5.3.2. 손 이동 거리.....	33
5.3.3. 주관 평가 점수	34
6. 논의.....	37
7. 한계 및 향후 연구.....	41
8. 결론.....	43
참고문헌	44
Abstract	47

표 목차

표 1. 위치 조정 방식과 WSM 적용 유무에 따른 인터액션 방식의 구분.....	18
표 2. 사용자의 입력에 따른 이벤트 구분.....	21

그림 목차

그림 1. 마이크로소프트 사의 홀로렌즈	2
그림 2. 벽 기반 공간 조작 인터액션의 예시.....	12
그림 3. 헤드 포인팅 방식.....	14
그림 4. 에어 탭 제스처.....	15
그림 5. 예비 사용자 실험 환경.....	17
그림 6. 인터액션 방식에 따른 주관 평가 점수.....	22
그림 7. 인터액션 방식에 따른 수행 시간(s).....	23
그림 8. 인터액션 방식에 따른 손 이동 거리(m).....	23
그림 9. 사용자 실험 환경.....	30
그림 10. WSM 적용 유무, Z축 거리 및 방향, 물체의 크기 각각에 따른 평균 수행 시간(s).....	34
그림 11. WSM 적용 유무와 Z축 거리 및 방향 사이에 따른 평균 수행 시간(s).....	35
그림 12. WSM 적용 유무, Z축 거리 및 방향, 물체의 크기 각각에 따른 평균 손 이동 거리(m).....	35
그림 13. WSM 적용 유무와 Z축 거리 및 방향에 따른 평균 손 이동 거리(m).....	36

그림 14. WSM 적용 유무에 따른 주관 평가 점수.36

1. 서론

Milgram 이 “현실의 환경과 가상의 공간을 잇는 ‘가상성 연속체’ 사이 어딘가에 존재하는 현실과 가상 세계의 융합”[12] 으로 정의한 혼합 현실(Mixed Reality) 개념이란 가상 공간과 현실 세계가 융합됨으로써 가상의 물체와 현실의 물체가 동시에 존재하여 사용자가 두 공간 속의 물체와 동시에 상호작용할 수 있는 환경을 의미한다. 이전에는 기술적인 한계로 인하여 개념적으로만, 혹은 저수준의 프로토타입으로만 구현되었던 혼합 현실은 최근 헤드 트래킹, SLAM(Simultaneous Localization And Mapping) 등 다양한 인식 기술과 이미지 프로세싱 및 렌더링 기술 등의 비약적인 발전을 통해 현실화되고 있다. 실제 제품으로도 엡손 사의 모베리오[26], 메타 사의 메타[28] 와 같은 실험적 제품에서 출발하여 최근 마이크로소프트 사의 홀로렌즈[29] 와 같이 높은 수준의 깊이 인식 및 처리 능력을 탑재한 제품이 출시되기에 이르렀다. 혼합 현실 및 증강 현실(Augmented Reality) 개념이 보다 보편화된 환경에서, Grubert 는 증강 현실은 한 가지의 특정한 작업만을 산발적으로 지원하는 것이 아니라 사용자의 전후 맥락(context)을 인지하고 현실 속의 공간과 함께 연속적으로 존재하면서 보다 다양한 목적의 사용자 경험을 동시에 제공하게 될 것으로 보았다[7].

혼합 현실 환경에서는 사용자가 자유롭게 다양한 가상 물체들을 생성하고 관리할 수 있으며, 이러한 물체들은 실제 주변 환경과 자연스럽게 어울려

현실 공간 속에 존재하게 된다. 사용자는 일련의 상호작용을 통해 먼 거리의 물체를 가까이 가져오거나, 가까이 있는 물체를 먼 곳에 배치하는 등의 조작을 가할 수 있다. 예컨대 가상 공간에만 존재하는 시계, TV 등의 물체들을 실내 공간의 원하는 위치에 새롭게 배치하거나, 이미 배치된 물체들을 다른 곳에 재배치하는 시나리오 등을 생각할 수 있다.



그림 1. 마이크로소프트 사의 홀로렌즈[29]

하지만, 조작하고자 하는 물체가 사용자와 먼 거리에 위치하는 경우 물체와의 거리가 충분히 가까울 때는 발생하지 않는 사용성 측면의 문제들이 발생한다. 물체가 원거리에 위치할 때에는 해당 물체를 정확하게 선택하기 어려우며, 만약 정확히 선택하더라도 사용자와 가까운 위치로 물체를 가져오는 데에는 반복적이고 추가적인 인터랙션이 요구된다. 반대로 가까이 있는 물체를 먼 곳으로 보내는 데에도 유사한 문제가 발생한다. 마지막으로, 사람의 인지적 능력의 한계와 렌더링 시의 기술적 한계로 인하여 실제 물체와는 달리 가상 물체는 정확한 위치를 인지하는

데에 상대적인 어려움이 발생하며[11], 이는 물체가 먼 거리에 위치하였을 때 심해지는 경향이 있다[2][21].

이러한 문제들을 해결하기 위한 인터랙션 방식은 가상 현실(Virtual Reality) 시나리오에서는 오랜 기간 동안 연구되어 온 주제이다[1][3][14][17][18][20]. 그러나 혼합 현실 상의 인터랙션은 사용자가 시점을 자유롭게 조작하는 데에 한계가 있고, 가상 현실 상의 정보가 현실 환경에 직접 투사된다는 점에서 가상 현실에서의 인터랙션과 차이가 있다[10]. 한편 증강 현실 환경 상에서의 물체의 선택 및 조작을 지원하는 인터랙션에 대한 연구가 진행된 바 있으나 ([4][8][15][19]), 물체가 사용자로부터 먼 거리에 위치하는 경우 발생하는 문제점을 고려한 연구는 이루어지지 않았다.

본 논문에서는 혼합 현실 환경에서 사용자가 원거리에 위치한 물체를 조작하는 동안 발생하는 사용성 측면의 문제들을 해결하기 위하여, 사용자 주변 환경에 존재하는 벽의 위치를 움직여 주변 공간의 스케일을 조절함으로써 물체들의 효율적인 조작을 돕는 벽 기반 공간 조작 기법(Wall-based Space Manipulation, 이하 WSM)을 제안한다. 사용자는 주변 공간에 존재하는 벽을 끌어당겨 사용자와 물체가 존재하는 공간을 축소할 수 있으며, 축소된 공간에서 사용자는 가까워진 물체를 보다 정밀하고 효율적으로 조작할 수 있다. 예비 사용자 실험을 통해 초기 프로토타입의 문제점과 이를 개선하기 위한 방향을 확인했으며, 이를 기반으로 인터랙션 방식을 수정한 후 본 사용자 실험을 진행하였다. 그 결과 WSM 이 원거리에 위치한 물체를 효율적으로 조작하는 데에 도움을 줄 수 있음을

확인하였다. 또한, 실험을 통해 얻은 피드백들을 바탕으로 WSM 을
추가적으로 개선하고 확장할 수 있는 다양한 가능성을 발견할 수 있었다.

2. 관련 연구

가상 물체의 선택 및 조작을 위한 인터랙션은 가상 현실 개념이 처음 제안된 이후부터 오랜 시간동안 다루어진 문제이다. 본 절에서는 가상 물체의 선택 및 조작, 특히 위치 조정을 위한 인터랙션을 다룬 선행 연구들을 가상 현실과 혼합/증강 현실 환경으로 구분하여 살펴보고, 이들 방식들이 원거리 물체 조작에 적용되었을 때 발생하는 한계점들을 논의한다.

2.1. 가상 현실 상의 물체 선택 및 조작

Bowman[23] 에 따르면, 가상 현실 상의 조작 방식은 외부중심적 메타포(exocentric metaphors)와 내부중심적 메타포(egocentric metaphors)로 구분할 수 있다. 먼저 외부중심적 메타포란 사용자의 시점을 3 차원 환경 바깥으로 옮기는 방식으로, 3 차원 환경을 작은 모형 크기로 축소한 다음 사용자가 “신의 눈”의 위치에서 인터랙션을 수행하는 World-In-Miniature[20] 방식이 대표적이다. 그러나 외부중심적 메타포 방식은 사용자의 시점 변경이 제한적인 혼합 현실 환경에 직접적으로 도입되기 어려운 단점이 있다.

이와 반대되는 개념인 내부중심적 메타포는 사용자가 3 차원 환경 내부에서 가상 물체를 조작하는 방식을 의미하며, 이는 다시 가상 손 메타포(virtual hand metaphor)와 가상 포인터 메타포(virtual pointer

metaphor)로 분류할 수 있다. 가상 손 메타포란 가상의 손을 조작하여 간접적으로 원하는 물체를 선택하는 방식을 의미하며, 대표적인 방식으로 virtual hand 방식[13] 을 들 수 있다. Virtual hand 방식은 가상 손의 움직임이 사용자의 손 움직임과 선형적으로 매핑되는 방식으로, 사용 원리가 매우 직관적인 대신 가상 손이 이동할 수 있는 반경이 사용자가 손을 움직일 수 있는 범위에 제한되는 단점이 있다. Go-go interaction[3] [18] 은 이러한 virtual hand 방식의 단점을 보완하고자 제안된 방식으로서, 사용자가 뺨은 손이 특정 범위 안쪽에 있을 때에는 virtual hand 와 동일한 방식으로 조작되지만 이 범위를 넘어가는 경우 가상 손의 움직임이 손의 움직임에 비선형적으로 (e.g. 2 차 함수) 매핑되는 방식이다. 이는 가상 손이 닿을 수 있는 범위를 지속적으로 넓힐 수 있는 장점이 있지만, 넓어진 반경에서는 손과 가상 손 사이의 CD ratio (Control-display ratio)가 과도하게 높아져 원하는 물체를 정확하게 선택하기 어려운 문제점이 있다.

