



저작자표시-비영리-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

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

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 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](#)

마커 소형화와 손가락 터치를 이용한
증강현실 감각형 상호작용 방안

Augmented Reality Tangible Interaction Using Fingertip
Touch Combined With Small-Sized Markers

2013 년 2 월 25 일

조선대학교 대학원

산업공학과

정 호 균

마커 소형화와 손가락 터치를 이용한
증강현실 감각형 상호작용 방안

지도 교수 박 형 준

이 논문을 공학 석사학위 신청논문으로 제출함

2012 년 10 월

조선대학교 대학원

산업공학과

정 호 균

정호균의 석사학위논문을 인준함

위원장 조선대학교 교수 김 종 래 (인)

위 원 조선대학교 교수 황 학 진 (인)

위 원 조선대학교 교수 박 형 준 (인)

2012 년 11 월

조선대학교 대학원

목 차

목차	I
그림 목차	III
표 목차	VI
ABSTRACT	VII
제 1 장. 서 론	1
1.1 연구 배경	1
1.2 연구 목적	2
1.3 논문 구성	5
제 2 장. 증강현실 상호작용 관련 연구	7
2.1 증강현실	7
2.2 증강현실의 추적 기법	9
2.2.1 마커 기반 추적 기법	10
2.2.2 비 마커 기반 추적 기법	11
2.3 증강현실의 감각형 상호작용	12
제 3 장. 마커의 추적 개선 및 소형화	17
3.1 제안된 마커 추적 방안	17
3.2 마커 외곽선 추출	19
3.2.1 이진화	20
3.2.2 외곽선 추출	21

3.2.3 사각형의 외곽선 획득	24
3.3 마커 인식	28
3.3.1 패턴 영역 추출 및 저장	28
3.3.2 마커 내부 패턴 영역 제어	30
3.4 제안된 마커 추적 기법의 성능 분석	30
3.4.1 마커 가림에 대한 처리 능력 비교	31
3.4.2 크기에 따른 인식률 비교	32
제 4 장. 손가락 터치 기반 증강현실 상호작용	37
4.1 제안된 상호작용 방안	37
4.2 제안된 상호작용 방안의 성능 분석	39
제 5 장. 시스템 구현 및 적용	43
5.1 시스템 구현	43
5.2 사용자 평가 방안	45
제 6 장. 결론 및 추후 연구	50
참고 문헌	52
감사의 글	55

그림 목 차

그림 1.	마커 가림에 의한 인식오류 해결	3
그림 2.	템플릿 매칭을 위한 마커 내부패턴 영상과 저장된 데이터 ..	3
그림 3.	동일한 크기의 기존 마커와 제안된 마커의 내부 패턴의 크기 비교 ·	4
그림 4.	내부 패턴 확장을 통한 인식을 증가	4
그림 5.	손가락 터치를 이용한 증강현실 감각형 상호작용 방안 ...	4
그림 6.	Milgram(1994)이 제안한 혼합 현실 스펙트럼	7
그림 7.	증강현실(AR)의 활용 예제	7
그림 8.	ARToolKit의 영상 정합 원리	9
그림 9.	ARToolKit의 마커와 패턴파일	10
그림 10.	SIFT를 이용한 마커리스	11
그림 11.	증강현실을 위한 도구들	12
그림 12.	마커 간의 위치정보를 이용한 이벤트의 발생	12
그림 13.	감각형 증강현실을 이용한 휴대용 전자제품 설계 품평 ...	13
그림 14.	ARToolKit의 시스템 구성도	15
그림 15.	제안된 증강현실 시스템 과정	17
그림 16.	실제와 이진화 이미지	18
그림 17.	레이블링 원리	19
그림 18.	ARToolKit의 corner point 추출 방법	20
그림 19.	검출된 외부 외곽선과 내부 외곽선	20
그림 20.	cvFindContours() 함수를 통해 발견된 외곽선 저장 방법 ·	21

그림 21.	cvFindContours() 함수를 이용한 외곽선 추출	21
그림 22.	cvApproxPoly() 함수의 동작원리	22
그림 23.	제안된 사각형의 추정 방안	23
그림 24.	최외각선의 판별	23
그림 25.	볼록 다각형과 오목 다각형	24
그림 26.	마커의 외곽선의 방향으로 인한 z축	25
그림 27.	마커 추적의 결과 영상	25
그림 28.	카메라 보정 과정	26
그림 29.	마커의 패턴 정규화	27
그림 30.	내부 패턴의 저장 데이터	27
그림 31.	마커 내부의 영역의 확장	28
그림 32.	마커 가림에 대한 실험 환경	29
그림 33.	마커 가림에 의한 인식오류 해결	30
그림 34.	내부 패턴 크기에 따른 인식을 실험 환경	31
그림 35.	실험에 사용된 마커	32
그림 36.	크기에 따른 인식을 비교 실험의 결과	34
그림 37.	인식된 마커의 개수	34
그림 38.	마커와 이벤트 포인트의 위치 관계도	36
그림 39.	카메라와 AR 마커 간의 좌표변환	37
그림 40.	상호작용 도구의 정확성 실험 환경	39
그림 41.	버튼 클릭의 평균 소요 시간	39
그림 42.	버튼 클릭의 평균 실수 개수	40
그림 43.	디자인 품평 프로세스	41
그림 44.	구현된 시스템 환경 영상	43

그림 45.	사용자 평가 작업(task)순서	44
그림 46.	각 상호작용 도구의 PMP 사용성 평가	45
그림 47.	감각형 상호작용 도구들의 평균 작업소요 시간	46
그림 48.	사용자 정성적 평가 설문 분석	47

표 목 차

표 1.	증강현실(AR)관련 논문과 인용의 비율	8
표 2.	사각형의 기하학적 특성	24
표 3.	크기에 따른 인식을 비교를 위한 실험 계획	31
표 4.	크기에 따른 인식을 비교 실험결과 데이터의 예시	33
표 5.	손가락 터치 기반 상호작용의 실험 계획	38
표 6.	사용자 정성적 평가 설문 리스트	47

ABSTRACT

Augmented Reality Tangible Interaction Using Fingertip Touch Combined With Small-Sized Markers.

Ho-Kyun Jung

Advisor : Prof. Hyungjun Park, Ph.D.

Department of Industrial Engineering

Graduate School of Chosun University

Nowadays computer-vision based augmented reality (AR) have been widely adopted in various academic and industrial fields including advertising, education, and product development. Marker tracking is the core part of AR because it significantly affects the quality of interaction and immersion in AR applications. Among various AR interaction approaches, a tangible interaction approach to using two types (product-type and pointer-type) of simple objects for design evaluation has earned great interest in recent years. In most AR interaction approaches, the sizes of markers attached to tangible objects are kept as big as possible to obtain better marker tracking. Thus, we encounter inconvenient situations in which the pointer-type object is so big that it significantly occlude the product-type object in an AR environment. This deteriorates natural visualization and level of immersion in the environment. In this thesis, in order to overcome such problems, we

propose tangible AR interaction using fingertip touch combined with small-sized markers. The proposed approach is based on improved marker tracking by facilitating the use of convex polygons and reducing the sizes of AR markers without sacrificing the quality of marker detection. First, we find polygons from the real world image and use their convex polygons to obtain minimum-area rectangles in which AR markers are enclosed. This makes the proposed approach is more robust than ARToolKit which just finds rectangles for marker detection. Second, we properly enlarge the pattern area of each AR marker and use it for marker recognition. Compared with ARToolKit using 25% of the marker as the pattern area, this produces better quality. We empirically verified the quality of the proposed interaction approach, and applied the proposed approach in the process of design evaluation of digital products. From experimental results, we found that the approach is comparably accurate enough to be applied to the design evaluation process and tangible enough to provide a pseudo feeling of manipulating virtual products with human hands.

제 1 장 서 론

1.1 연구배경

오늘날 컴퓨터 기술의 발전으로 인해 가상환경이 일상생활의 교육, 비즈니스, 의료, 시뮬레이션, 제품 개발, 게임, 방송 등 사회의 다양한 분야에서 활용되어지고 있다. 하지만 가상 환경은 현실과는 별개의 다른 공간이라는 인식이 일반적 정설이다. 이를 극복하기 위해 가상현실과 실제 환경을 결합한 현실을 생각하게 되었다. 이를 혼합현실(Mixed Reality, MR)이라 하며, 그 기반이 실제 또는 가상인가에 따라 증강현실(Augmented Reality, AR)과 증강가상(Augmented Virtuality, AV)으로 구분되어진다.[14]

그 중 실제 환경을 기반으로 하는 증강현실은 실제 환경에서는 제공받지 못하는 정보들을 컴퓨터 기술을 이용한 가상의 영상으로 제공한다. 증강현실에 대한 연구는 대학 및 기업의 연구실에서 주도를 하였지만, 사각형 마커(Square Marker)기반의 공개 라이브러리인 ARToolKit의 등장으로 일반인도 비교적 쉽게 증강된 현실을 구현 할 수 있게 되었다. 현재 증강현실에 대한 연구가 제품 광고, 교육용 콘텐츠, 제품개발과정(Product Development Process)의 가상시작(Virtual Prototype, VP), 시뮬레이션 등의 다양한 분야에서 활용되어 지고 있다.

ARToolKit[4]은 Table-Top 증강현실 환경에서 감각형 사용자 인터페이스(Tangible User Interface, TUI)인 마커(Marker)를 매개체로 사용하여 마커의 위치에 가상 물체 및 영상을 오버랩(overlap)하여 영상을 보여주게 된다. 이렇게 증강된 가상 객체는 단순히 시각적으로 인식하는 범위에서 벗어나 사용자와 객체의 상호작용(interaction)을 통해 보다 많은 정보를 얻을 수 있게 되었다. 사용자 중심의 상호작용 방법으로 마우스, 키보드, 데이터 글러브(data glove), 햅틱(haptic), RFID(Radio-Frequency Identification) 등을 이용한 연구가 이루어지고 있지만 고가의 장비를 이용한다는 점과 정해진 공간에서 구현된다는 점, 사용법에 대한 교육의 필요성 등의 한계점이 발생한다. 이러한 문제점의 대안으로써 감각형 오브젝트(tangible object)의 활용이 소개 되었다. Park 등 [11,12,23]은 제품설계 단계에서

사용되는 디자인 품평 프로세스를 제안하였다. 여기에 사용되어지는 감각형 오브젝트의 종류는 펜(pen)형, 링(ring)형 포인터 등이 있고, 이를 이용하여 가상의 시제품에 대한 상태정보를 제공하여 평가하는 프로세스를 지원한다. 하지만 여기서 사용되어지는 상호작용 도구인 감각형 오브젝트의 경우 마커의 크기 제약 및 가림 현상으로 인해 자연스러운 시각화와 몰입도가 저해되는 문제점을 갖고 있다. 본 논문에서는 이러한 상호작용 방안에 대한 문제점을 해결할 수 있는 증강현실 기반 사용자 설계 품평 시스템을 위한 상호작용 방안으로 마커 소형화를 통한 손가락 터치를 이용한 감각형 상호작용 방안을 제안하고자 한다.

1.2. 연구 목적

기존 상호작용 방안은 마커의 가림 현상이 발생할 경우 마커를 인식 못한다는 문제점과 마커 크기가 줄어들수록 인식률일 대폭 감소한다는 문제점이 있다. 본 논문에서는 다각형 정보를 포함한 마커 후보군으로부터 사각형 영역을 생성하는 방법을 제시하고, 마커 외부 패턴 영역을 제어하여 마커의 인식률을 개선하는 방법을 제안한다. 이 두 가지 방법을 이용하여 손가락 터치를 지원하는 소형 마커를 제작하고, 상호작용을 적용하여 상호작용의 가능성을 보이는 것을 목적으로 하고 있다. 본 논문에서 수행한 세부적인 내용은 다음과 같다.

- 마커 가림에 따른 인식 오류 문제 개선
- 마커 인식 영역 확대를 통한 마커 소형화
- 손가락 터치를 이용한 증강현실 감각형 상호작용
- 개발된 방법의 구현, 검증 및 적용

(1) 마커 가림에 따른 인식 오류 개선

ARToolKit[4]과 같은 기존의 마커 추적 기술은 영상 내에서 사각형을 찾고 내부 패턴을 이용하여 마커를 찾는다. 이러한 이유로 상호작용 중에 마커 가림이 발생하면 증강현실 시스템은 그 마커 정보를 인식하지 못하는 현상이 발생한다. 이러한 문제점의 해결 방법으로 다각형 정보를 포함한 마커 후보군으로부터 사각형 영역을 생성하는 방안을 제시한다. 그림 1은 마커 가림에 의한 인식오류 현상과 개선 결과 영상이다.

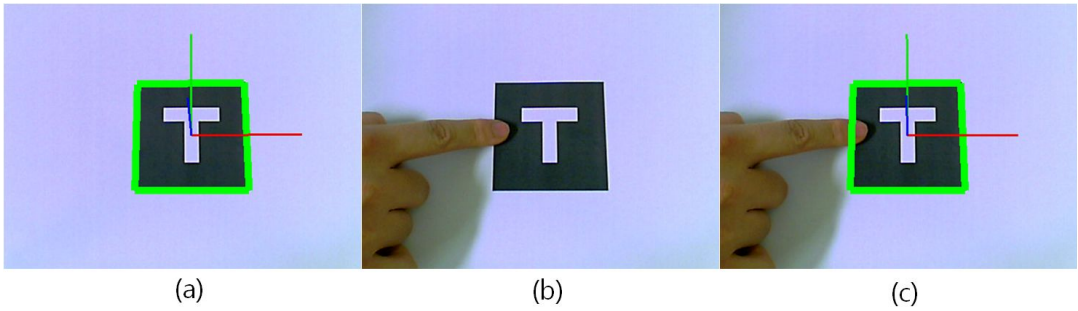


그림 1. 마커 가림에 의한 인식오류 해결: ARToolKit(a, b), 제안된 마커 추적(c)

(a)는 마커 가림이 없을 경우의 기존 마커 추적을 나타내고, (b)는 마커 가림이 발생하였을 때 마커를 인식하지 못하는 현상을 보이고 있다. 마지막으로 (c)는 개선된 마커 추적 방법을 통해 마커 가림 현상이 발생하여도 마커 추적이 됨을 보이고 있다.