Bubble cursor [6] 는 본래 1 차원과 2 차원 환경에서 목표 지점을 선택하는 태스크를 지원하기 위해 고안된 선택 방식으로, 조작하는 커서의 크기가 주변 물체들의 위치와 거리에 따라 동적으로 조절되는 방식이다. Vanacken[22] 는 이를 3 차원 공간으로 확장한 3D bubble cursor 를 고안하였으며, 물체의 개수와 밀도가 높은 3 차원 환경에서 특정 물체를 선택하는 태스크를 수행하는 데 효과적으로 활용될 수 있음을 보였다.

가상 포인터 메타포는 사용자의 조작 반경에서 벗어난 위치의 물체를 ‘가리켜서’ 선택하는 방식이다. 가장 대표적인 방식은 Ray-casting[14] 으로, 사용자의 손에서 가상의 선(ray)을 발사하여 물체를 선택하는 방식이다. Ray-casting 방식은 사용 방법이 직관적인 동시에 선택 범위에 제한이 없는

장점이 있지만, 목표 지점이 사용자로부터 먼 거리에 위치하는 경우에는 매우 정밀한 조작을 요구하고, 사용자의 손이 가리키는 방향과 사용자가 바라보는 방향의 차이가 발생하는 문제점이 있다. Argelaguet[1] 은 이를 보완하기 위해 사용자의 눈 위치에서부터 선을 발사하는 raycasting from the eye 방식을 제안하였으며, 이는 마이크로소프트 사의 홀로렌즈의 기본 선택 방식으로 사용되고 있다.

2.2. 증강/혼합 현실 상의 물체 선택 및 조작

이론적으로는 증강/혼합 현실 상의 물체 선택 및 조작에 가상 현실 환경에서 연구되었던 인터랙션들을 그대로 활용하는 것이 가능하다. 그러나 혼합 현실 환경은 사용자와 시점 조작이 자유롭지 않아 외부중심적 메타포를 적용하기 적절하지 않으며, 가상 공간의 정보가 현실 공간과 함께 투사된다는 점에서 가상 현실 환경과는 차이가 있다. Buchmann[4] 은 근거리 가상 물체의 조작을 위한 손가락 끝 제스처(fingertip gesture) 기반 인터랙션을 제안했다. 기준 마커(fiducial marker)를 활용해 인터랙션이 가능한 영역을 정의하고, 손가락 끝에 또 하나의 기준 마커를 붙여 손가락의 움직임을 트래킹함으로써 잡기, 가리키기, 누르기 등의 제스처 인식을 지원한다. Seo[19] 는 고정된 RGB 카메라와 깊이 카메라(depth camera)를 함께 활용해 손 제스처를 인식하는 인터페이스를 구현하였다. 더 나아가 Ha[8] 는 머리 장착형(head-mounted) RGB 카메라만을 이용해 손 제스처를 인식하는 인터페이스를 구현하였다. 그러나 이들 연구에서 제시한 모두 사용자의 인터랙션 영역이 제한적이며,

가상 물체가 사용자로부터 원거리에 위치하는 경우에 발생하는 문제에 대해서는 고려하지 않았다.

현실 공간의 정보를 가상 물체 조작에 활용한 시도도 있었다. Nuernberger[15] 는 가상 물체의 배치 문제를 해결하기 위해 전통적인 데스크탑 환경에서 흔히 활용되는 스내핑(snapping)을 혼합 증강 환경에 적용하였다. 이 연구에서는 깊이 이미지 (depth image)에서 현실 공간의 외곽선을 인식한 후, 해당 외곽선에 가상 물체를 스내핑하는 인터랙션을 구현하여 효율성을 검증하였다. 그러나 마찬가지로 조작하고자 하는 물체가 사용자로부터 충분히 먼 경우에 대한 논의는 이루어지지 않았다.

3. 디자인 및 구현

기존의 인터랙션 방식들은 가상 물체의 효율적인 선택 및 조작을 목표로 하고 있으나, 물체가 사용자로부터 충분히 먼 거리에 있는 경우 발생할 수 있는 조작 상의 문제점들을 고려하고 있지 않다. 본 연구에서는 사용자가 주변의 벽을 활용해 주변 공간을 축소함으로써 원거리 물체들의 효율적인 조작을 도울 수 있는 인터랙션 기법을 제안하고자 한다.

본 절에서는 먼저 원거리의 물체를 조작할 때 발생할 수 있는 문제점들을 정리하고, 이를 해결하기 위해 고안된 벽 기반 공간 조작 기법을 소개한다. 더불어 가상 물체를 먼 거리까지 효율적으로 움직일 수 있도록 디자인된 가상 손 메타포를 변형한 물체 위치 조정 방식을 소개한다.

3.1. 원거리 물체 조작의 문제점

- **정확하게 선택하기 어렵다.** 물체 조작에는 어떤 물체를 조작할지 선택하는 과정이 반드시 선행되어야 한다. Raycasting 등의 기존 인터랙션 방식은 물체와 사용자의 거리가 멀어질수록 물체 선택의 정확도가 낮아지는 문제점이 있다.
- **다른 위치로 옮기기 어렵다.** Virtual hand 와 같은 손 메타포 방식의 경우 원거리의 물체를 가까운 위치로 물체를 옮기기 위해서는 동일한 동작을 수 차례의 반복적으로 수행하는 노력이 필요하다.

Raycasting 등의 포인터 방식의 경우 포인터가 닿은 지점에만 제한적으로 적용이 가능하기 때문에 임의의 3 차원 공간 상에 물체를 배치하는 데에 적용하기에는 적합하지 않은 방식이다.

- **쉽게 인지하기 어렵다.** 혼합 현실 환경에서는 사람의 인지적 한계와 렌더링 시의 기술적 한계로 인하여 가상의 물체의 위치를 정확하게 인지하는 데에 상대적인 어려움이 발생하며[11] , 이는 사용자와 물체 간의 거리가 멀어질수록 더 크게 영향을 받는 경향이 있다[2] [21].

3.2. 벽 기반 공간 조작 (Wall-based Space Manipulation)

위와 같은 문제점들을 개선하기 위하여, 사용자 주변 환경에 존재하는 벽을 활용해 사용자 주변 공간의 스케일을 조절하여 물체를 효율적으로 조작할 수 있도록 돕는 벽 기반 공간 조작 기법(Wall-based Space Manipulation, 이하 WSM)을 제안한다.

그림 2 는 WSM 을 활용하는 예시를 보여주고 있다. 사용자는 벽과 물체를 바라보고 있으며, 사용자는 물체(초록색 구)의 위치, 크기 등을 조작하고자 한다. 먼저 사용자가 벽을 선택하면 실제 공간의 벽과 동일한 크기의 가상의 벽이 생성되고, 사용자가 손으로 벽을 움직이는 제스처를 취하면 손을 움직이는 만큼 가상의 벽이 벽 좌표 상의 z 축을 따라 움직이면서 벽과 사용자 사이의 공간의 스케일이 조절된다. 이 때 벽과 사용자 사이에 위치한 물체들의 위치가 공간의 스케일이 변화하는 만큼 새로운 위치로 조정된다. 예컨대 그림 2 의 (b)와 같이 사용자가 벽을 원래 간격의 1/2 만큼

끌어당기면, 사용자와 벽 사이의 공간이 1/2 만큼 축소되면서 물체의 위치 역시 사용자에게 2 배만큼 가까워진다. 공간 조작이 끝나면 사용자는 물체를 가까운 위치에서 보다 정밀하게 조작할 수 있다. 물체를 원하는 대로 조작한 다음 사용자는 벽을 다시 선택하여 공간을 원래 스케일로 되돌릴 수 있으며, 물체의 위치가 조정된 경우 변화한 위치가 원래 스케일에 맞게 다시 조정된다.

혼합 현실 환경에서 벽을 활용해 공간의 스케일을 조정하는 방식은 다양한 장점이 있다. 먼저 벽은 어느 실내 공간이나 존재하는 일반적이고 흔한 물체이기 때문에 범용적이며, 벽은 차지하는 영역이 비교적 크고 명확하기 때문에 조작하고자 하는 가상 물체를 직접 선택하는 것보다 용이하며, 사용자가 그 위치를 인지하는 데에도 어려움이 상대적으로 적다. 무엇보다도 최근 홀로렌즈와 같이 우수한 공간 인식 기술을 탑재한 증강 현실 기기들이 출시되기 시작하면서 벽의 위치 및 영역을 인식하는 문제가 기술적으로 다룰 수 있는 (tractable) 문제가 되었다. 홀로렌즈의 경우 인식한 주변 공간 정보를 3D 메쉬 형태로 비동기 API 를 통해 제공하고 있으며, 이 데이터를 기반으로 평면 인식 라이브러리[30] 를 적용함으로써 주변 공간에 존재하는 벽을 인식할 수 있다.

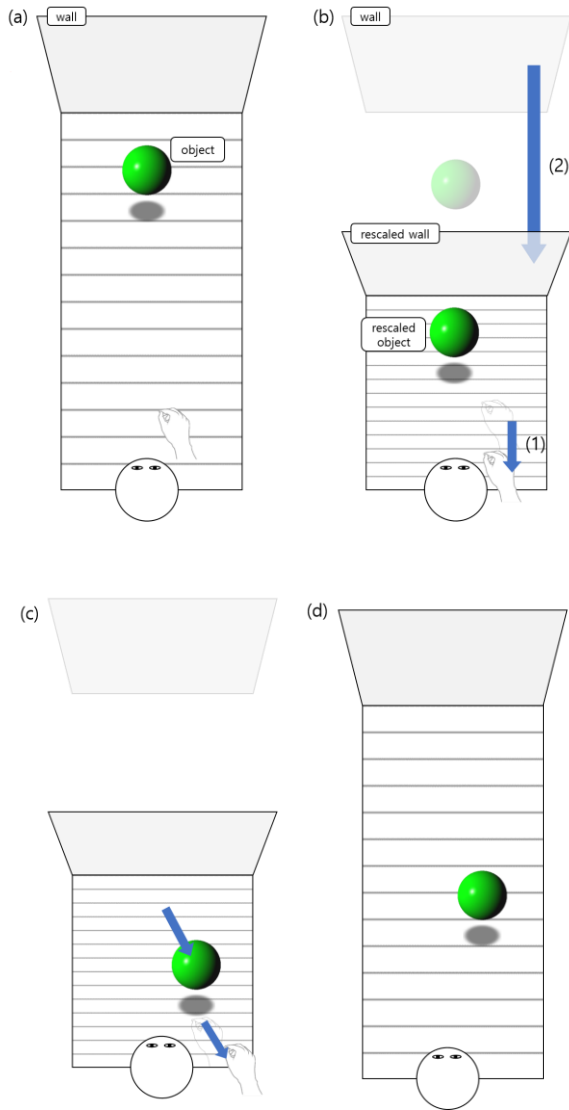


그림 2. 벽 기반 공간 조작 인터랙션의 예시. (a) 사용자가 벽과 물체를 바라보고 있다. (b-1) 사용자가 벽을 선택한 후 벽을 끌어당기는 제스처를 취한다. (b-2) 현실의 벽과 동일한 크기의 가상의 벽이 사용자 쪽으로 움직이면서 사용자와 가상의 벽 사이의 공간을 축소시킨다. 동시에 사용자와 벽 사이에 있던 물체가 축소된 공간만큼 사용자에게 가까워진다. (c) 축소된 공간에서 사용자가 물체를 선택해 사용자와 가까운 방향으로 움직인다. (d) 벽을 선택하면 공간이 원래 스케일로 확장되면서 조작한 물체 역시 원래 스케일에 따라 새로운 위치로 조정된다.

3.2.1. 물체 위치 조정 방식

앞서 살펴본 것처럼, 기존의 가상 물체 선택 및 조작 방식들은 근본적으로 물체가 사용자로부터 먼 거리에 위치한 경우 다양한 한계점을 내포하고 있다. 예컨대 Go-Go interaction[18]의 경우 물체와의 거리가 멀어질수록 CD ratio가 급격하게 높아져 정밀한 조작이 어려워지는 문제가 있다. 보다 효율적인 원거리 물체의 위치 조정을 지원하기 위해, WSM에 더불어 가상 손 메타포를 기반으로 하는 기존 연구나 실제 어플리케이션에 적용된 방식들을 바탕으로 2가지 위치 이동 방식을 고안 및 적용하였다.

- **물체와의 거리 기반.** 물체와의 거리가 멀수록 물체가 많이 움직이고, 짧을수록 물체가 적게 움직이는 방식으로 Holograms 등 홀로렌즈에서 제공하는 기본 어플리케이션에서 기본으로 사용되고 있는 방식이다. 아쉽게도, 마이크로소프트 측에서는 정확히 어떤 메커니즘을 통해 물체 위치 조정을 구현하였는지 공개적으로 밝히지 않았기 때문에, 본 연구에서는 홀로렌즈 기본 앱에서의 물체가 움직이는 방식을 최대한 모방하되 먼 거리에 걸친 물체 위치 조정이 최대한 편리하게 이루어질 수 있도록 구현하는 것을 목표로 하였다. 내부 실험을 거쳐 최종적으로 최소 3회의 손 제스처로 10m 떨어져 있는 벽까지 물체를 이동할 수 있도록 세부 수치(parameter)를 조정했다.
- **손의 이동 속도 기반.** 인식된 손의 이동 속도가 빠르면 물체가 많이 움직이고, 반대로 느리면 물체가 조금 움직이는 방식으로서 Adaptive pointing[9]의 개념을 차용한 방식이다. 먼 거리를 대략적으로 이동시키고자 할 때는 빠르게, 정밀한 조정을 하고자

할 때는 천천히 손을 움직임으로써 빠른 움직임과 정밀한 움직임을 사용자의 의도에 맞게 조절할 수 있다는 장점이 있다. 물체와의 거리 기반 방식과 마찬가지로, 최소 3 회의 손 제스처로 10m 떨어져 있는 벽까지 물체를 이동할 수 있도록 세부 수치를 조정했다.

3.2.2. 포인팅 방식

벽 및 물체를 포인팅하는 방식으로 Raycasting from the eye[1] 를 기반으로 한 헤드 포인팅 (head pointing) 방식을 사용하였다. 이는 머리 장착형 증강 현실 디스플레이의 경우 헤드 포인팅의 성능이 비교적 우수하다는 기존 연구 결과를 바탕으로 한 것이다[16] . Raycasting 방식은 기본적으로 물체와의 거리가 멀어질수록 정밀한 선택이 어렵다는 단점이 있지만, WSM 을 이용하면 공간을 축소하여 물체를 사용자와 가까운 곳으로 옮길 수 있으므로 근거리에서의 헤드 포인팅 방식의 장점을 그대로 유지할 수 있다.

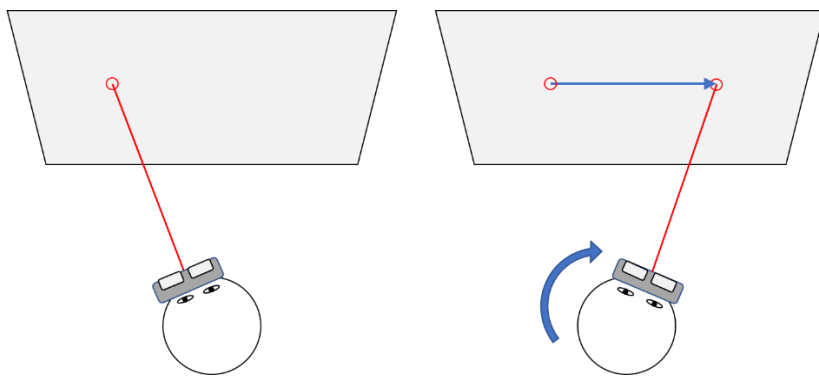


그림 3. 헤드 포인팅 방식.

3.2.3. 입력 방식

벽 및 물체 선택과 조작용을 위한 입력 방식으로 홀로렌즈에서 기본 제스처로 지원하는 에어 탭 (air tap) 제스처를 활용했다. 이는 별도의 입력 장치를 요구하지 않으며, 사용 방법이 매우 직관적이므로 간단한 연습을 통해 누구나 쉽게 사용할 수 있다는 장점이 있다.

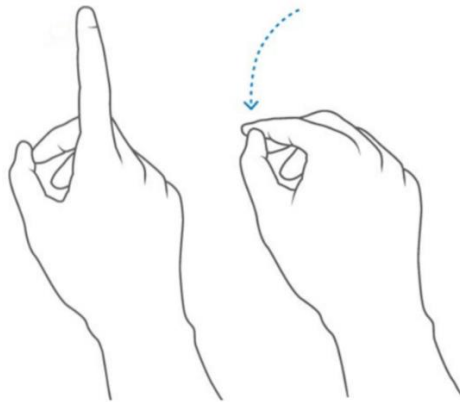


그림 4. 에어 탭 제스처.

4. 예비 사용자 실험

초기 WSM 프로토타입의 사용성을 확인하고 개선점을 찾기 위하여 예비 사용자 실험을 진행했다. 본 예비 실험은 WSM의 사용성을 실제 사용자들의 피드백을 통해 정성적으로 확인하고자 하는 것이 큰 목표이며, 추가적으로 원거리 물체의 위치 조정에 있어서 WSM의 효율성을 평가하고자 했다.

4.1. 실험 설계

4.1.1. 실험 개요

참여자는 10m 떨어진 곳에 가로 3m, 세로 3m 너비의 벽이 존재하는 실내 환경에서, 지름 0.25m의 가상의 물체(그림 5, 빨간색 구)를 상자(그림 5, 열려 있는 상자)에 넣는 태스크를 수행했다. 물체의 중심과 상자의 중심 사이 거리가 0.25m 이내일 때 태스크가 종료된 것으로 판정한다.

본 연구에서는 홀로렌즈의 공간 인식 기능을 활용해 주변 공간 상에 인식된 모든 벽에 대해서 WSM을 사용할 수 있는 프로토타입을 개발하였으나, 본 사용자 실험에서는 모든 실험 참여자의 태스크 수행 환경을 고정하기 위하여 실제 벽의 위치, 크기, 회전각도 등이 미리 계산된 환경을 별도로 개발하여 실험하였다.



그림 5. 예비 사용자 실험 환경. 참여자들은 지름 0.25m의 빨간색 구를 열려 있는 상자에 넣는 태스크를 진행했다. 벽은 참여자로부터 10m 떨어져 있으며, 공간을 조작하는 데에 사용되는 가상의 벽은 격자 무늬 형태로 렌더링되었다.

4.1.2. 독립 변수

- **위치 조정 방식.** 물체와의 거리 기반 위치 조정 방식(이하 DIST)과 손의 이동 속도 기반 위치 조정 방식(이하 VELO) 총 2 가지로 구분했다.
- **WSM 적용 유무.** WSM 이 적용되는 경우(W)와 사용하지 않는 경우(N) 총 2 가지로 구분했다. WSM 이 적용되는 경우에만 가상의 벽이 그림 5 처럼 격자 무늬 형태로 렌더링된다.

참여자들은 WSM 적용 유무와 위치 조정 방식을 조합한 총 $2 \times 2 = 4$ 가지의 인터랙션 방식 (DIST_W, DIST_N, VELO_W, VELO_N)을 사용하였으며(표 1), 사용하게 되는 인터랙션 방식의 순서는 학습 효과(learning effect)를 방지하기 위해 라틴 스퀘어 설계(Latin square design, [25])을 통해 counter-balanced 되었다.

위치 조정 방식	WSM 적용 유무	인터랙션 방식
물체와의 거리 기반 (DIST)	O	DIST_W
	X	DIST_N
손의 이동 속도 기반 (VELO)	O	VELO_W
	X	VELO_N

표 1. 위치 조정 방식과 WSM 적용 유무에 따른 인터랙션 방식의 구분.