(2) 마커 인식 영역 확대를 통한 마커 소형화

그림 2는 템플릿 매칭을 위한 마커 내부패턴 영역과 저장된 데이터를 시각화한 것이다. ARToolKit과 같이 대부분의 증강현실 시스템에서는 템플릿 매칭을 이용하여 마커를 인식하는데, 마커 내부패턴 영역이 마커 사각형의 25% 면적만을 이용하며, 마커의 인식률을 높이기 위해 크기가 큰 마커의 사용이 요구된다.



그림 2. 템플릿 매칭을 위한 마커 내부패턴 영상과 저장된 데이터

제안된 방안에서는 그림.3과 같이 내부 패턴 영역을 제어하는 방안을 제시한다. 이를 통해 마커 인식률을 높이고, 다른 마커간의 오인식을 감소시켜 원활한 증강현실 시스템을 구현하는 방안을 제시한다. 그림.4는 본 논문에서 제안한 내부 패턴을 확장을 통해 인식률이 높아짐을 보이고 있다.

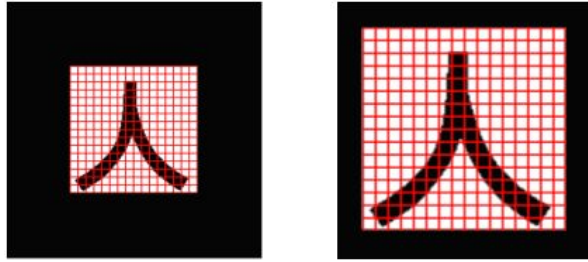


그림 3. 동일한 크기의 기존 마커와 제안된 마커의 내부 패턴의 크기 비교



그림 4. 내부 패턴 확장을 통한 인식을 증가

(3) 손가락 터치를 이용한 증강현실 감각형 상호작용

또한, 본 논문에서는 마커 추적 기능 개선 및 소형화를 적용한 상호작용 방법을 제시한다. 소형의 마커를 검지 첫째 마디에 부착하여 손가락 터치를 이용한 상호작용을 지원한다. 이는 기존의 증강현실 시스템에서 발생한 마커 가림 및 인식을 향상시켜 주었기 때문에 기존의 큰 마커를 사용했을 경우와 성능 면에서 대등하다. 또한 기존 상호작용 도구는 특정한 형상을 갖고 있어 사용을 위해서는 제작하는 번거로움과 사용 중의 시야를 가리는 등의 문제점을 본 논문에서는 해결한다. 그림 5는 기존 증강현실의 문제점을 해결하기 위해 제시된 손가락 터치를 이용한 증강현실 감각형 상호작용 방안에 대한 영상이다.

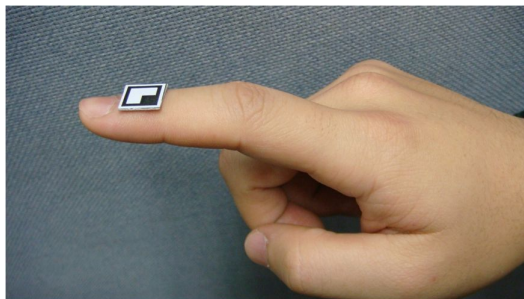


그림 5. 손가락 터치를 이용한 증강현실 감각형 상호작용 방안

(4) 개발된 방법의 구현, 적용, 및 검증

한 대의 PC와 실세계 영상 획득을 위해 한 개의 PC 카메라를 사용하고, Park 등 [11,12]이 제안하는 증강현실 시스템을 토대로 개발된 방법들을 구현하고, 휴대용 전자제품 PMP에 대한 품평에 적용하여 검증한다. Park 등 [11,12]의 연구에서 제안된 펜(pen)형, 링(ring)형의 상호작용과 본 논문에서 제안하는 손가락 터치를 이용한 상호작용 방안에 대하여 비교함으로써 상호작용의 가능성을 보인다.

1.3 논문 구성

1장 이후의 논문 구성은 다음과 같다. 2장에서는 증강현실의 개념과 증강현실 구현 방법에 따른 마커 추적과 비 마커 추적 방법에 대한 간략한 설명과 기존 논문을 소개하고, 증강현실의 상호작용에 대해 언급한다. 3장에서는 본 논문에서 제안하는 입력 영상으로부터 다각형을 추적하는 방안과 내부 패턴의 크기를 조절하는 방안에 대하여 기존연구와의 비교 및 실험을 실시한다. 4장에서는 손가락 터치를 지원하는 새로운 포인터용 오브젝트 방안을 제시한다. 5장에서는 감각형 상호작용 시스템에 4장에서 제시한 새로운 포인터용 오브젝트 방안을 적용 및 구현한다. 마지막으로 6장에서는 결론 도출 및 추후 연구를 언급하고 결론은 맺는다.

제 2 장 증강현실 상호작용 관련 연구

본 장에서는 증강현실의 기본 개념 및 추적기술에 대해서 기술한다. 우선 증강현실의 개념과 증강현실 구현 방법에 따른 마커 추적과 비마커 추적 방법에 간략한 설명과 기존 연구를 소개하고, 증강현실의 상호작용에 대해 언급한다.

2.1 증강현실

오늘날 컴퓨터 기술의 발전으로 일상생활의 교육, 비즈니스, 의료, 시뮬레이션, 제품 개발, 게임, 방송 등의 사회의 다양한 분야에서 가상의 환경을 활용하고 있다. 가상현실의 정의는 컴퓨터로 제어되는 가상 환경에서 현실 세계의 사용자가 인터페이스 시스템을 이용하여 상호 작용함으로써, 마치 현실 상황에서 느낀 것과 같은 체험을 전달하는 것이다. 이러한 가상현실 시스템의 구현에서 가장 중요한 요소는 몰입감, 상호작용 및 자율성이다[11,12].

몰입감이란 자신의 눈앞에 실제의 물체와 차이가 없을 정도로 실감나는 정보를 제공하는 것을 가상의 현실에 몰입 되는 것을 의미한다. 따라서 인간의 감각에 얼마나 적절하게 호소 할 수 있는 지가 매우 중요한 부분이지만 아직까지 이러한 요소들을 만족하는 시스템은 개발되지 않았으며, 가상현실 시스템은 컴퓨터로 구현된 가상의 환경에 가상 모델을 영상출력장치를 통해 시각화 하므로 실세계 환경의 사실감 및 현실감을 느끼기 어렵다. 물론 HMD 등의 기계 장치를 이용하면 가상 객체의 입체감을 시각적으로 느끼겠지만 근본적인 해결방법은 아니다[26].

상호작용이란 사용자가 가상 객체에게 물리적 신호와 같은 명령을 주고 그에 따라 가상 객체가 사용자의 명령에 맞는 행동을 하는 것이라 볼 수 있다. 가상현실 시스템에서도 상호작용을 하는 매개로 기본 입력장치인 키보드, 마우스를 포함한 햅틱, 데이터 글러브 등의 여러 가지 입력장치가 있지만 이는 가상의 공간에서 이루어진다는 점이 사용자로 하여금 몰입감을 저하시킨다.

이러한 문제점을 인식한 많은 학자들은 가상현실과 실제현실의 중간 단계인 혼합현실(Mixed Reality)에 많은 관심을 갖게 되었다. 그림 6은 Milgram(1994)이

제안한 혼합 현실 스펙트럼으로, 실세계와 가상 세계의 중간단계를 혼합현실이라 제안하였다[13].

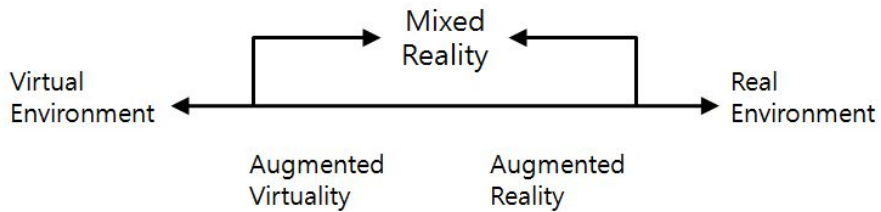


그림 6. Milgram(1994)이 제안한 혼합 현실 스펙트럼 [13]

증강현실(Augmented Reality, AR)은 혼합현실의 한 부분으로 그림 7과 같이 현실의 환경에 가상의 물체나 컴퓨터 그래픽 영상을 삽입하여 사용자로 하여금 실존해 있는 것과 같은 느낌을 줌으로써 실세계와 가상 세계를 적절히 혼합한 환경을 말한다.



그림 7. 증강현실(AR)의 활용 예제

실세계의 환경을 가상 환경에 구현하기는 쉽지 않은 일이다. 가령 현실감을 주기 위해 필요하지 않은 수많은 정보를 가상환경에 적용시키는 것과 같은 비효율적인 작업이 될 것이다. 하지만 역으로 현실 환경에 가상의 요소(element)를 추가하는 일은 필요한 가상의 요소 정보만을 이용하기 때문에 전자에 비해 구현하는 시간과 노력을 줄일 수 있고, 추가되는 요소를 제외한 나머지는 환경은 실세계 그 자체 이므로 사용자가 느끼는 이질감을 최소화 할 수 있는 이점이 있다. 이러한 증강 현실 시스템을 구현하기 위해서는 디스플레이 기술, 추적 기술, 상호작용 기술, 영

상 정합 및 합성 기술 등 다양한 요소가 요구되어진다. 현재 내비게이션 및 스마트폰을 활용한 증강현실, 이러닝(e-learning) 기술, 제조 분야, 의료 분야 등 여러 분야에서 적용할 수 있게 관련 연구가 활발히 이루어지고 있다.[15,19] Zhou [28]은 International Symposium on Mixed and Augmented Reality(ISMAR)에서 연구의 주제와 각 논문의 인용 빈도수를 조사하였고, 표 1은 조사한 결과를 보이고 있다.

표 1. 증강현실(AR)관련 논문과 인용의 비율[28]

Topics	% Papers	% Citations
Tracking	20.1	32.1
Interaction	14.7	12.5
Calibration	14.1	12.5
AR App.	14.4	12.5
Display	11.8	5.4
Evaluations	5.8	1.8
Mobile AR	6.1	7.1
Authoring	3.8	8.9
Visualization	4.8	5.4
Multimodal	2.6	0.0
Rendering	1.9	1.8

표를 통해 추적과 상호작용, 카메라 보정(Calibration), 증강현실 어플리케이션이 증강현실 연구에서 대두되는 것을 알 수 있다. 본 논문에서는 감각형 마커를 이용한 상호작용 기술 중에 마커의 크기를 축소시키기 위한 방법과 영상 이미지에서 마커 가림으로 인한 인식 오류를 개선하기 위한 방법에 대해서 제안한다.

2.2 증강현실의 추적 기법

추적 기술은 추적 방법에 따라 센서 기반(Sensor-based)과 영상 기반(Vision-based)으로 나눌 수 있다. 센서 기반 추적 방법은 GPS(Global Positioning

System) 및 RFID(Radio-Frequency Identification) 등과 같은 센서를 통해 얻어진 정보를 이용한다. 영상 기반 추적 방법은 영상 처리를 통하여 카메라의 위치와의 관계를 추정하여 정보를 얻는다. 본 절에서는 영상 기반 추적 기술에서 마커(Marker-based)과 비 마커(Markerless-based)의 추적 방법에 대한 연구를 기술 하겠다.

2.2.1 마커 기반 추적 기법

증강현실에서 가상 객체를 증강시키기 위한 쉽고 간편한 방법은 하나의 기점(fiducial)을 정하여 그 기점 좌표를 통하여 가상 객체를 증강시키는 방법이다. 컴퓨터에서 인식 가능한 마커를 활용하여 가상객체의 위치정보를 얻고, 저장되어있는 가상 객체를 오버레이하는 기술을 말하고 있다. 우리는 이에 사용되는 기점을 마커(marker)라 한다.

증강현실 응용 프로그램의 작성을 위한 추적 라이브러리로 ARToolKit[4], ARToolKitplus[5], ARTag[6]가 대표적으로 있으며, 이 중 ARToolKit이 가장 널리 사용되어지고 있다. 이들 라이브러리는 이미지가 정확하게 실제 객체와 정렬되도록 실시간으로 빠르고 정확하게 사용자의 시점을 계산하여 준다[16].

ARToolKit의 마커 추적 방법은 그림 8과 같이 입력 영상에 임계치(threshold)를 주어 이진화 영상으로 변환한다. 이진화 영상에서 외곽선(contour)을 추출하여 그 외곽선의 형태가 사각형인지 판별을 하여 마커 후보군에 포함시키고, 마커 내부 패턴을 템플릿 매칭(Template Matching)을 통하여 각 마커를 식별한다.

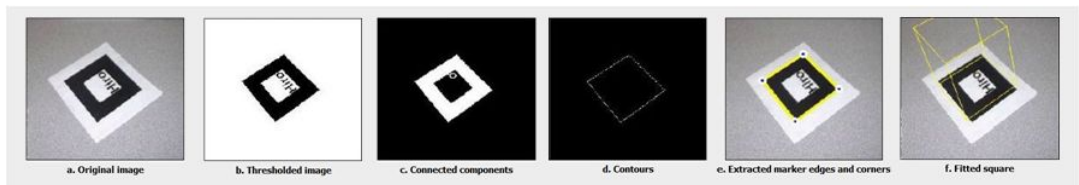


그림 8. ARToolKit의 영상 정합 원리[4]

여기에 사용되는 템플릿 매칭 방법은 4방향을 기준으로 각 방향에 대해 3회 저장하여 총 12개의 이미지를 생성한다. 생성된 이미지를 템플릿 매칭에 사용한다.