- **(벽 기준) Z 축 거리 및 방향.** 벽을 기준으로 한 z 축 상에서 물체 혹은 상자 위치와 사용자 간의 거리를 Close (C, 3m), Mid-range (M,

6m), Far (F, 9m) 3 가지의 경우로 나누었다. 예컨대 Close 의 경우, 벽의 z 축을 기준으로 한 물체와 사용자 간의 거리가 3m 가 된다. 각각의 경우에 대해 물체를 가까이 가져오는 경우 (F2C, F2M, M2C) 3 가지, 멀리 보내는 경우 (C2M, M2F, C2F) 3 가지까지 총 6 가지의 경우로 구분하였다.

- **(벽 기준) 평면 상의 위치.** 벽을 기준으로 하는 평면 상에서 물체와 상자의 x, y 좌표가 벽의 중심을 기준으로 좌우 1m, 상하 1m 내부에 위치하도록 임의의 좌표를 부여했다. 이 때, 참여자가 움직여야 하는 물체의 총 이동 거리를 고정하기 위해 물체와 상자의 x, y 좌표간 거리를 0.5m, 1.0m, 1.5m, 2.0m 총 4 가지의 경우로 나누어 고정했다.

이상 물체 및 상자의 위치의 경우의 수를 총 $6 \times 4 = 24$ 가지로 나누었으며, 참여자는 인터액션 방식 4 가지를 각각 이용해 태스크를 진행하여 총 $4 \times 24 = 96$ 회의 태스크를 수행했다.

4.1.3. 종속 변수

각 인터액션 방식에 대한 (1) 주관 평가 점수, (2) 수행 시간, (3) 손 이동 거리를 측정하였다. 이 때 사용자가 물체를 조작하기 위해 수행하는 인터액션 과정을 일련의 이벤트로 구분하여 기록하였으며, 이벤트의 분류 기준과 각각에 해당하는 코드명은 표 2 와 같다.

- **주관 평가 점수.** 참여자가 각 인터액션 방식에 매긴 SUS (System Usability Scale) [24] 점수이다. SUS 는 10 개의 문항(e.g. “이 시스템은 사용하기 쉽다고 생각한다”)과 각각에 대한 5 가지의 응답(“매우

그렇다”부터 “전혀 아니다”)으로 이루어진 설문 형식의 평가 측정치이며, 시스템 혹은 인터랙션 방식의 사용성을 평가하는 데에 신뢰할 수 있는 지표로 활용될 수 있는 것으로 알려져 있다.

- **수행 시간.** TRIAL_START 이후 첫 번째 이벤트(e.g. ITEM_DRAGGING)부터 TRIAL_END 까지 걸린 시간(s)이다. 이는 각 인터랙션 방식의 효율성의 지표로 활용될 수 있다.
- **손 이동 거리.** TRIAL_START 이후 첫 번째 이벤트부터 TRIAL_END 까지 사용자가 손을 움직인 거리(m)의 총합이다. 이는 각 인터랙션 방식의 편리함의 지표로 활용될 수 있다. 만약 홀로렌즈가 태스크 수행 도중 손의 인식을 놓치면, 인식을 놓친 위치부터 다시 인식된 위치까지의 직선 거리로 손 이동 거리를 근사하였다.

4.1.4. 실험 참여자

총 4 명 (남자 3 명, 여자 1 명)이 참여하였으며, 주로 사용하는 손은 모두 오른손이었다. 전원 나안 혹은 교정 시력은 1.0 이상이었으며, 양팔과 양손을 사용하는 데에 문제가 없었다.

4.1.5. 실험 장비

Unity3D 환경에서 Holotoolkit-Unity 라이브러리[30] 를 활용해 실험 환경을 구현하였으며, 참여자는 홀로렌즈를 착용하여 태스크를 수행하였다. 세부적인 실험 설정은 UDP 통신을 통해 외부에서 랩탑으로 제어하였다.

4.1.6. 사용자 인터뷰

WSM 의 전반적인 사용성 및 개선점을 확인하기 위해 실험이 종료된 후 사용자와의 인터뷰를 진행하였다. 인터뷰에서는 어떤 인터랙션 방식이 가장 사용하기 편한 (혹은 불편한) 인터랙션 방식이었는지, 벽을 활용한 인터랙션이 편리했는지 (혹은 불편했는지) 등을 물었다. 모든 질문을 마친 후 WSM 인터랙션의 의도와 현재 디자인을 구체적으로 설명한 뒤에, 참여자가 실험 중에 느낀 점과 생각나는 개선점들을 자유롭게 이야기하도록 했다.

대분류	세부 분류	코드명
물체 조작	물체 조작 시작	ITEM_DRAGGING
	물체 조작 종료	ITEM_IDLE
벽 조작	벽 조작 시작	WALL_DRAGGING
	벽 위치 고정	WALL_LOCKED
	벽 조작 종료	WALL_IDLE
태스크 시작 및 종료	태스크 수행 시작	TRIAL_START
	태스크 수행 종료	TRIAL_END

표 2. 사용자의 입력에 따른 이벤트 구분.

4.2. 실험 결과

그림 6, 그림 7, 그림 8 은 인터액션 방식(DIST_N, DIST_W, VELO_N, VELO_M)에 따른 주관 평가 점수, 수행 시간, 손 이동 거리 각각의 평균값을 보여주고 있다.

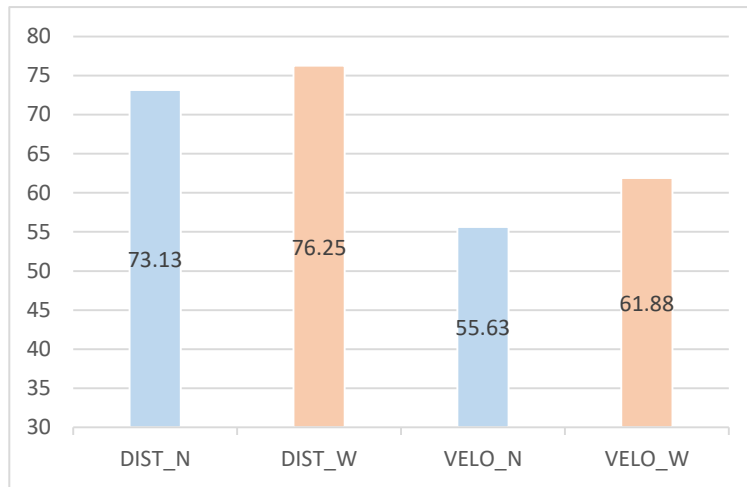


그림 6. 인터액션 방식에 따른 주관 평가 점수.

주관 점수 평가의 경우 전반적으로 DIST 가 VELO 에 비해 높은 평가를 받았음을 확인할 수 있다. 또한 WSM 이 적용된 경우에 근소하게 점수가 높은 것 역시 확인할 수 있다.

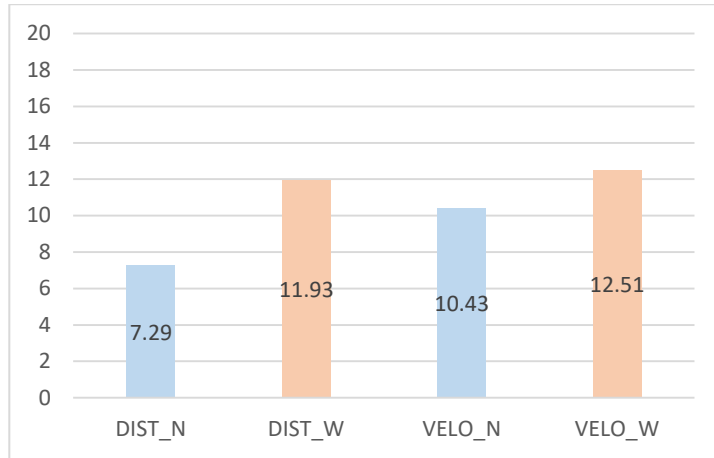


그림 7. 인터액션 방식에 따른 수행 시간(s).

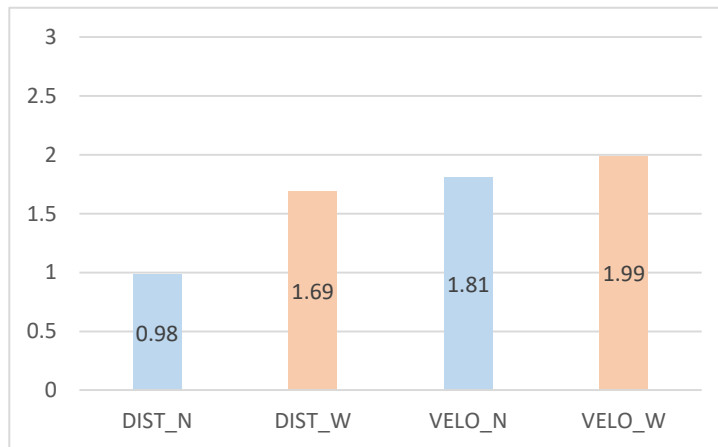


그림 8. 인터액션 방식에 따른 손 이동 거리(m).

수행 시간과 손 이동 거리의 경우, **DIST_N** 방식의 결과가 다른 방식들에 비해 두드러지게 우수한 것을 확인할 수 있다. 또한, **WSM** 방식이 적용된 경우가 적용되지 않은 경우에 비해 모두 근소하게 결과가 좋지 않다는 사실 역시 확인할 수 있다.

4.3. 결과 분석

- **물체 이동 방식의 차이.** 주관 평가 점수, 수행 시간, 손 이동 거리 모든 측면에서 WSM 적용 유무와 관계없이 DIST 가 VELO 방식에 비해 더 우수한 경향을 보이는 것을 확인할 수 있었다. 인터뷰에서도 4 명의 참여자 모두 DIST 를 VELO 보다 선호한다고 응답했다. VELO 의 경우 1 번 참여자는 “의도대로 움직이지 않았다”, 3 번 참여자는 “손을 빨리 움직이는 만큼 물체가 움직이는 느낌은 있었는데, 원하는 곳에 정확하게 물체를 옮기기에는 도움이 되지 않았다”라고 응답하는 등, DIST 에 비해 VELO 의 사용성이 비교적 떨어진다고 지적했다. 이는 원거리 2 차원 디스플레이 상의 효율적인 포인팅을 위해 고안되었던 Adaptive pointing[9] 이 3 차원 물체 위치 조정에 있어서는 적합하지 않았던 것으로 볼 수 있다.
- **벽의 선택 및 조작 방식.** 1 번 참여자는 “벽을 선택하는 방식과 물체를 선택하는 방식이 구분되면 좋을 것 같다”고 응답했다. 현재 WSM 은 (1) 벽을 선택하고, (2) 탭을 유지한 채로 벽을 끌어당겨 공간의 스케일을 조절하고, (3) 벽을 다시 선택해 벽을 원 상태로 돌리는 방식으로 진행되는데, 실험 도중 공간을 축소한 후 물체를 포인팅하고 선택하는 과정에서 실수로 벽을 선택하여 공간 축소를 초기화해버리는 경우가 발생하는 경우가 빈번히 발생했다. 이는 물체에 비해 벽을 선택하기 쉬운 이점이 벽을 실수로 선택할 수 있는 문제점으로 바뀐 것으로 해석할 수 있다. 이러한 문제는 공간을 원래 스케일로 돌리는 경우에 단순 선택과 구분되는 입력 방식, 예컨대 더블 탭이나 보이스 커맨드 등을 도입함으로써

개선할 수 있을 것으로 보인다. 유사한 문제로, 3번 참여자는 “벽의 위치를 한번에 조작해야만 하는 것이 불편했는데, 벽의 위치를 여러 번 움직여 세부 조정이 가능하도록 하면 더 좋을 것 같다”고 응답했다. 이는 앞선 문제와 이어지는 문제로서, 공간 축소를 초기화하기 위한 제스처로 더블 탭을 적용하는 등 단순 탭과 구분되는 제스처를 도입하여 해결할 수 있을 것이다.

- **WSM의 사용성.** 정량 데이터에서는 주관 평가 점수에서 WSM를 사용한 경우가 근소하게 점수가 높았고, 수행 시간과 손 이동 거리에 있어서는 비교적 성능이 좋지 않았다. 하지만 참여자 인터뷰 결과 4명의 실험 참여자 모두가 WSM이 적용된 경우를 선호한다고 답했다. 1번 참여자는 “공을 3번 이상 잡아 움직여야 하는 것을 2번 정도 움직임으로 조작이 가능해서 편하다고 느꼈다”라는 응답을, 2번 참여자는 “공간을 축소한 후, 대략적으로 상자를 물체 쪽에 움직인 다음 (공간을 원래대로 돌려놓은 후 위치를) 세부 조정을 하는 방식으로 했는데, (이러한 방식에) 익숙해지고 나니 자연스럽게 편했다”고 응답하는 등 참여자 모두 현재 WSM의 사용 방식에 대해 전반적으로 긍정적인 반응을 보였다. 이처럼 데이터 결과와 사용자 리포트의 결과가 반대로 나타나게 된 이유로는 앞서 언급한 벽 선택 및 조작 방식의 문제점을 들 수 있다. 또한 본 예비 실험에서 진행한 태스크가 WSM의 장점이 드러나지 않는 태스크였을 가능성도 있다. 관련 응답으로, 4번 참여자는 “조작하고자 하는 물체의 크기가 작거나, 수행하는 태스크의 난이도가 높았다면 확실히 정밀한 조작이 필요해서 WSM이 훨씬 편했을 것 같다”고 응답했다. 즉, 예비

실험에서는 WSM 이 보다 효율적으로 사용될 수 있는 상황을 충분히 재현하지 못한 것으로 추측할 수 있다. 따라서 물체의 크기, 태스크 완료 기준 등에 차이를 주는 등 개선된 실험을 수행함으로써 WSM 의 유용성을 보다 명확히 밝힐 수 있을 것이다.

- **부분 왜곡.** 4 번 참여자는 “벽의 평면 전체를 당기는 것이 아니라 사용자가 선택한 부분만 당기”는 아이디어를 제안했다. 사용자의 POI (point-of-interest)를 반영해 시각화를 왜곡하는 기법인 Fisheye view[5] 와 같이, 사용자가 관심 있는 선택한 벽의 일부만을 끌어당겨 해당 벽과 근처에 위치한 물체들을 조작하는 방식으로 WSM 을 확장할 수 있을 것이다. 그러나 사용자와 벽 사이의 공간 왜곡이 적용되는 차원이 3 차원으로 확장되면, 물체들의 위치가 얼마나 왜곡될 것인지에 대한 방침을 정하기 어려워지거나 조작의 직관성이 다소 떨어질 수 있는 문제가 있다.

5. 사용자 실험

예비 사용자 실험에서 확인한 현재 WSM 구현체의 사용성과 문제점을 바탕으로, 기존 WSM 의 단점을 보완한 후 전반적인 설계를 수정한 본 사용자 실험을 진행하였다. 본 실험의 주된 목적은 WSM 과 WSM 이 사용되지 않은 경우의 효율성의 차이를 보다 정량적이고 객관적으로 밝히는 것이다.

5.1. 예비 사용자 실험과의 차이점

- **물체 이동 방식.** 예비 사용자 실험 결과 물체와의 거리 기반 (DIST) 이동 방식에 비하여 손의 이동 속도 기반 (VELO) 이동 방식에서 좋지 않은 피드백을 얻었기 때문에, 가상 물체 위치 조작에는 VELO 방식이 적절하지 않은 것으로 판단하여 본 실험에서는 물체와의 거리 기반 이동 방식만을 사용했다.
- **벽 조작 인터랙션 방식.** 벽 조작 인터랙션 방식을 수정하여 벽을 향해 더블 탭을 할 때 공간 축소가 초기화되도록 수정했다. 이는 탭과 드래그로 벽을 여러 번 움직일 수 있도록 함으로써 세부적인 조정을 가능하게 하고, 벽을 잘못 탭했을 때 벽의 위치가 초기화되는 불편함을 완화하고자 했다. 또한, 벽이 움직이는 속도를 높여 한 번의 손 움직임으로 벽을 사용자 앞으로 움직일 수 있도록 세부 수치를 조정하였다. 이 때 벽의 위치는 사용자와

최소 거리(2m)를 유지하도록 하여 벽이 과도하게 사용자와 가까워지는 상황을 방지하였다.

- **물체의 형태.** 조작하는 물체와 목표 물체를 모두 정육면체로 변경하였다. 예비 실험에서와 같이 상자에 물체를 넣는 태스크는 비교적 자연스러운 상황을 모사한다는 장점이 있지만, 태스크 진행 중 열려 있는 상자가 물체의 위치를 가려 참여자가 물체의 위치를 찾지 못해 수행 시간이 늘어나는 등 종속변수에 의도치 않은 영향이 발생할 수 있음을 확인하였다. 이를 방지하기 위하여 두 물체의 형태를 동일한 형태로 수정하고, 목표 물체에 투명도를 줌으로써 목표 물체가 조작하는 물체를 가려도 참여자가 조작하고자 하는 물체를 쉽게 찾을 수 있도록 하였다.
- **물체의 축소.** 벽이 움직이면서 공간이 조작됨에 따라 물체의 형태에도 왜곡을 주도록 하였다. 즉, 조작 물체와 목표 물체 모두 공간의 스케일이 조작됨에 따라 왜곡되어 찌그러진 형태로 바뀐다. 이는 사용자가 공간 축소의 메타포를 더 명확하게 느낄 수 있도록 하기 위함이다. 이 때 이러한 메타포가 잘 반영될 수 있도록 물체의 모양을 정육면체로 고정하였다.

5.2. 실험 설계

실험 설계 및 구성은 기본적으로 예비 사용자 실험과 동일하다. 다만, WSM 과 WSM 이 사용되지 않은 경우의 차이를 중점적으로 확인하기 위하여 불필요하게 복잡했던 독립 변수 구성을 수정하고 새로운 독립 변수를 추가하였다.

5.2.1. 실험 개요

참여자는 11m 떨어진 곳에 가로 3m, 세로 3m 너비의 벽이 존재하는 실내 환경에서 가상의 물체(그림 9, 빨간색 큐브)를 목표 물체(그림 9, 초록색 큐브)에 맞추는 태스크를 수행했다. 이 때 하나의 태스크는 두 물체 중심 간의 거리가 물체의 변 길이의 절반 길이 이하로 가까워졌을 때 종료된 것으로 판정한다.