그림 9는 마커와 내부 패턴 이미지를 저장하는 방법에 대하여 설명하고 있다.



그림 9. ARToolKit의 마커와 패턴파일[29]

2.2.2 비 마커 기반 추적 기법

앞서 증강현실에서는 가상 객체를 증강시키기 위한 쉽고 간편한 방법으로 마커를 이용하였다. 그러나 마커 사용으로 인해 마커가림 및 조명으로 인한 인식 오류, 구현 시 마커를 소지해야 하는 불편함, 마커 사용으로 인한 사용자가 느끼는 이질감으로 인한 문제가 발생한다.

이러한 문제를 해결하기 위한 시도로 실제 환경에 존재하는 환경정보를 이용하여 비 마커 기반 증강현실 연구가 진행되고 있다[17]. 일반적으로 비 마커 기반 증강현실에서는 실제 환경의 점, 선, 에지, 텍스처(texture)를 이용하여 카메라의 위치를 결정하는 방법을 사용한다[18].

2차원 특징 점 기반 방법에는 대표적으로 David가 제안한 크기 불변 특징 변환(Scale-Invariant Feature Transform, SIFT)이 있다. SIFT는 이름 그대로 영상의 크기 변환에 대하여 불변이다. SIFT는 해당 위치 주변에서 그래디언트(gradient)의 주된 방향을 찾고, 이 방향을 기준 방향으로 하는 지역 그래디언트 히스토그램(local gradient histogram)을 계산하여 특징 벡터로 사용하기 때문에 회전에도 불변이다. 결과적으로 SIFT 특징 값은 작은 어파인 변환(affine transformation)에 대해서도 비교적 잘 동작한다[2]. 그림 10은 SIFT를 이용한 마커리스의 마커추적 영상이다.

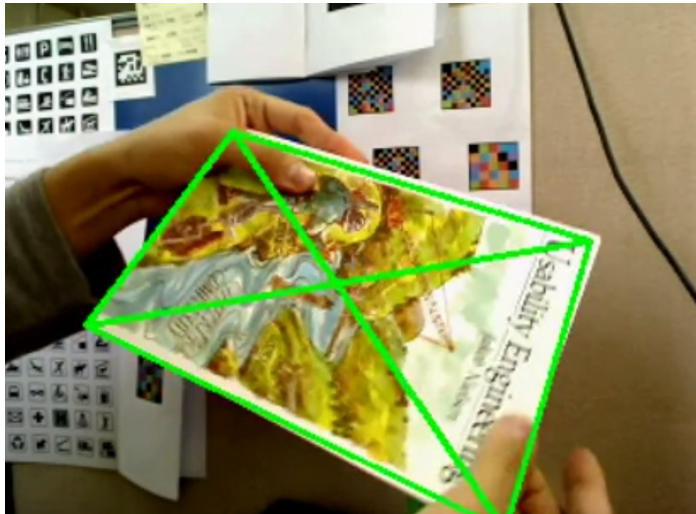


그림 10. SIFT를 이용한 마커리스

이는 객체의 모서리나 꼭지점 등에서 생성되는 특징 점을 벡터로 추출하여, 영상의 크기변화, 회전, 조명변화 등에 의한 변형에 대해 뛰어난 매칭 성능을 가진다. 하지만 SIFT 알고리즘은 영상을 반복적으로 연산하는 과정이 많아서 처리속도가 좋지 않다.

SIFT는 특징 점을 찾는 부분과 선택된 특징 점 디스크립터를 생성하는 두 단계로 구분할 수 있다. 특징 점 추출 단계에서는 스케일 공간상의 후보 특징 점을 추출하고 후보 특징 점의 안정성을 검사하여 안정된 특징 점의 위치를 세부 위치로 보정한다. 디스크립터 단계에서는 선택된 점들을 중심으로 주변 영역의 그래디언트를 통해 방향 성분을 얻게 되고, 얻어진 방향 성분을 중심으로 관심 영역을 재설정하여 디스크립터를 생성하게 된다. SIFT 디스크립터(Descriptor)는 영상 변환, 크기, 회전, 노이즈 영향에도 일정한 특징 정합 성능을 유지한다.

2.3 증강현실의 감각형 상호작용

증강현실은 단순히 현실 환경에 가상 객체를 오버레이하는 것만을 의미하지 않는다. 가상 객체의 표현과 사용자와 가상 객체 서로간의 상호작용함으로 실제 세계와 가상 세계가 연결이 되는 것이다.



그림 11. 증강현실을 위한 도구들

상호작용을 위한 도구로 깊이 카메라(depth camera), RFID, 햅틱 장치 및 기타 기계적 장치 등이 이용하는 방안에 대한 연구들이 이뤄지고 있다[15].

Kato 등 [20]은 Table-Top 증강현실 환경에서 감각형 사용자 인터페이스 (Tangible User Interface, TUI)를 이용한 가상모델을 다루는 방안을 제안하였다. 증강되어진 가상 객체를 다른 마커가 부착된 패들(paddle)을 통해 위치를 이동시키거나, 이벤트를 발생시키는 등의 활동을 지원한다. 이것은 마커간의 거리정보를 통하여 마커가 일정 영역 안에 위치하게 되면 정해진 이벤트가 발생하는 방법으로 현실 환경의 상호작용과 유사하여 별도의 교육이 없이도 사용할 수 있는 장점을 갖고 있다. 그림 12, 마커 간의 위치정보를 이용한 이벤트의 발생에 대한 데모 영상이다.

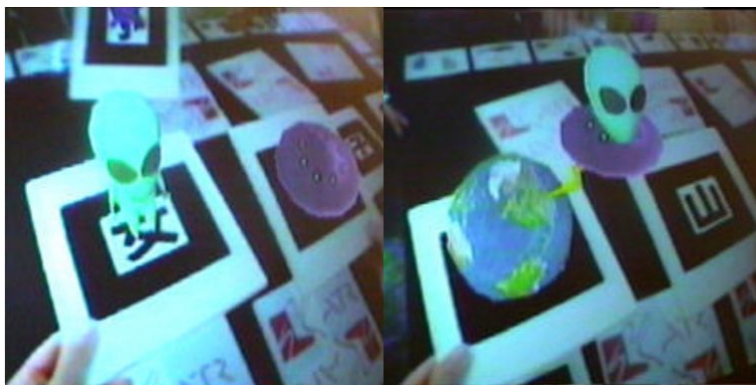


그림 12. 마커 간의 위치정보를 이용한 이벤트의 발생[20]

또한 Park 등 [11,12,23]은 AR과 TUI 접근방식의 장점들을 모두 채택한 감각형 증강현실(Tangible Augmented Reality)을 제안하고 있다. 이는 가상 객체와 동일한 형상의 목업(mock-up)에 가상 객체를 오버레이하여 사용자로 하여금 가상 객체의 무게감과 촉각을 제공하고, 이벤트에 대해 소리를 출력함으로써 청각에 대한 정보를 제공하여 사용자에게 가상 객체에 대한 다양한 정보를 제공하고 있다. 그림 13은 감각형 증강현실을 이용한 휴대용 전자제품 설계 품평 시스템의 실제 영상과 증강된 영상이다.



(a) 펜(Pen)형 포인터를 이용한 상호작용



(b) 링(Ring)형 포인터를 이용한 상호작용

그림 13. 감각형 증강현실을 이용한 휴대용 전자제품 설계 품평[23]

그들이 제시한 상호작용 방안에서 사용자가 제품용 오브젝트와 포인터용 오브젝트를 각 양손에 쥐고, 포인터용 오브젝트 끝 부분을 제품용 오브젝트의 특정부위에 접촉함으로써 입력 이벤트를 발생시킨다. 이러한 이벤트에 반응하여 제품의 상

태를 실시간으로 출력함으로써 제품의 디자인을 체험도록 하였다. 손가락 고정구 형태의 포인터용 오브젝트는 버튼을 접촉할 때 사용자에게 촉감정보를 제공한다 [23]. 이는 데이터 글러브나 햅틱 장치 및 기타 기계적 장치 없이 촉감정보를 제공할 수 있다는 장점이 있지만 포인터용 오브젝트를 인식하기 위해 사용되는 마커의 크기가 상대적으로 크기 때문에 사용자의 몰입을 방해한다. 본 논문에서는 이러한 문제의 해결책으로 마커 소형화를 통해 손가락 터치 방법의 TUI를 지원하는 방안에 대하여 제안한다.

제 3 장 마커의 추적 개선 및 소형화

본 장에서는 마커의 소형화를 위해 PC카메라로부터 획득한 영상에서 마커를 인식하는 방안으로써 다각형 추출과 볼록 다각형의 생성을 통한 사각형 인식 방법에 대하여 논한다. 그리고 마커 내부 패턴의 크기를 확장함으로써 소형화된 마커의 정확한 인식에 대한 방안을 논한다.

3.1 제안된 마커 추적 방안

본 장에서는 ARToolKit의 시스템을 분석하고, 마커를 추적하는 기술에 대한 평가와 개선 사항에 대한 기술하고, 시스템을 구성하는 일련의 과정에 대하여 설명하도록 하겠다.

일반적으로 증강현실 시스템 구현에 많이 사용되어지는 ARToolKit의 시스템 구성도는 그림 14와 같다.

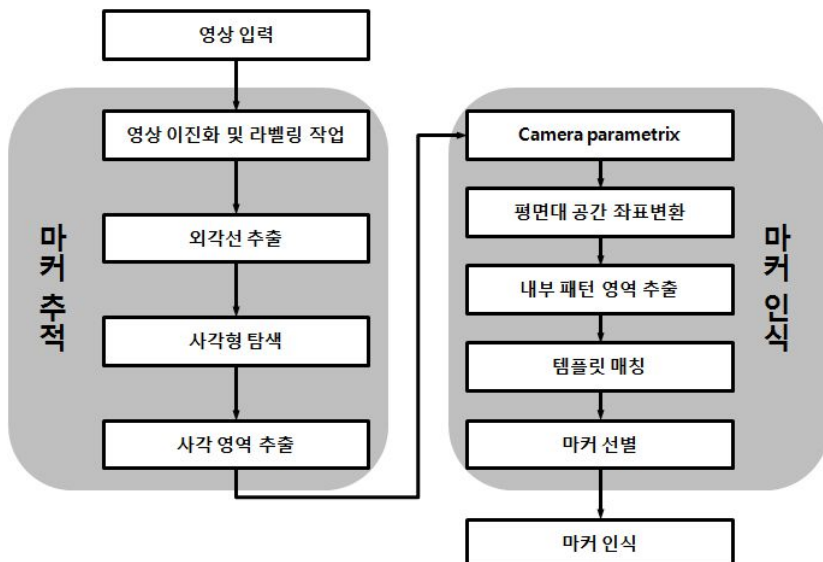


그림 14. ARToolKit의 시스템 구성도

영상 입력 장치를 통해 저장되어진 이미지를 임계치(threshold)와 비교하여 그 수치가 작을 경우 0, 클 경우에 1을 주어 이미지를 이진화(binanzation)한다. 이진화 된 영상의 0인 군집에 대하여 라벨 값을 줌으로써 이미지를 레이블링(labeling)하고, 각 군집의 외곽선(contour) 추출 및 라인을 생성한다. 이렇게 얻어진 형상이 사각형인지를 판별하고, 사각형 내부의 이미지의 패턴을 정규화 하여 이미 저장된 패턴과의 템플릿 매칭을 통해 이미지의 유사성을 판별한다. 이러한 과정을 거친 여러 개의 마커 후보군 중에서 인식을 값이 가장 좋은 값을 실제의 마커로 인식하는 시스템이다. 이 시스템의 장점으로 가상의 객체 이미지가 정확하게 실제 객체와 정렬되도록 실시간으로 빠르고 정확하게 사용자의 시점을 계산하여 주는 것이다. 그럼에도 다음과 같은 운영상의 단점을 가지고 있다. 첫 째. 마커의 영상이 일부 소실되면 마커인식이 불가능하다. 둘째. 마커의 크기를 줄일 때, 내부 패턴의 이미지가 매우 복잡 할 경우 다른 마커로 오인식될 가능성이 매우 높다.

본 논문에서는 위의 문제를 해결하기 위해 마커 추적 방안에 대한 개선과 마커의 소형화로 인한 오인식을 방지하는 방안에 대해서 개선된 프로세스를 제안한다.

개선된 마커 추적 시스템은 마커의 사각형 영역을 추적하는 단계와 인식된 사각형 내부의 패턴을 추출하여 저장된 마커 패턴과의 템플릿 매칭을 하는 두 단계로 나눌 수 있다. 개선된 마커 추적 시스템 프로세스를 기능별로 구분 하자면 그림 15와 같다.