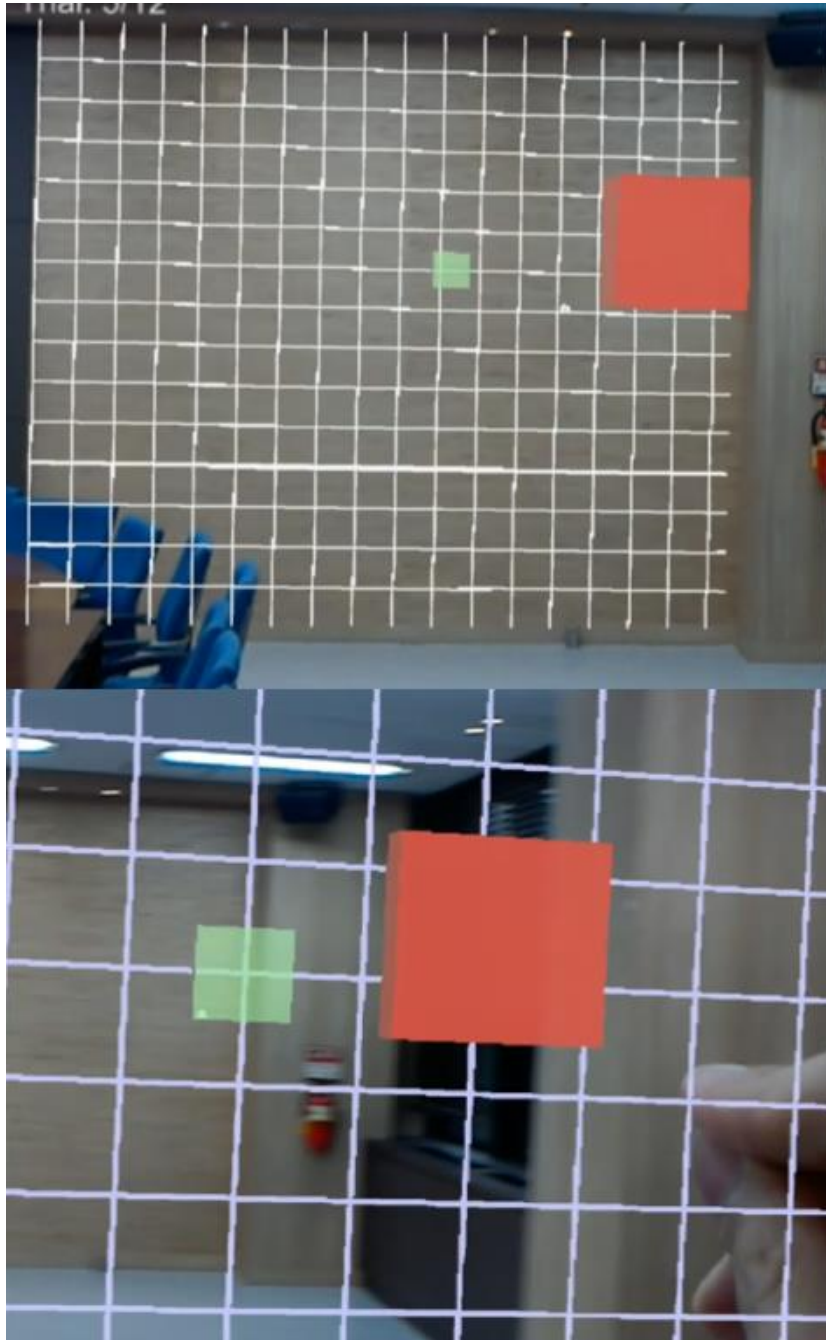


그림 9. 사용자 실험 환경. 참여자는 빨간색 정육면체를 초록색 정육면체로 옮기는 태스크를 진행하였다. 공간이 축소되었을 때 정육면체가 찌그러진 모습을 확인할 수 있다.

5.2.2. 독립 변수

- **WSM 적용 유무.** WSM 이 적용되는 경우(WALL)와 사용하지 않는 경우(NO_WALL) 총 2 가지로 구분했다. 이는 예비 실험의 구성과 동일하며, 참여자가 사용하는 인터랙션의 순서는 counter-balanced 되었다.
- **(벽 기준) Z축 거리 및 방향.** 벽을 기준으로 한 Z축 상에서 물체와 사용자 간의 거리를 Close (2m), Far (10m) 로 나누었다. 예비 실험과의 차이점은 먼 거리에 걸친 물체 조작에서의 WSM의 유용성에 집중하기 위하여 Mid-range 의 경우를 제거하고, 기존 Close 와 Far 사이의 거리를 늘렸다(기존 Close: 3m, Far: 9m). 이 때 사용자의 초기 위치를 조정하여 사용자와 벽 사이의 거리를 11m로 늘렸다.
- **(벽 기준) 평면 상의 위치.** 예비 실험에서는 물체와 목표의 평면 상의 위치가 벽의 중심을 기준으로 좌우 1m, 상하 1m 내부에 위치하도록 임의의 좌표를 부여하였다. 그러나 물체가 사용자로부터 가까이 위치한 경우 홀로렌즈의 좁은 시야각으로 인하여 참여자들이 물체의 위치를 바로 인지하지 못해 물체의 위치를 찾느라 수행 시간이 높아지는 경우가 발생하였다. 이러한 경우를 방지하기 위하여 평면 상의 좌표 제한을 좌우 0.6m, 상하 0.6m 로 좁혔으며, 물체와 목표의 평면 상의 거리 역시 0.25m, 0.75m 수준으로 줄였다.
- **물체의 크기.** 예비 실험의 4 번 참여자의 피드백(“조작하고자 하는 물체의 크기가 작거나, 수행하는 태스크의 난이도가 높았다면

확실히 정밀한 조작이 필요해서 WSM 이 훨씬 편했을 것 같다”)을 참고하여 물체의 크기를 독립 변수로 추가하였다, 예비 실험에서는 구형 물체의 반지름을 0.25m 로 고정하였으나, 본 실험에서는 정육면체 변의 절반 길이를 0.15m, 0.20m, 0.25m 까지 총 3 가지의 경우로 나누었을 때 물체의 크기가 변화함에 따라 WSM 의 사용성이 변화하는가를 확인하고자 했다.

이상 WSM 이 사용된 경우와 사용되지 않은 경우 2 가지 각각에 대하여 물체의 위치 및 크기에서 서로 다른 경우의 수를 총 $2 \times 2 \times 3 = 12$ 가지로 나눈 후 각 2 세트를 반복하였다. 즉 참여자는 총 $2(\text{WSM 유무}) \times 12(\text{물체 위치, 크기}) \times 2(\text{세트}) = 48$ 회의 태스크를 수행하였다.

5.2.3. 종속 변수

예비 사용자 실험과 동일하게 (1) 주관 평가 점수, (2) 수행 시간, (3) 손 이동 거리를 측정하였으며, 예비 실험과 마찬가지로 수행 시간은 인터랙션 방식의 효율성, 손 이동 거리는 편리성의 지표로 볼 수 있다. 이 때 수행 시간과 손 이동 거리의 경우 첫 번째 이벤트부터 TRIAL_END 까지 걸린 시간 혹은 거리로 계산하지 않고 매 태스크 시작 전에 5 초의 카운트다운을 준 다음 실제 태스크가 시작된 시점부터 측정하도록 계산하였다. 이는 예비 실험에서 WSM 의 경우 실험 참여자들이 빠르게 태스크를 시작하기 위하여 물체의 위치를 인지하기 전에 태스크가 시작되자마자 벽을 탭하는 방식으로 태스크를 진행하는 등 WSM 사용 여부에 따라 첫 번째 이벤트의 시간이 편향되는 양상을 확인하였기 때문이다.

5.2.4. 실험 참여자

총 7 명(남자 3 명, 여자 4 명)이 참여하였으며, 주로 사용하는 손은 2 명이 왼손, 5 명이 오른손이었으나 모두 오른손으로 태스크를 진행하였다. 왼손을 주로 사용하는 참가자들은 모두 오른손을 이용해 제스처를 수행하는 데에 문제가 없다고 응답했으며, 모든 참여자들은 실제 태스크 진행 전에 홀로렌즈 착용법, 에어 탭 제스처 사용법 등에 대한 안내를 받고 사용법이 충분히 익숙해질 때까지 연습 과정을 진행하였다.

5.3. 실험 결과

5.3.1. 수행 시간

반복측정 분산분석(Repeated-measures ANOVA)을 통해 WSM 적용 유무에 따른 수행 시간의 차이를 분석한 결과, WSM 적용 유무($F(1,6)=5.245$, $p=.062>.05$)에 따른 수행 시간에는 유의미한 차이가 나타나지 않았다. Z 축 거리 및 방향에 따른 수행 시간의 차이를 분석한 결과, Z 축 거리 및 방향($F(1,6)=25.080$, $p=.002<.05$)에 따라서는 유의미한 차이가 나타났으며, 물체의 크기($F(1.158,6.946)=3.486$, $p=.102>.05$)에 따라서는 유의미한 차이가 나타나지 않았다(그림 10). WSM 적용 유무와 Z 축 거리 및 방향 사이에는 ($F(1,6)=41.481$, $p=.001<.05$) 유의미한 상호작용 효과(interaction effect)가 나타났다(그림 11).

5.3.2. 손 이동 거리

반복측정 분산분석을 통해 WSM 적용 유무에 따른 손 이동 거리의 차이를 분석한 결과(그림 12), WSM 적용 유무($F(1,6)=15.319$, $p=.008<.05$)에 따른 손

이동 거리에는 유의미한 차이가 나타났다. Z 축 거리 및 방향에 따른 수행 시간의 차이를 분석한 결과, Z 축 거리 및 방향($F(1,6)=14.961, p=.008<.05$)에 따른 손 이동 거리의 유의미한 차이가 나타났다. 물체의 크기($F(1.392, 8.350)=1.046, p=.364>.05$)에 따른 유의미한 차이는 없는 것으로 나타났다(그림 12). WSM 적용 유무와 Z 축 거리 및 방향 사이에는 ($F(1,6)=26.312, p=.002<.05$)에는 유의미한 상호작용 효과가 나타났다(그림 13).

5.3.3. 주관 평가 점수

주관 평가 점수의 경우(그림 14), WSM 이 적용된 경우의 평균 점수가 근소하게 높은 것을 확인할 수 있었다.

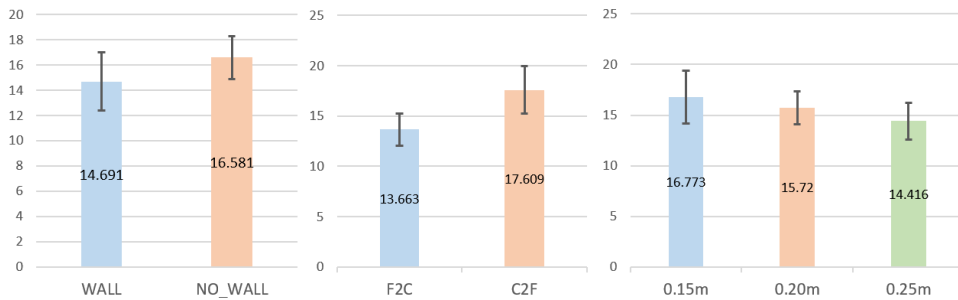


그림 10. WSM 적용 유무, Z축 거리 및 방향, 물체의 크기 각각에 따른 평균 수행 시간(s). 오차 막대는 표준 오차를 나타낸다.

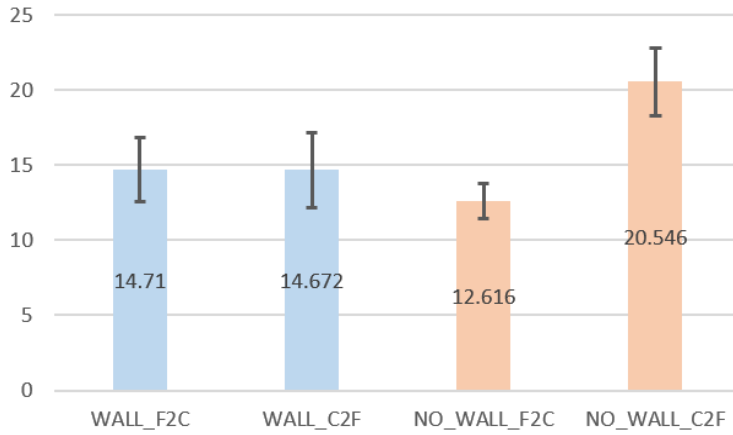


그림 11. WSM 적용 유무와 Z축 거리 및 방향 사이에 따른 평균 수행 시간(s).

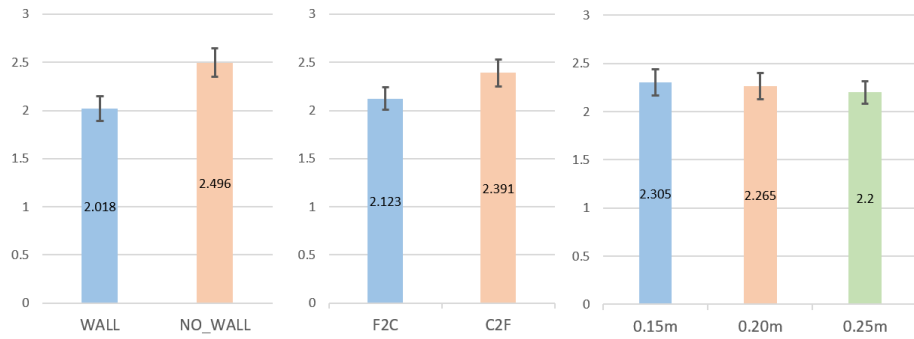


그림 12. WSM 적용 유무, Z축 거리 및 방향, 물체의 크기 각각에 따른 평균 손 이동 거리(m).

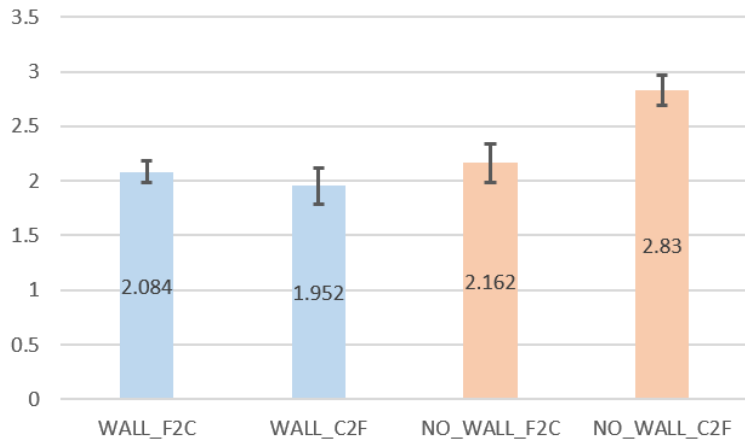


그림 13. WSM 적용 유무와 Z축 거리 및 방향에 따른 평균 손 이동 거리(m).

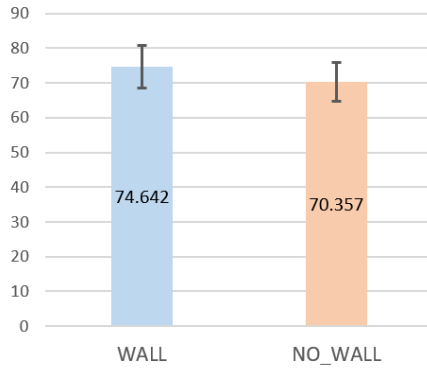


그림 14. WSM 적용 유무에 따른 주관 평가 점수.

6. 논의

이번 절에서는 사용자 실험 결과와 사용자 인터뷰를 함께 고려하여 원거리 물체 조작에 있어서의 WSM 의 장단점을 논의하고, 이를 추가적으로 개선하기 위한 방향을 살펴본다.

- **WSM 의 효율성.** 평균값의 차이와 p 값(=.06)을 고려하였을 때 WSM 이 적용된 경우 근소하게 수행 시간이 줄어들었으나 그 차이가 유의미하지는 않은 것으로 나타났다. 이는 WSM 가 원거리 물체의 조작의 수행 시간을 낮추는 효과를 주었지만, 벽을 끌어오거나 벽을 다시 보내는 등 WSM 에서 요구하는 추가적인 동작으로 인하여 효과가 일부 상쇄된 것으로 해석할 수 있다. 한편, Z 축 거리 및 방향에 대해서는 F2C 에 비하여 C2F 가 수행 시간, 손 이동 거리가 유의미한 차이로 높은 것을 확인할 수 있었다. 이는 참여자들이 가까운 물체를 먼 위치에 정확히 배치하는 것을 더 어려워했기 때문으로 해석할 수 있다. 4 번 참여자는 “벽을 사용하지 않을 때에는 멀리 보내는 경우가 굉장히 힘들었다. 미세 조정이 힘들었고, 물체의 깊이감이 느껴지지 않았아서 더 힘들었다”라고 응답했다. 흥미로운 점은 그림 11 에서 확인할 수 있듯 WSM 이 적용되지 않은 경우 수행 시간, 손 이동 거리 측면에서 C2F 와 F2C 사이의 차이가 훨씬 커졌음을 볼 수 있다. 즉, WSM 적용 유무와 Z 축 거리 및 방향 사이의 상호작용 효과가

유의미하게 나타난 것은 원거리 상의 정밀한 조작의 인지적 부담을 WSM이 유의미하게 완화해주고 있음을 의미한다고 볼 수 있다. 즉, WSM을 이용해 벽을 직접 조작하는 데에 기본적으로 추가적인 인터랙션이 필요하지만 해당 인터랙션에 요구되는 인지적 부하가 크지 않으며, C2F의 경우와 같이 원거리 상의 정밀한 조작이 어려운 경우 발생하는 인지 부하를 크게 완화해줄 수 있음을 의미한다.

- **WSM의 편리성.** WSM이 적용된 경우, 손 이동 거리가 WSM이 적용되지 않은 경우에 비해 유의미한 차이로 적은 것을 확인할 수 있었다. 이는 예비 사용자 실험에서 확인하였던 WSM의 장점이 인터랙션 방식의 개선을 통해 정량적으로 드러난 것으로 볼 수 있으며, 본 실험에서도 한 명을 제외한 모든 참여자들이 WSM이 적용된 방식을 선호하였다. 1번 참여자의 경우 “벽을 사용하는 것이 손을 움직여야 하는 거리를 줄여줘서 더 편한 것 같다”고 응답했다. 이는 WSM을 사용했을 때 사용자가 더 적은 움직임으로 원거리 물체의 조작을 수행할 수 있어, 물체 조작 상에서 발생할 수 있는 피로도를 낮추는 효과를 주는 것으로 해석할 수 있다. 한편 WSM이 적용된 경우를 선호하지 않았던 3번 참여자는, “세부적이고 정밀한 작업이 필요할 때는 쓰일 수 있을 것 같지만 일상 생활에서 사용하지는 않을 것 같다”고 응답하였다. 이는 WSM이 요구하는 추가적인 인터랙션 과정이 여전히 번거롭게 느껴질 수 있기 때문인 것으로 추측할 수 있다. 그럼에도 3번 참여자는 “원거리 물체를 위한 디테일한 조작에 있어서는 편하게 사용될 수 있을 것 같다”고 덧붙였는데, 이는 WSM 인터랙션

방식을 충분히 학습한 경우 여전히 원거리 물체 조작에 있어 편리하게 사용될 가능성이 있다고 볼 수 있다.

- **벽의 조작 방식.** 개선된 WSM 인터액션 방식에 대하여 불편함을 호소한 참여자는 없었다. 다만 4, 6 번 참여자의 경우 벽을 원래 위치로 돌려놓는 제스처의 경우, 더블 탭 제스처보다 ‘벽을 보낸다’라는 의미에 더 적합한 다른 제스처(예컨대 스와이프, 푸쉬 등)가 적용되면 더 좋을 것 같다고 응답했다. 이는 HMD 기기의 손 인식률을 개선하고 다양한 제스처를 학습함으로써 개선할 수 있는 문제이다. 한 편 예비 실험에서도 지적된 것과 유사한 응답으로, 7 번 참여자는 “*물체를 선택하고 싶었는데 벽을 선택하는 경우가 많아서 불편했다*”라고 응답했다. 이는 여전히 물체의 선택 영역보다 벽의 영역이 크기 때문에 발생하는 현상으로, Bubble cursor[6] 등의 개선된 물체 선택 메커니즘을 WSM 에 적용하여 완화할 수 있을 것이다.
- **물체 크기에 따른 차이.** 분석 결과 물체 크기에 따라 수행 시간과 손 이동 거리 상의 유의미한 차이는 나타나지 않았다. 실제로 3 번, 7 번 참가자는 태스크마다 물체의 크기에 차이가 있었음을 인지하지 못했다고 응답했다. 다만 평균치의 추세를 볼 때 물체의 크기에 작아짐에 따라 수행 시간과 손의 이동 거리가 늘어나는 경향성은 확인할 수 있었다. 이에 대하여 5 번 참여자는 “*물체의 크기가 작을수록 정확하게 선택하는 데에 어려움이 있었다*”고 응답했으며, 4 번 참여자는 “*벽을 사용할 때에는 물체의 크기에 따른 차이를 잘 못 느꼈지만, 벽을 사용하지 않을 때에는 미세*

조정도 힘들었고, 물체의 깊이감이 느껴지지 않아서 힘들었다”고 응답했다. 위 응답으로 미루어 보았을 때 본 실험 설계에 있어 물체의 크기에 따른 유의미한 차이가 나타나지는 않았으나, 물체의 크기가 더 작아지거나 여러 물체의 물체가 가까운 위치에 밀집한 경우와 같이 정확한 선택이 보다 어려운 경우에 WSM의 이점이 더 드러날 수 있을 것으로 예상된다.