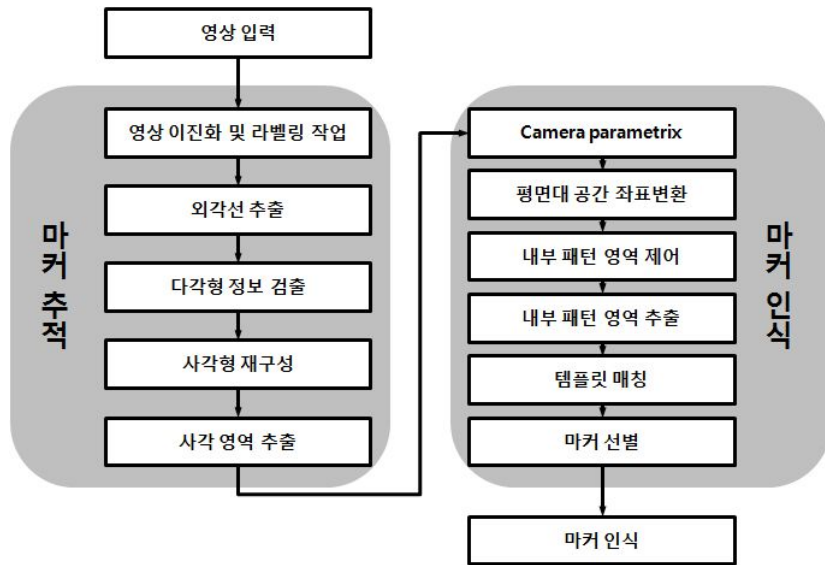


그림 15. 제안된 증강현실 시스템 과정

마커 추적 단계에서는 얻어진 다각형의 외곽선을 이용해 형태를 인식하고 유실된 사각형의 부분의 볼록 다각형을 얻는다. 볼록 다각형의 외곽 선분 4개를 선택하여 사각형을 만들고, 다각형을 포함하는 최소 사각형 영역과 유사한 사각형들의 집합 중에서 가장 작은 사각형을 생성하여 마커의 영역을 설정하는 단계라 할 수 있다. 이는 마커의 일부가 가려지더라도 사각형의 영역을 인식할 수 있는 장점이 있다. 마커 인식 단계에서는 동일한 마커의 내부 패턴의 크기를 달리하여 마커 크기가 작아짐으로 인해 내부 패턴이 뭉개지는 것을 방지한다.

3.2 마커 외곽선 추출

사용자로 하여금 증강현실의 효과적인 몰입감을 주기 위해서는 마커의 가림으로 인한 마커 인식오류를 줄이는 것이 매우 중요하다. 하지만 기존 ARToolKit의 경우 마커의 외곽선을 추출하여 사각형인지를 판별하고, 탈락된 후보군에 대해서는 고려를 하지 않는다. 이는 마커의 유실 및 가림으로 인한 상황을 고려하지 않은 것으로 증강현실을 구현함에 있어서 사용자로 하여금 효과적인 몰입감을 주는 것에 대한 저해 요인이 될 수 있다. 본 논문에서 제안하는 마커 외곽선 추출 방안은 다

음과 같다.

3.2.1 이진화

사람은 눈으로 물체와 배경을 구분해 낼 수 있지만 컴퓨터는 물체와 배경을 구분해 낼 수가 없기 때문에 원본영상을 특정 임계치로 이진화하여, 검은색과 흰색만을 갖도록 한다. 이는 영상 데이터의 값이 이미지의 색상에 따라 다르기 때문에 이미지의 형상을 명확히 하기 위한 과정이다. 임계치는 영상 활용 목적에 따라 적절히 설정하여야 한다. 본 논문에서는 임계치를 100으로 설정하였고, 그림 16은 실제 영상과 이진화 영상이다.

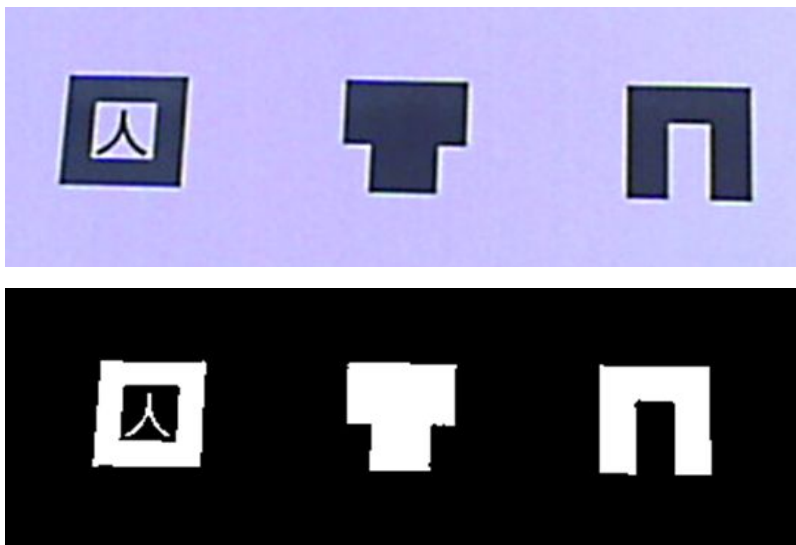


그림 16. 실제와 이진화 이미지

이진화를 통해 영상의 형상이 명확화 되면 레이블링을 통해 각 형상의 군집을 만들 필요성이 있다. 레이블링이란 영상 내에서 서로 떨어져 있는 물체 영역들을 구별하고자 할 때 사용되는 영상 처리 알고리즘으로 영상 내에서 여러 종류의 물체가 있는 경우 물체마다 고유 번호를 붙여 관심 물체만을 출력하고자 할 때 유용하다. 영상에서 형상의 정보를 가져오는 가장 중요한 단계이다. 그림 17은 레이블

링의 원리에 대해 설명하고 있다.

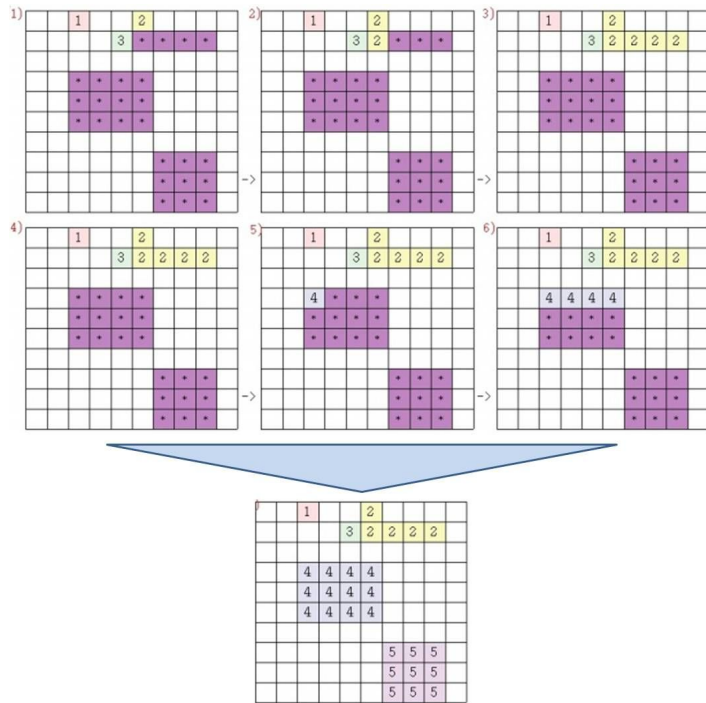


그림 17. 레이블링 원리

3.2.2 외곽선 검출

외곽선(contour)이란 영상 내 곡선을 나타내는 점들의 리스트로 정의된다. 외곽선을 얻기 위해서는 Edge Tracking 또는 Boundary Flowing 알고리즘을 수행한다. ARToolKit의 경우 얻어진 외곽선 정보를 이용하여 그림 18의 방법으로 레이블링 이미지의 형상이 사각형인지 아닌지를 판별한다.

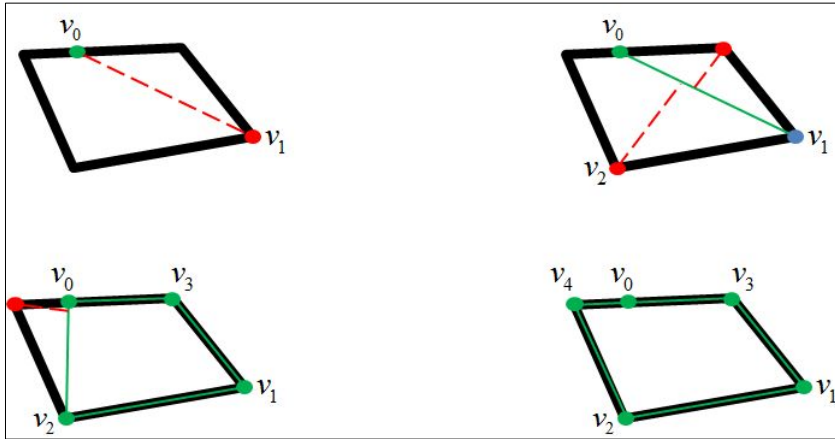


그림 18. ARToolKit의 corner point 추출 방법

외곽선의 한 점(v_0)에서 거리가 가장 먼 점(v_1)을 구하고, 시계 방향으로 외곽선의 구역을 둘로 나눈다. 이후 각 구역에서 두 점을 잇는 직선($\overline{v_0v_1}$)과의 거리가 가장 먼 점(v_2 와 v_3)를 구하는 방법이다. 이 방법은 단순히 일회성을 띄는 것이 아니라 재귀적 알고리즘으로 형상에 대한 모든 꼭지점을 찾는다. 여기에서 얻어진 점의 개수가 4개 또는 5개 일 경우 이 형상을 사각형으로 인식하며, 만약 이 조건에 맞지 않을 경우 마커 후보군 집합에서 탈락된다. 이러한 이유로 본 논문에서 다각형의 외곽선을 얻기 위해 `cvFindContours()` 함수를 이용한다. `cvFindContours()` 함수는 이진 이미지(binary image)상으로부터 외곽선을 검출하며, 그림 19는 함수의 동작 방식을 보여준다.

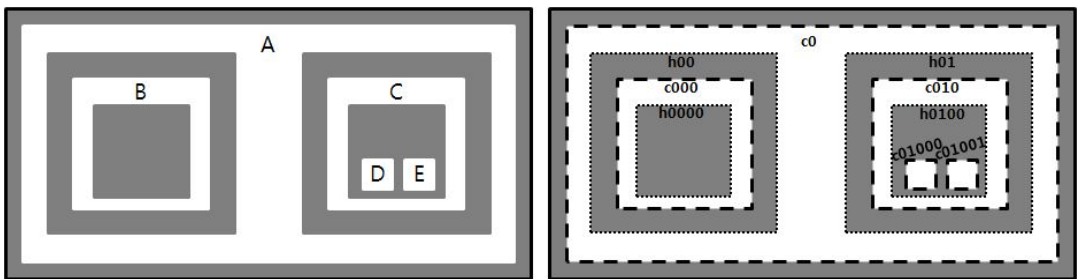


그림 19. 검출된 외부 외곽선(파선)과 내부 외곽선(점선)[2]

상단의 원본 영상의 어두운 배경위에 5개의 한양 색 영역들을 포함하고 있다. 외곽선들은 cX 또는 hX 형태의 레이블이 매겨졌으며, 여기서 c 는 외곽선을, h 는 홀(hole), X 는 구분을 위한 숫자를 타나낸다. 파선은 흰색 영역들의 외부 경계

(exterior boundary)를 나타내며, 점선들은 내부 경계선(interior boundary) 또는 홀들의 외부 경계선을 나타낸다. 얻어진 외곽선의 정보는 storage라는 공간에 저장이 되는데 그 쓰임에 따라 저장되는 방법이 다르다[2]. 그림 20은 저장되어지는 구조를 표현하고 있다.

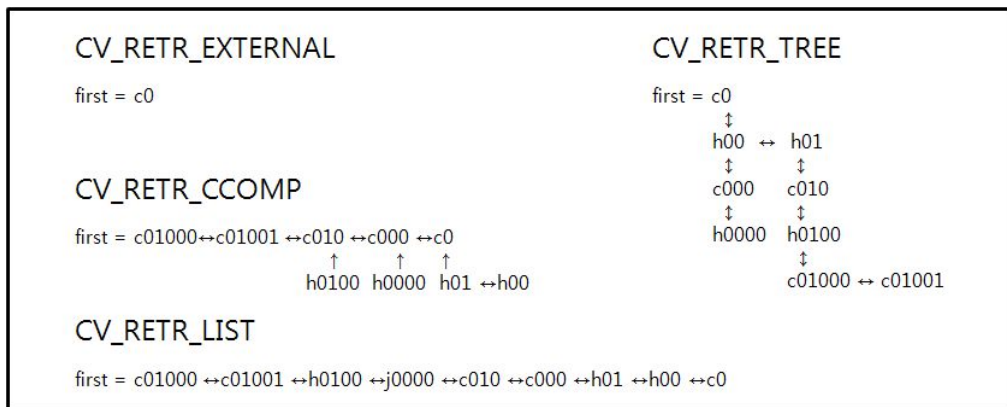


그림 20. cvFindContours() 함수를 통해 발견된 외곽선 저장 방법[2]

가장 바깥쪽에 나타나는 외곽선들만 검출하는 경우 CV_RETR_EXTERNAL, 모든 외곽선을 검색하여 리스트에 넣는 경우 CV_RETR_LIST, 모든 외곽선을 검색하고 이를 두 개의 계층으로 나누어 관리하는 CV_RETR_CCOMP, 모든 외곽선들을 검색하여 외곽선들의 전체 계층 구조를 생성하는 경우 CV_RETR_TREE를 사용한다[2]. 본 논문에서는 영상의 모든 외곽선에 대한 정보를 트리(tree)형식을 이용하여 전체 계층 구조를 사용하고, 그 계층의 레벨을 1까지로 설정하였다[2,8]. 그림 21은 cvFindContours() 함수를 이용하여 얻어진 외곽선을 시각화 한 그림이다.



그림 21. cvFindContours() 함수를 이용한 외곽선 추출

위에서 얻어진 다각형의 외곽선 정보를 cvApproxPoly()함수를 통해 추출된 외곽선 정보를 이용하여 다각형을 근사한다. 그림 22는 cvApproxPoly()함수가

얻어진 외곽선을 이용하여 다각형으로 근사하는 과정이다.

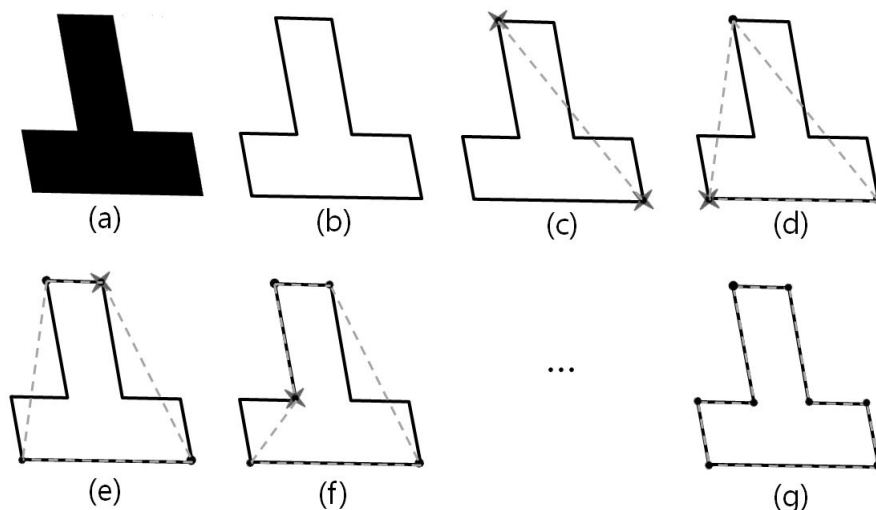


그림 22. cvApproxPoly() 함수의 동작원리

원본 영상(a)에서 얻어진 외곽선(b)의 점들 중 가장 멀리 떨어져있는 두 점을 찾고, (c)과 같이 직선으로 연결한다. 생성된 직선으로부터 가장 멀리 떨어진 점을 찾아 외곽선에 대한 근사화 점으로 추가하고 직선을 생성(d)한다. 계속 위 작업을 반복하여 더 이상 근사화 점이 존재하지 않을 때까지 진행(g)한다. 이때 다각형의 꼭지점 개수가 4~12개 인 다각형에 대하여 고려한다.

3.2.3 사각형의 외곽선 획득

외곽선 정보로 얻어진 다각형은 사각형을 포함한다. 여기에서 검출된 사각형의 경우 마커의 가림이 존재하니 않는 정보로 바로 다음 단계로 넘어가지만 그 이상의 다각형(5~12각형)의 경우 그림 23과 같은 과정을 통하여 사각형을 추정한다.

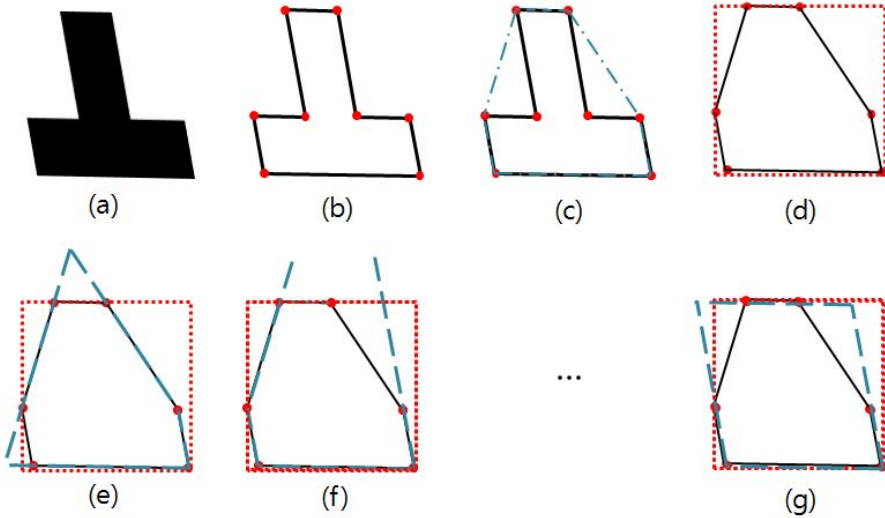


그림 23. 제안된 사각형의 추정 방안

외각선 정보로 얻어진 다각형의 형상이 오목 다각형(concave polygon) 일 경우도 존재하므로, 본 논문에서는 모든 다각형에 대하여 기하학적 제어를 위해 볼록 다각형(convex polygon)로 간략화를 해야 한다. 간략화의 방안은 두 꼭지점을 잇는 선분이 분할하는 초평면(hyperplane) 중 하나의 면(plane)에 위치한다면 그 선분을 최외곽 선분이라 정한다. 그림 24는 최외곽 선분의 판별 방법을 보이고 있다.

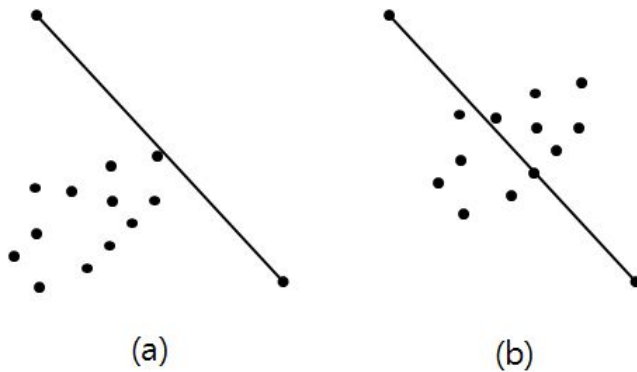


그림 24. 최외각선의 판별: (a) 최외곽 선분(o), (b) 최외곽 선분(x)

최외곽 선분들이 결정되면 cvConvexHull2()함수를 이용하여 볼록 다각형을 얻

어 낸다. cvConvexHull2()함수는 외곽선으로부터 볼록 다각형(convex polygon)을 계산하는 함수이다. 그림 25는 볼록 다각형과 오목 다각형에 대한 그림이다.

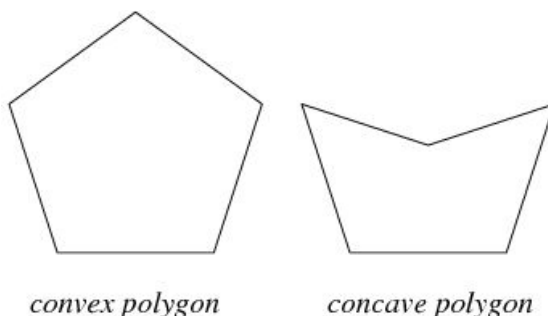


그림 25. 볼록 다각형과 오목 다각형

얻어진 볼록 다각형의 선분 4개의 조합 중에서 다음의 사각형의 기하학적 특성에 일치하는 최소 영역의 사각형을 찾는다. 표 2의 5가지의 조건을 만족하는 사각형을 마커 후보군에 등록 한다.

표 2. 사각형의 기하학적 특성

사각형의 기하학적 특성
<ol style="list-style-type: none"> 1. 사각형의 꼭지점이 붙어 있는가? 2. 사각형이 닫힌 사각형인가? 3. 사각형이 꼬인 사각형인가? 4. 사각형의 생성 방향이 반시계방향으로 되어 있는가? 5. 최소 사각영역과 면적이 유사한가?

첫 째, 사각형의 꼭지점이 붙어 있는가? 이는 하나의 선분이 이웃하는 선분과 평행한가를 판별한다. 두 선분이 평행하다는 것은 교점이 존재하지 않는 것을 말하고 있고, 이는 사각형의 특성에 맞지 않는다. 둘째, 사각형이 닫힌 사각형인가? 하나의 선분이 이웃하는 선분과 평행한가를 판별한다. 두 선분이 평행하다는 것은 교점이 존재하지 않는 것을 말하고 있다. 셋 째, 사각형이 꼬인 사각형인가? 이는 선분의 개수를 만족하는 다각형의 한 변이 이웃하는 변 이외에도 다른 변과의 교점을 만드는 경우이다. 이러한 경우 사각형이라 하기 어렵다. 넷 째, 사각형의 생

성 방향이 반시계방향으로 되어 있는가? 이는 선분의 저장순서로 인해 마커 좌표계의 z 축이 음(-)의 방향으로 증가하는 것을 방지한다. 그림 26은 마커의 외곽선의 방향에 대한 z 축의 방향을 보여주고 있다.

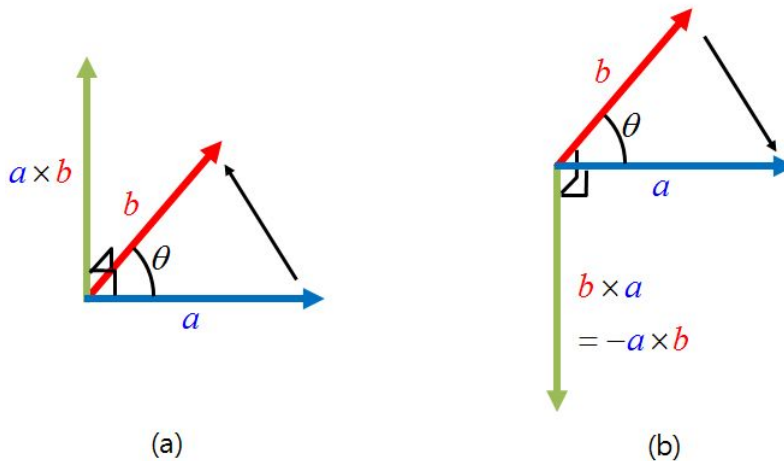


그림 26. 마커의 외곽선의 방향으로 인한 z 축: (a) 반시계 방향, (b) 시계 방향

마지막으로 다섯 째, 최소 사각영역과 면적이 유사한가? 마지막으로 외곽선을 포함하는 최소 사각형영역을 cvBox2D() 함수를 이용하여 구한다. 얻어진 외곽선을 포함하는 최소 사각형영역의 넓이를 최종적으로 얻고자 하는 마커의 사각형 넓이의 기준으로 일정 범위를 정한다. 이는 그림 23의 (f)와 같은 경우의 사각형 후보를 탈락시키는 역할을 한다. 최종적으로 얻어진 사각형 후보 집합 중 넓이가 최소인 값을 마커의 사각형영역으로 채택한다. 그림 27은 최종적으로 얻어진 마커 추적 결과 영상이다.

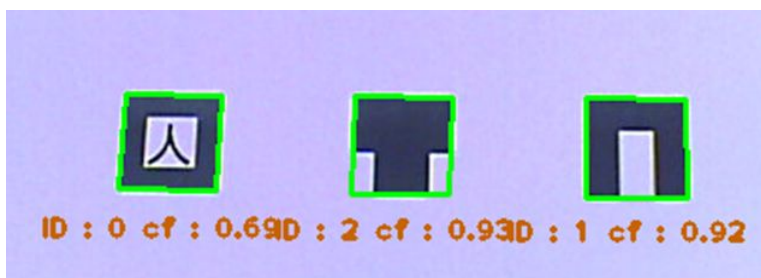


그림 27. 마커 추적의 결과 영상

3.3 마커 인식

본 논문의 목표는 마커의 크기를 최소화 하는 것을 목표로 하고 있다. 이에 마커 내부 패턴의 영상 범위를 확장함으로 동일한 마커보다 패턴의 인식률을 높이고, 소형화된 마커의 내부 패턴이 뭉개지는 것을 방지하고자 한다.

3.3.1 패턴 영역 추출 및 저장

혼합현실 환경에서는 3차원 공간에 위치한 카메라와 마커간의 3차원 정보를 이용하여 가상공간과 상호작용을 한다. 카메라 보정은 2차원 평면의 점이 실제 3차원의 어떤 점과 대응되는가를 알아내는 과정에서 사용되는 내부인자(Intrinsic Parameters)와 외부 인자(Extern Parameters)를 찾는 과정이다. 그림 28은 3차원의 공간 좌표계에서 스크린 좌표계로 변환되는 일련의 과정을 보이고 있다.

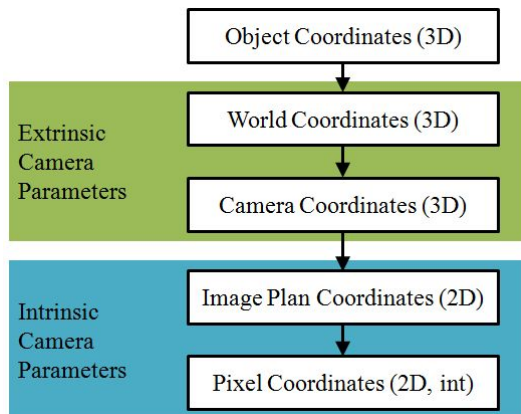


그림 28. 카메라 보정 과정

보정 방법에는 형태를 이미 알고 있는 패턴을 놓고 그것을 관측함으로써 보정을 수행하는 방법과 형태를 모르는 세계를 관측함으로써 보정하는 방법이 있다 [21]. 본 논문에서는 ARToolKit에서 제공하는 전자의 방법을 사용하여 카메라의 내부 인자와 외부 인자를 획득한다. 마커 추적으로 얻어진 사각형의 꼭지점 정보를

내부 인자를 통해 마커의 전체 패턴을 정규화(Normalization)한다. 그림 29와 그림 30은 마커의 패턴 정규화와 저장된 패턴 정보이다.