7. 한계 및 향후 연구

본 연구에서 개념적으로 고려하지 못했거나 해결하지 못한 기술적 한계점들은 다음과 같다. 첫 번째로, WSM 은 벽이 존재하지 않는 실외 환경에는 적용하기 어렵다. 이는 사용자와 가상 물체 간의 거리의 기준으로 활용될 수 있는 현실 공간의 물체들(e.g. 표지판)에 WSM 과 동일한 메커니즘을 활용하여 일부 해결할 수 있다. 물론 이 경우 벽의 다양한 장점들을 포기해야 하며, 실제 물체를 인식해야 하는 기술적인 문제가 뒤따른다.

두 번째로, 본 연구는 여러 개의 물체가 함께 존재하는 환경을 고려하지 않았다. 이러한 환경에 현재 WSM 의 조작 방식을 그대로 적용하면 축소된 공간 상에서 물체들의 형태가 겹쳐 물체 선택 시의 모호성(ambiguity) 문제가 발생할 수 있다. 이는 사용자가 각 물체에 별도의 충돌체(collider)를 정의하여 물체 간의 최소한의 거리를 유지하도록 하거나, bubble cursor[6] 와 같은 개선된 물체 선택 방식을 적용함으로써 해결할 수 있다.

또한, 본 연구에서는 벽을 하나만 사용하는 1 차원 상의 공간 조작만을 고려했다. 그러나 사용자가 마주보고 있는 벽뿐만 아니라 천장, 다른 벽 등 여러 개의 벽을 함께 조작함으로써 공간을 축소하는 경우에 추가적인 이점이 발생하는가에 대한 연구도 필요하다.

마지막으로, 홀로렌즈의 경우 환경 인식 센서의 인식 영역이 무한하지 않기 때문에 조작하고자 하는 벽의 위치를 미리 인식해둔 상태에서만 WSM 을 적용할 수 있다는 문제가 있다. 이는 사용자가 직접 움직여 주변 환경이 빠르게 변화하는 상황에서 문제가 커진다. 이러한 문제는 인식한 주변 공간의 3D 메쉬로부터 평면 인식 알고리즘을 실시간으로, 적응적(adaptive)으로 반영하는 알고리즘에 대한 연구를 통해 해결할 수 있을 것이다.

8. 결론

본 논문에서는 혼합 현실 환경에서 벽을 이용해 사용자의 주변 공간의 스케일을 조절함으로써 원거리 물체의 직관적이고 효율적인 조작을 돕는 벽 기반 공간 조작 기법(WSM)을 제안하였다. 원거리 물체 조작에 있어 기존의 가상 현실 및 증강 현실 환경에서 사용되던 인터액션 방식들의 문제점들을 정의하고, 벽 기반 공간 조작 기법이 이를 어떻게 해결할 수 있는지를 개념적으로 확인하였다. 예비 사용자 실험을 통해 WSM의 초기 프로토타입의 사용성과 문제점을 확인하고, 사용자 피드백을 통해 다양한 개선점들을 찾을 수 있었다. 이를 반영하여 인터액션 방식을 개선한 후 본 사용자 실험을 진행했으며, WSM이 물체가 원거리에 위치하는 경우 수행 시간, 손 이동 거리 측면에서 물체 조작의 효율성과 편리성이 높아졌음을 확인하였다. 향후 연구를 통해 주변 환경 및 벽 인식 알고리즘을 반영함으로써 다양한 물체 조작 시나리오에 범용적으로 적용할 수 있도록 확장할 것이다.

참고문헌

- [1] Argelaguet, Ferran, Carlos Andujar, and Ramon Trueba. "Overcoming eye-hand visibility mismatch in 3D pointing selection." Proceedings of the 2008 ACM symposium on Virtual reality software and technology. ACM, 2008.
- [2] Armbrüster, Claudia, et al. "Depth perception in virtual reality: distance estimations in peri-and extrapersonal space." *Cyberpsychology & Behavior* 11.1 (2008): 9-15.
- [3] Bowman, Doug A., and Larry F. Hodges. "An evaluation of techniques for grabbing and manipulating remote objects in immersive virtual environments." Proceedings of the 1997 symposium on Interactive 3D graphics. ACM, 1997.
- [4] Buchmann, Volkert, et al. "FingARtips: gesture based direct manipulation in Augmented Reality." Proceedings of the 2nd international conference on Computer graphics and interactive techniques in Australasia and South East Asia. ACM, 2004.
- [5] Furnas, George W. *The FISHEYE view: A new look at structured files*. Vol. 81. Bell Laboratories Technical Memorandum, 1981.
- [6] Grossman, Tovi, and Ravin Balakrishnan. "The bubble cursor: enhancing target acquisition by dynamic resizing of the cursor's activation area." Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems. ACM, 2005.
- [7] Grubert, Jens, et al. "Towards pervasive augmented reality: Context-awareness in augmented reality." *IEEE transactions on visualization and computer graphics* (2016).
- [8] Ha, Taejin, Steven Feiner, and Woontack Woo. "WeARHand: Head-worn, RGB-D camera-based, bare-hand user interface with visually enhanced depth perception." *Mixed and Augmented Reality (ISMAR), 2014 IEEE International Symposium on*. IEEE, 2014.
- [9] König, Werner A., et al. "Adaptive pointing—design and evaluation of a precision enhancing technique for absolute pointing devices." *IFIP Conference on Human-Computer Interaction*. Springer Berlin Heidelberg, 2009.

- [10] Krichenbauer, Max, et al. "Augmented Reality vs Virtual Reality for 3D Object Manipulation." *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* (2017).
- [11] Kruijff, Ernst, J. Edward Swan, and Steven Feiner. "Perceptual issues in augmented reality revisited." *Mixed and Augmented Reality (ISMAR), 2010 9th IEEE International Symposium on.* IEEE, 2010.
- [12] Milgram, Paul, and Fumio Kishino. "A taxonomy of mixed reality visual displays." *IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems* 77.12 (1994): 1321-1329.
- [13] Mine, Mark R., Frederick P. Brooks Jr, and Carlo H. Sequin. "Moving objects in space: exploiting proprioception in virtual-environment interaction." *Proceedings of the 24th annual conference on Computer graphics and interactive techniques.* ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co., 1997.
- [14] Mine, Mark. "Virtual environment interaction techniques." *UNC Chapel Hill computer science technical report TR95-018* (1995): 507248-2.
- [15] Nuernberger, Benjamin, et al. "Snaptoreality: Aligning augmented reality to the real world." *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems.* ACM, 2016.
- [16] Özacar, Kasım, et al. "3D Selection Techniques for Mobile Augmented Reality Head-Mounted Displays." *Interacting with Computers* (2016).
- [17] Poupyrev, Ivan, et al. "Egocentric object manipulation in virtual environments: empirical evaluation of interaction techniques." *Computer graphics forum.* Vol. 17. No. 3. Blackwell Publishers Ltd, 1998.
- [18] Poupyrev, Ivan, et al. "The go-go interaction technique: non-linear mapping for direct manipulation in VR." *Proceedings of the 9th annual ACM symposium on User interface software and technology.* ACM, 1996.
- [19] Seo, Dong Woo, and Jae Yeol Lee. "Direct hand touchable interactions in augmented reality environments for natural and intuitive user experiences." *Expert Systems with Applications* 40.9 (2013): 3784-3793.
- [20] Stoakley, Richard, Matthew J. Conway, and Randy Pausch. "Virtual reality on a WIM: interactive worlds in miniature." *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems.* ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co., 1995.
- [21] Surdick, R. Troy, et al. "The perception of distance in simulated visual displays: A comparison of the effectiveness and accuracy of multiple depth cues across viewing distances." *Presence: Teleoperators and Virtual Environments* 6.5 (1997): 513-531.

- [22] Vanacken, Lode, Tovi Grossman, and Karin Coninx. "Exploring the effects of environment density and target visibility on object selection in 3D virtual environments." 3D User Interfaces, 2007. 3DUI'07. IEEE Symposium on. IEEE, 2007.
- [23] Bowman, Doug, et al. 3D User Interfaces: Theory and Practice, CourseSmart eTextbook. Addison-Wesley, 2004.
- [24] Brooke, John. "SUS-A quick and dirty usability scale." Usability evaluation in industry 189.194 (1996): 4-7.
- [25] Winer, Benjamin J. "Latin squares and related designs." (1962).
- [26] Epson Moverio, Retrieved May 22, 2017 from <https://epson.com/moverio-augmented-reality>
- [27] Hololens Air tap gesture, Retrieved May 22, 2017, from <https://support.microsoft.com/en-us/help/12644/hololens-use-gestures>
- [28] Meta, Retrieved May 22, 2017 from <https://www.metavision.com/>
- [29] Microsoft Hololens, Retrieved May 22, 2017 from <https://www.microsoft.com/en-us/hololens>
- [30] Microsoft, HoloToolkit-Unity, Retrieved May 22, <https://github.com/Microsoft/HoloToolkit-Unity>

Abstract

We present Wall-based Space Manipulation (WSM) technique, which enables a user to efficiently manipulate distant objects by dynamically scaling one's surrounding space using virtual walls in a mixed reality environment. We conducted preliminary user study and found several problems of the early prototype and ways to alleviate them. We modified interaction mechanisms and conducted main user study to assess the usability of our technique. The result shows that WSM can help users to manipulate distant objects more precisely and efficiently. The user feedback received from the study demonstrates its potential and suggests future directions for improvement.

Keyword: Mixed Reality, Augmented Reality, 3D Object Selection, 3D Object Positioning, Distant Object, Space Manipulation, Space Distortion

Student Number: 2015-22917