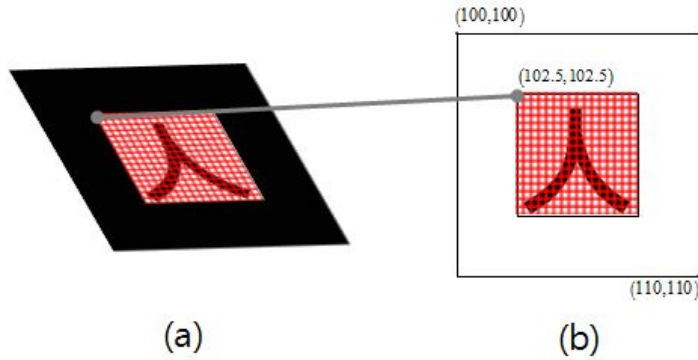


그림 29. 마커의 패턴 정규화: (a) 스크린 상의 마커 영상, (b) 정규화된 영상

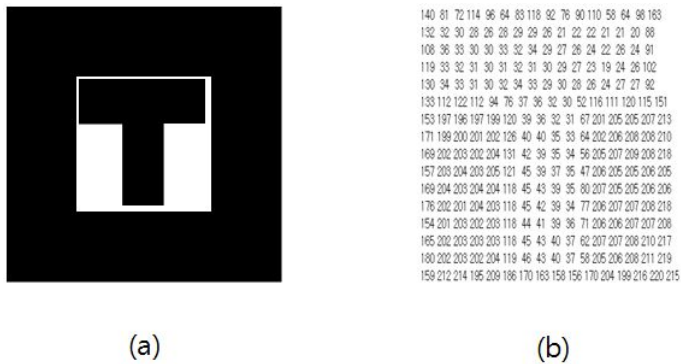


그림 30. 저장된 패턴 정보: (a) 원 영상, (b) 저장된 패턴 정보

카메라 파라메트릭스(parametric)의 변환을 통해 틀어진 마커의 시작점을 $(x, y) = (100, 100)$ 에서부터 끝점 $(x', y') = (110, 110)$ 까지 좌표로 변환하여 정규화 한다. 이후 내부 영역의 패턴을 16×16 로 분할하고 분할된 영역의 이미지의 평균값을 그 수치로 저장한다.

3.3.2 마커 내부 패턴 영역 제어

본 논문에서는 마커의 사각형 영역 전체에 대하여 정규화 된 이미지의 내부 패턴 영역을 제어함으로써 영역을 확장한다. 그림 31은 동일한 크기의 마커 내부 영역을 제어함으로 영역이 커짐을 보이고 있다.

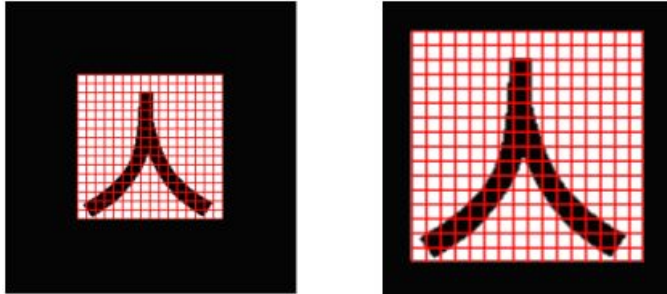


그림 31. 마커 내부의 영역의 확장

마커의 대한 사각형 영역의 정규화를 통하여 외부 패턴을 제어할 수 있다. 하지만 정규화 이전의 틀어진 마커에 대하여 정확하게 제어할 수 없기 때문에 본 논문에서는 마커를 32×32 분할하여 설계한다.

3.4 제안된 마커 추적 기법의 성능 분석

이론적으로 마커의 테두리는 화면상에서 인식할 수 있는 최소한의 픽셀 개수의 너비를 갖고 있으면 된다. Charles B 등 [22]의 논문에서는 이와 관련하여 “전체 마커에 대한 마커 테두리의 비율이 최소 13%만 충족된다면 마커를 추적하는데 아무런 지장이 없다.”라고 말하고 있다. 하지만 이는 이론을 바탕으로 나타난 수치로 실제로 마커의 사용 환경에 따라 다르다.

본 논문에서는 이 개념에서 시작하여 마커 테두리의 너비와 마커의 크기를 단계적으로 줄여 실험함으로써 본 시스템에서 신뢰할 수 있는 최소한의 마커 크기와 그 크기에 대한 최선의 마커 테두리의 너비에 대해 결정한다.

또한, 제안된 다각형 마커인식을 통해 마커 가림 상황에서의 기존 증강현실 시

스텝과 개선된 증강현실 시스템을 각각 구현하여 다각형 마커 추적 방법에 대한 성능 실험을 수행하여 제안하는 마커 추적 방안의 능력을 비교하고 이를 토대로 손가락 터치를 지원하는 마커 크기를 결정한다.

3.4.1 마커 가림에 대한 처리 능력 비교

기존의 마커 추적은 영상 안의 사각형을 갖는 마커에 한하여 추적하기 때문에 마커의 형상 정보 일부가 왜곡 및 유실이 될 경우 사각형을 식별하는 부분에서 그 형상을 탈락시켜 결과적으로 마커를 인식하지 못하는 문제점이 있다. 이러한 문제점을 해결하는 방안에 대하여 앞서 제안한 다각형을 이용한 마커 외곽선 추출 방안에서 마커 가림 현상이 발생하는 상황에서도 마커가 인식되는 가에 대한 능력 비교를 한다. 이에 대한 실험으로 실험자가 인위적으로 마커를 가렸을 경우 마커 추적적으로 마커를 인식할 수 있는가에 대한 실험이다. 그림 32에서 보는 것과 같이 카메라와 마커를 고정시키고 실험자는 손가락 및 기타 물체를 이용하여 마커의 일부분을 가리는 영상을 제공한다.



그림 32. 마커 가림에 대한 실험 환경

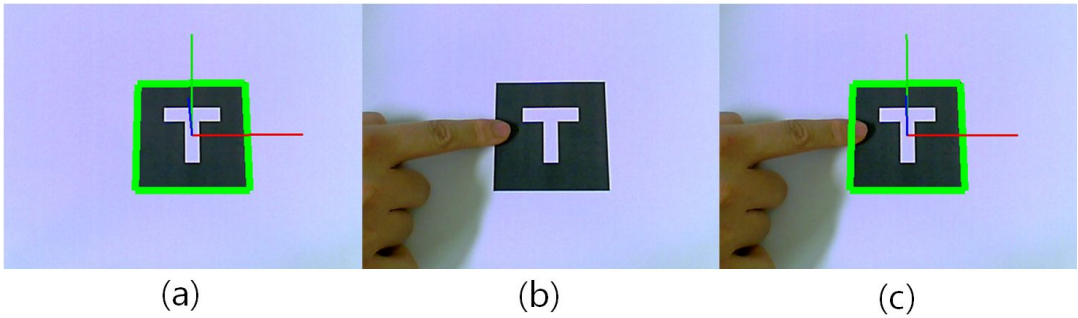


그림 33. 마커 가림에 의한 인식오류 해결: ART(a, b), 제안된 마커 추적(c)

그림 33은 두 시스템에 대한 실험 결과 영상이다. 실험 결과 기존 시스템의 경우 마커 가림으로 인해 인식이 되지 않지만, 제안된 시스템의 경우 마커 가림 현상으로 인해 인식률이 감소하였으나 인식이 가능한 것으로 확인 되었다. 인식률이 감소한 결과는 내부 패턴 이미지의 유실로 인해 템플릿 매칭의 과정에서 인식률이 감소한 것으로 사료된다.

3.4.2 크기에 따른 인식률 비교

마커 외부 영역은 마커 추적을 할 때 마커의 위치를 찾기 위한 도구로 사용되어진다. 즉 그레이 수준의 레이블링 이미지에서 외곽선을 얻기 위한 것이다. 이는 외곽선을 찾을 수 있는 최소한의 외부 영역만 있다면 마커의 크기를 줄일 수 있다고 사료된다. 본 논문에서는 이 개념에서 시작하여 마커 외부 영역의 너비를 단계적으로 줄여 실험함으로써 본 시스템의 최적 너비를 결정한다. 본 실험의 내용은 표 3로 정리 할 수 있고, 실험환경은 그림 34와 같다.

표 3. 크기에 따른 인식을 비교를 위한 실험 계획

마커의 내부 패턴 크기 변화에 따른 인식을 실험

- ◆ 목표 : 마커의 크기변화와 내부 패턴 크기 변화에 따른 인식을 평가
- ◆ 실험환경
 1. 정해진 장소에서 주 전등을 포함한 2개의 조명을 켜 둔 상태
 2. 마커와 카메라의 위치를 고정
- ◆ 분석내용
 1. 각 마커 크기에 따른 인식을 평가
 2. 동일한 마커 크기에 내부 패턴 크기 변화에 따른 인식을 평가



그림 34. 내부 패턴 크기에 따른 인식을 실험 환경

카메라와 마커의 위치를 고정하고 마커의 크기(25mm, 20mm, 15mm, 10mm)를 일정하게 축소시켜 마커의 위치를 조정하였다. 실험에 사용한 마커는 일반적인 마커를 표현하기 위해 내부 패턴의 복잡도의 정도가 높고, 중간, 낮은 마커 총 10개를 선정하였고, 실험의 오차를 줄이기 위해 반복횟수를 10회 하여 결과는 내었다. 각 크기의 패턴 조건에 실험 데이터의 개수가 총 100개가 된다. 그림 35는 실험에 사용된 10가지 마커의 예시이다.

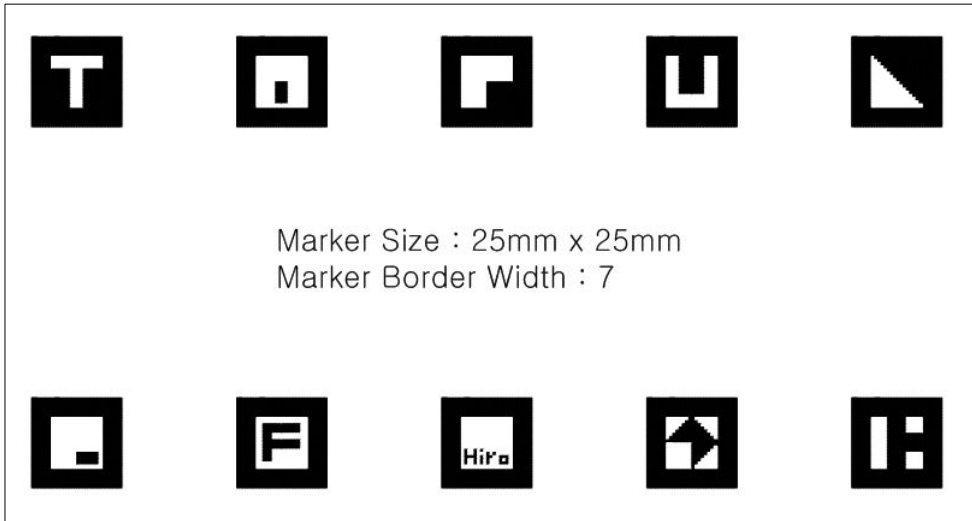


그림 35. 실험에 사용된 마커

표 4은 마커 크기가 $25 \times 25 \text{ mm}^2$ 인 환경에 대해 외곽선의 너비 변화에 대한 얻어진 인식률에 대한 반복횟수 10인 실험 자료이다.

표 4. 크기에 따른 인식을 비교 실험결과 데이터의 예시

	Width	ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	average	Total
ARTooKit	ARTooKit	1	97	98	95	98	98	98	95	98	97	95	96.9	94.94
		2	90	94	94	94	96	93	95	94	94	91	93.5	
		3	96	97	96	95	97	96	96	95	96	92	95.6	
		4	98	97	96	98	98	98	97	98	97	97	97.4	
		5	98	98	98	98	98	99	98	98	98	98	98.1	
		6	89	97	88	94	96	93	80	93	93	97	92.0	
		7	95	97	94	94	97	96	93	96	95	95	95.2	
		8	93	91	89	88	91	92	85	66	88	86	86.9	
		9	97	92	98	97	96	97	95	97	98	96	96.3	
		10	99	98	98	97	98	95	98	98	98	96	97.5	
New	8	1	97	97	95	98	98	98	95	98	96	98	97.0	95.77
		2	95	96	94	94	96	93	96	94	95	95	94.8	
		3	97	96	96	95	97	96	96	95	95	97	96.0	
		4	98	98	96	98	98	98	97	98	98	98	97.7	
		5	99	99	98	99	98	99	98	99	98	99	98.6	
		6	96	97	93	94	96	93	80	93	95	93	93.0	
		7	97	93	97	96	97	96	96	96	97	97	96.2	
		8	92	92	89	88	91	92	91	80	88	92	89.5	
		9	98	98	98	97	96	97	97	98	94	97	97.0	
		10	98	99	98	97	98	98	98	98	96	99	97.9	
	7	1	96	97	98	98	97	97	97	97	97	98	97.2	96.23
		2	97	97	91	95	97	95	91	95	97	95	95.0	
		3	96	98	98	98	97	96	97	97	98	97	97.2	
		4	98	99	98	98	99	97	95	98	99	99	98.0	
		5	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99.0	
		6	98	92	93	90	96	94	93	90	90	95	93.1	
		7	98	98	96	96	97	91	96	97	97	97	96.3	
		8	92	78	90	90	96	93	96	83	95	93	90.6	
		9	98	97	98	96	98	98	97	98	98	98	97.6	
		10	99	98	98	98	99	98	97	98	99	99	98.3	
6	1	98	95	98	99	98	97	97	98	96	96	97.2	96.05	
	2	96	96	95	95	96	94	90	96	96	96	95.0		
	3	98	97	98	98	98	97	97	97	97	98	97.5		
	4	99	99	98	98	99	98	99	98	99	99	98.6		
	5	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99.0		
	6	97	95	94	94	96	95	88	94	94	95	94.2		
	7	97	94	96	93	96	95	96	95	96	97	95.5		
	8	92	87	90	88	86	86	90	87	83	92	88.1		
	9	98	96	98	97	97	97	98	98	97	98	97.4		
	10	98	97	99	98	99	98	97	98	98	98	98.0		
5	1	97	98	98	98	98	98	98	97	98	98	97.8	97.14	
	2	97	97	96	95	98	97	96	97	97	97	96.7		
	3	96	98	97	97	98	98	98	98	98	98	97.6		
	4	98	97	99	99	99	97	98	98	99	99	98.3		
	5	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99.0		
	6	94	97	96	96	98	95	96	96	95	95	95.8		
	7	96	96	97	96	97	96	97	96	98	98	96.7		
	8	92	94	93	89	95	94	91	92	94	94	92.8		
	9	98	97	98	98	98	96	98	98	98	98	97.7		
	10	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99.0		
4	1	98	98	97	98	96	97	97	98	97	98	97.4	97.13	
	2	97	97	95	97	94	94	97	95	92	97	95.5		
	3	98	99	98	99	98	98	98	97	98	98	98.1		
	4	98	99	98	98	98	98	98	98	98	99	98.2		
	5	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99.0		
	6	97	97	96	95	93	97	97	96	97	95	96.0		
	7	97	98	97	97	97	97	97	97	97	98	97.2		
	8	94	96	93	93	91	94	94	95	94	94	93.8		
	9	98	99	98	98	98	98	98	98	98	98	98.1		
	10	98	99	98	97	97	98	98	98	98	99	98.0		
3	1	97	99	99	98	97	98	98	99	96	92	97.3	97.41	
	2	95	97	96	95	94	97	97	94	96	93	95.4		
	3	97	98	99	99	98	99	99	98	99	98	98.4		
	4	99	98	99	99	98	98	98	98	99	99	98.5		
	5	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99.0		
	6	97	97	97	97	96	95	96	94	98	98	96.5		
	7	97	97	97	97	97	97	98	98	98	98	97.4		
	8	94	93	94	95	96	95	92	96	93	96	94.4		
	9	98	98	98	98	98	98	99	98	99	98	98.2		
	10	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99.0		
2	1	98	98	98	99	98	98	98	97	98	98	98.0	97.68	
	2	97	98	97	95	97	97	97	97	98	97	97.0		
	3	98	98	99	98	98	98	98	98	98	98	98.1		
	4	99	99	98	98	98	98	98	98	98	99	98.3		
	5	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99.0		
	6	96	98	96	97	96	96	96	97	97	97	96.6		
	7	98	98	97	98	98	97	98	97	98	98	97.7		
	8	94	96	94	95	95	95	94	94	95	96	94.8		
	9	97	99	99	99	99	99	99	98	99	99	98.7		
	10	98	99	99	98	99	98	99	98	99	99	98.6		

이 실험은 마커의 크기 4, 외곽선의 너비 8, 마커의 개수 10, 실험반복 횟수 10번을 실험하여 총 3200개의 실험 결과를 얻었다. 얻어진 실험 데이터에 대하여 그림 36과 그림 37은 실험 결과를 정리한 도표이다.

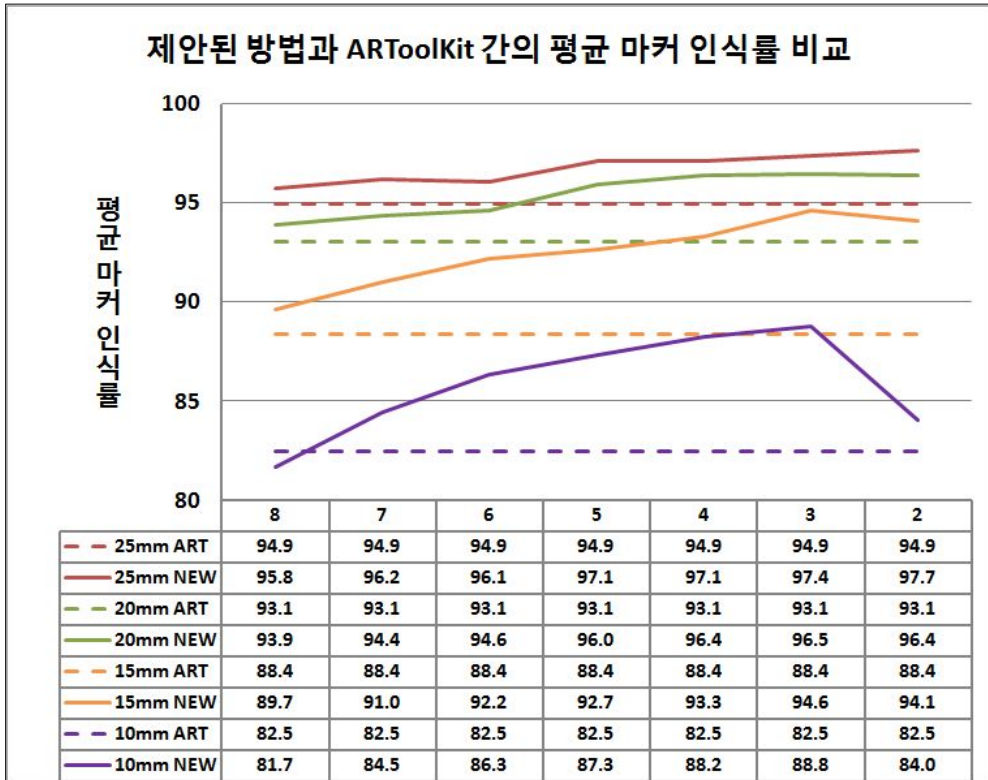


그림 36. 크기에 따른 인식을 비교 실험의 결과

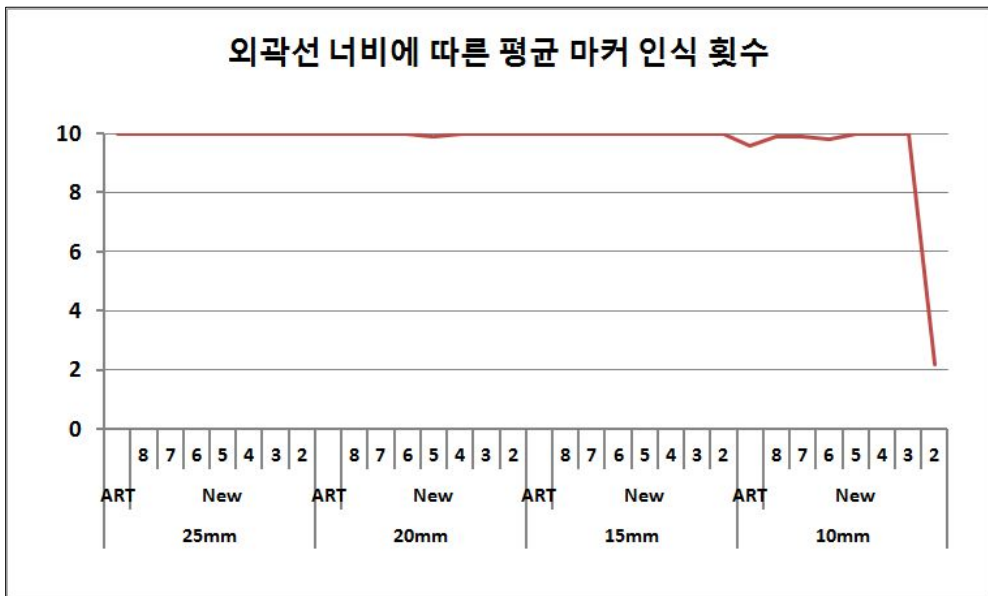


그림 37. 인식된 마커의 개수

위 실험 결과를 보면 마커의 크기가 작아질 경우 마커의 인식률이 줄어드는 것을 확인 할 수 있고, 외곽선의 너비가 좁아지면 상대적으로 내부의 패턴의 크기가 커지게 되어 실제 마커 크기보다 더 큰 내부 패턴으로 인해 인식률이 높아지는 것을 실험을 통해 알 수 있었다. 하지만 외곽선의 너비가 레이블링 된 영상에서 인식이 되지 않는 10mm 마커 크기의 외곽선이 2인 경우는 인식 자체가 어려워 급격히 인식률이 감소하는 현상을 보이고 있다.

실험을 종합해본 결과 “손가락 터치에 사용 가능한 크기 10mm 에 대하여 외곽선의 너비가 3~4인 결과 값이 안정적으로 인식이 가능하다.”라는 결론을 내릴 수 있었다. 이에 본 논문에서 제안하는 손가락 터치를 지원하는 마커의 규격은 마커의 크기가 $10 \times 10\text{mm}^2$ 이고, 외곽선의 너비가 3~4인 마커를 손가락에 부착하여 손가락 터치를 이용한 상호작용 방안에 대하여 제시한다.

제 4 장 손가락 터치 기반 증강현실 상호작용

본 장에서는 마커의 소형화를 통해 손가락 두께와 비슷한 마커를 손가락에 부착하여 이벤트를 작동할 수 있는 이벤트 포인트를 손가락 끝에 위치시켜 사용자가 별도의 오브젝트를 착용하지 않아도 증강현실에서 상호작용이 가능하게 하는 방안 에 대하여 논하도록 하였다.

4.1 제안된 상호작용 방안

앞서 2장의 증강현실의 상호작용에서 저가의 비용으로 상호작용이 가능한 손가락 고정구 형태의 포인터 오브젝트에 대하여 알아보았다. 하지만 상호작용을 위해 손가락 고정구를 제작하는 점과 고정구를 인식하기 위해 사용되는 마커의 크기가 상대적으로 크다는 문제점 때문에 사용자의 몰입을 방해한다.

앞 절에서 마커 가림 현상에 대한 해결책과 마커의 크기를 줄여도 인식을 줄어들지 않는 방안 에 대하여 제안하고 실험을 통하여 증명한 결과를 이용하여 손가락에 부착이 가능한 마커를 통한 상호작용에 방안 에 대하여 제시한다.

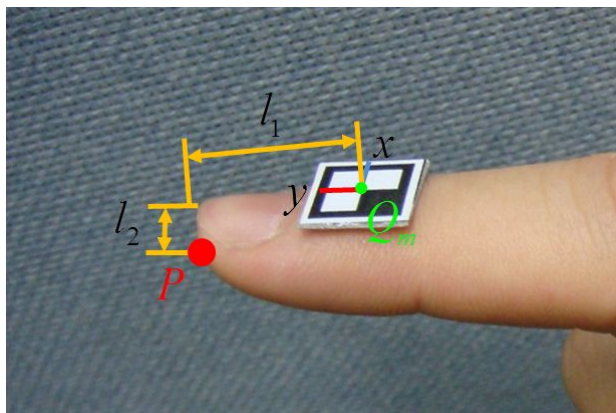


그림 38. 마커와 이벤트 포인트의 위치 관계도

그림 38과 같이 손가락 첫째 마디에 소형화된 마커를 부착하고, 이벤트 포인트를 손가락 끝에 위치하도록 거리를 조절하여 사용자가 제품용 오브젝트의 특정 부위와의 접촉을 할 경우 이벤트를 발생 시키는 방안이다. 이를 구현하기 위해서 마커의 부착 위치에서 이벤트 포인트 위치까지의 거리를 결정해야 한다. 마커 중심점에서 손가락 끝점까지의 거리를 l_1 로 정의하고, 손가락 첫 마디 두께에 해당하는 길이를 l_2 라 할 때, 손가락에 부착된 마커(O_m)와 이벤트 포인트(P)의 위치에 대한 관계식을 (4.1)과 같이 작성할 수 있다.

$$P = O_m + l_1 Y - l_2 Z \quad (4.1)$$

관계식 (4.1)에 입각하여 l_1 와 l_2 의 거리를 측정하여 이벤트 포인트(P)의 위치를 정의한다. 구해진 이벤트 포인트는 그림 39와 같은 좌표변환을 통하여 다른 마커와의 거리 정보를 이용하여 상호작용한다.

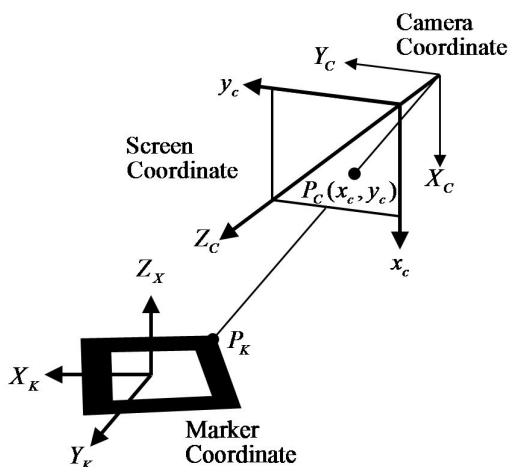


그림 39. 카메라와 AR 마커 간의 좌표변환[23]

그림 39에서와 같이 정의된 지역 좌표 $OXYZ_k$ 상의 점 P_k 에 대한 카메라 좌표계 $OXYZ_c$ 상의 점 P_c 는 $P_c = R_c^k P_k + d_c^k$ 로 표현된다. 여기서, R_c^k 과 d_c^k 는 좌표계 $OXYZ_k$ 로부터 좌표계 $OXYZ_c$ 로의 회전 변환과 이동변환을 나타내는 행렬이다. 따라서, 좌표계 $OXYZ_1$ 상의 점 p_1 과 좌표계 $OXYZ_2$ 상의 점 p_2 사이의 거리 $d(p_1, p_2)$

는 $d(p_1, p_2) = |R_c^1 p_1 + d_c^1 - R_c^2 p_2 - d_c^2|$ 과 같이 계산된다. 따라서, 포인터 오브젝트의 마커 좌표계에 정의된 이벤트 포인터(P)와 제품용 오브젝트의 마커 좌표계에 정의된 버튼 또는 스위치에 해당하는 점 사이의 거리를 구한 다음, 두 점 간의 거리가 임계거리 d 이하인 상태를 임계시간 t 이상을 유지할 때, 해당 버튼 또는 스위치가 선택되었다는 이벤트를 생성하게 된다[11,23].

4.2 제안된 상호작용 방안의 성능 분석

본 논문에서 제시하는 손가락 터치 기반 상호작용 방안이 증강현실에서 상호작용 도구로써 가능성이 있는지 검증하기 위하여 학생들을 대상으로 실험을 통하여 이를 입증하고자 하였다. 또한 상호작용의 활용 검증에 있어서 기준을 Park 등 [11,23]이 제안한 손가락 고정구 형태의 포인터용 오브젝트의 정확성 평가 실험방법과 동일하게 하여 기존의 방법과의 비교 및 분석한다.

본 실험의 실험 방법은 AR 마커 근처에 숫자 (1~5)가 적힌 5×5 격자들이 주어졌을 때 피 실험자에게 4개의 난수(1~25)들로 구성된 숫자 열을 제시하고, 피 실험자로 하여금 포인터 오브젝트를 이용하여 주어진 숫자 열에 해당하는 격자들을 선택하도록 하였다. 각 격자는 버튼 역할을 하는 것으로 간주하여 이 작업을 버튼 선택 작업이라 한다[23]. 실험 계획은 표 5로 정리 할 수 있고, 그림 40은 감각형 상호작용의 정확성을 평가하기 위한 실험 환경이다.

표 5. 손가락 터치 기반 상호작용의 실험 계획

상호작용 도구의 정확성 실험
<ul style="list-style-type: none"> ◆ 목표 : 상호작용 도구의 버튼클릭을 통한 정확도 검사 ◆ 실험환경 <ol style="list-style-type: none"> 1. 정해진 장소에서 주 전등을 포함한 2개의 조명을 켜 상태 2. 마커와 카메라의 위치를 고정 3. 마커의 이벤트 점을 감각형 오브젝트를 착용하고 정확히 측정 4. 피 실험자에게 충분한 연습 시간(5~10분)을 제공한다. ◆ 분석내용 <ol style="list-style-type: none"> 1. 각 버튼 크기에 대하여 총 2회 실험에 대한 평균치 2. 버튼 클릭 실험에서 각 Task를 완료하는 시간 비교 3. 버튼 클릭 실험에서 각 Task를 완료까지의 에러 발생 빈도 비교

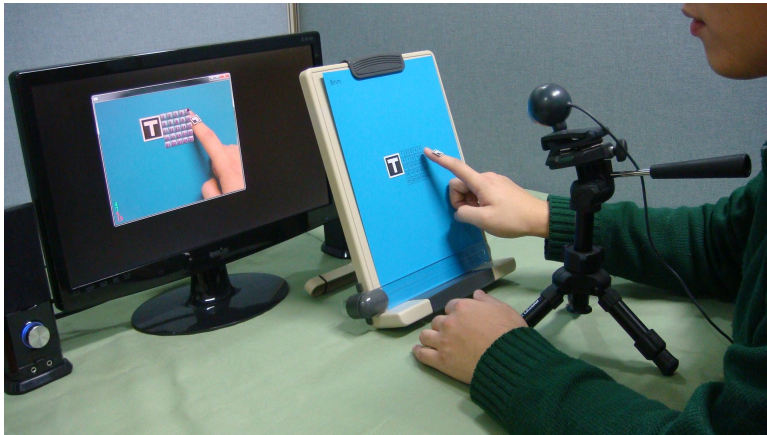


그림 40. 상호작용 도구의 정확성 실험 환경

그림 41과 그림 42는 크기별 버튼을 선택한 평균 소요시간과 버튼선택작업 당 평균 잘못 선택한 개수를 각각 나타낸다.

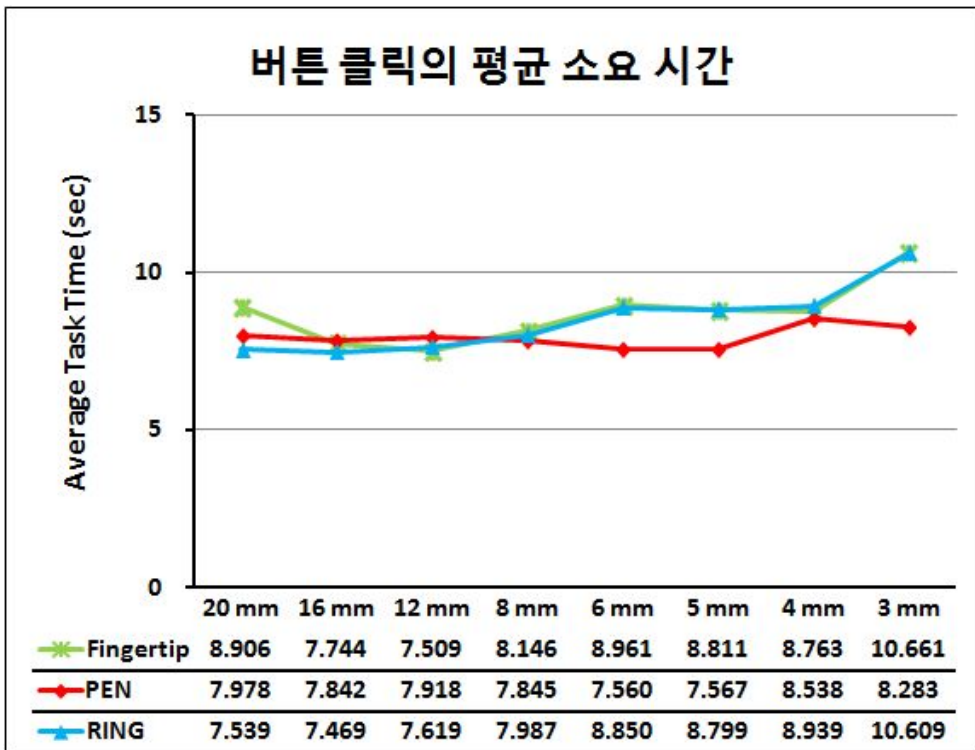


그림 41. 버튼 클릭의 평균 소요 시간

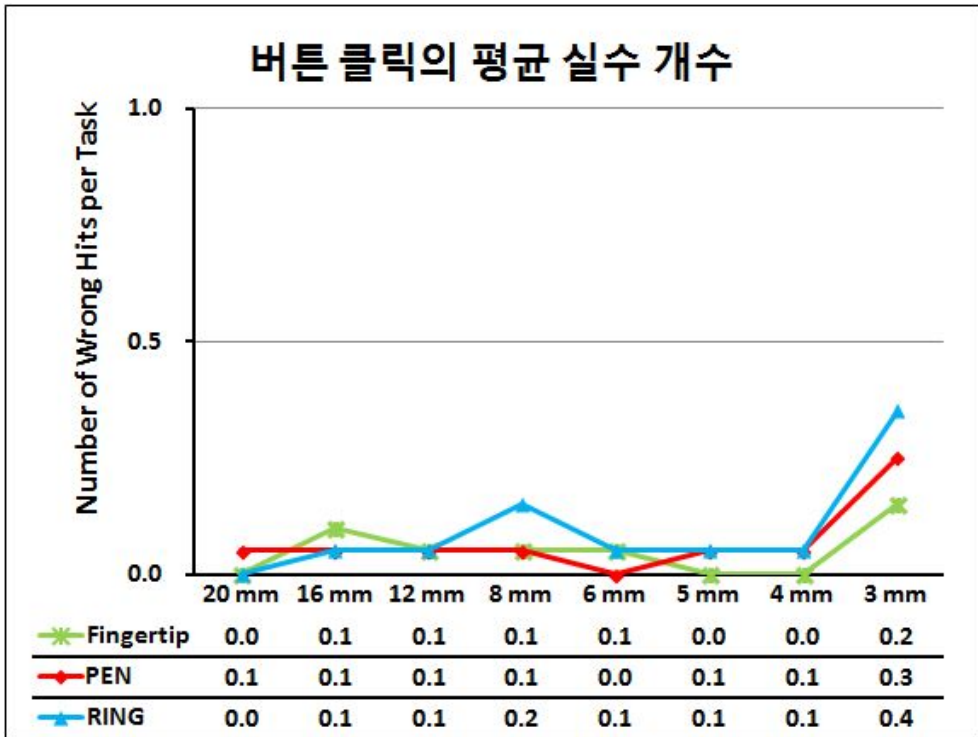


그림 42. 버튼 클릭의 평균 실수 개수

3가지 대안 모두 작업을 완료하는 시간이 유사하게 나타났다. 버튼의 크기가 작아짐에 따라 변동 폭의 차이가 있는 것으로 나타났다. 이는 펜(Pen)의 경우 이벤트 점의 위치가 고정 있기 때문에 버튼의 크기가 작아져도 정확히 버튼의 중심점을 누를 수 있었지만, 링(ring)과 손가락 터치(fingertip)의 경우 측정 상의 오차로 버튼 중심에 정확히 이벤트 점을 위치시키기 어렵기 때문으로 사료된다. 정확성 측면에서 손가락 터치의 경우 이벤트 포인트와 마커의 거리가 다른 방법보다 짧기 때문에 마커 크기가 작음으로 인하여 오차 낮아지는 것을 방지하는 것으로 나왔다. 본 실험을 통하여 손가락 터치의 방안을 사용하여도 이전의 감각형 상호작용 도구(링형)와 유사한 결과를 얻는 것으로 나타났다.

제 5 장 시스템 구현 및 적용

4장에서 마커 소형화를 통한 손가락 터치를 이용한 증강현실의 감각형 상호작용 방안을 제시하였다. 제시한 감각형 상호작용 방안에 대하여 증강현실 시스템에 적용하여 상호작용이 잘 되는지를 검증하였다. 실험의 참여한 피 실험자는 10명이며, 증강현실 환경에 대부분 경험이 없는 대학생들을 대상으로 하였다. 피 실험자에게 기존의 상호작용 방법과 제안된 상호작용 방안에 대하여 동일한 작업(task)을 주고 작업을 완료하는 시간을 측정하는 정량적 평가와 5점 척도 설문지를 이용하여 사용자의 정성적 평가를 하였다.

5.1 시스템 구현

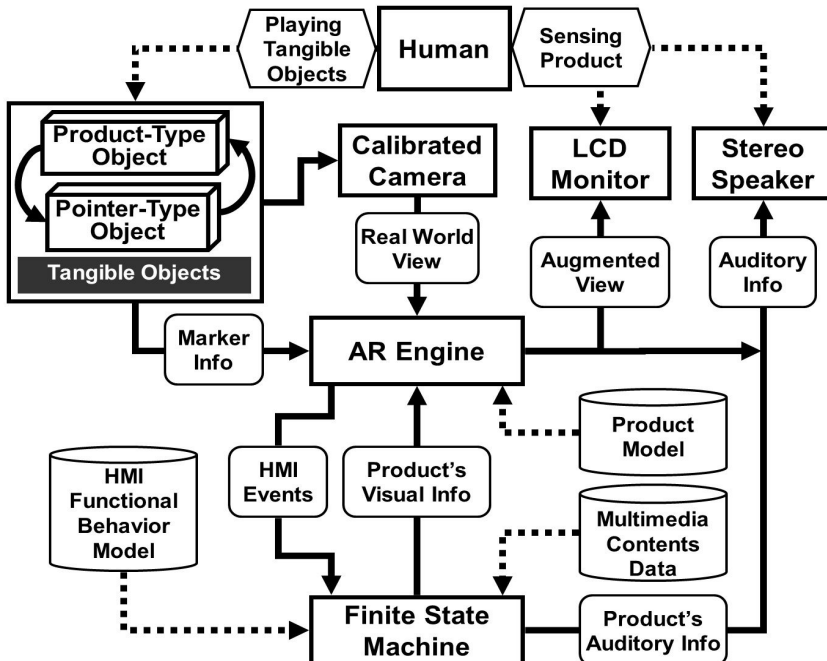


그림 43. 디자인 품평 프로세스[11,12,23]

증강현실 시스템에서 감각형 상호작용의 방안에 대한 논문 중 Park 등[10,11]이 제안한 증강현실 시스템은 MP3, 게임폰(Game Phone), PMP의 3가지의 제품에 대한 디자인 품평 시스템을 제안하고, 시스템의 상호작용의 방안으로 펜(pen)형 및 링(ring)형을 이용한 방안에 대하여 사용성 평가를 하고 있다. 이 실험의 제품 PMP에 대해 재현하고 제안한 방안을 실험해 봄으로써 손가락 터치를 이용한 상호작용의 사용성을 평가하고자 한다. 현재 판매 중인 C사 PMP의 모델을 대상으로 동영상 플레이, 사진 및 문서 보기, 음악듣기 등의 기능 갖고 있는 가상 객체를 증강현실 시스템에 구현한다. 선택된 PMP모델의 경우 버튼의 총 개수가 총 8개로 메뉴를 이동하는 버튼 4개와 선택 버튼 하나, 전원버튼 및 기타 버튼으로 구성되어 있고, 그 크기는 $5 \sim 15 \text{ mm}^2$ 이다. 앞서 정확성 평가를 통해 얻어진 안정된 버튼 클릭의 크기가 $4 \sim 20 \text{ mm}^2$ 인 것을 고려하였을 경우 시스템의 구현상에 문제가 없을 것이라고 사료된다[10].

제안된 시스템은 C와 C++언어를 병행하여 Windows 기반 PC상에서 구현하였다. 증강현실을 위한 실제 환경과 마커의 영상을 얻기 위해 640×480 해상도를 갖는 PC 카메라 Logitech QuickCam Pro 4000을 이용하였고, 출력장치로는 LCD 모니터와 스테레오 스피커를 이용하였다. 카메라와 눈과의 시야 각(angle)을 맞추기 위해 삼각대를 이용하여 카메라를 사용자에게 눈높이에 위치시키고, 선명한 영상을 얻기 위해 포커스를 수동으로 고정하였다. 카메라 보정 및 가상 모델 증강을 위해 ARToolKit[4]을 이용하였고, 입력영상의 영상처리를 위해 OpenGL[7], OpenCV[8]를 이용하였다. 제품 모델 생성을 위해 CAD 소프트웨어 Rhino3D V3.0[9]과 역공학 소프트웨어로 RapidForm 2004[10]을 이용하였으며, 기능모델 생성 및 유한상태기계 모듈 생성을 위해 RapidPlus V8.0[24]을 이용하였다. 혼합현실에서 사용되는 제품형 감각형 오브젝트는 제품의 3차원 기하 데이터를 STL로 변환하여 RP 모델로 제작하였으며, 마커의 정확한 생성과 편집을 위하여 Microsoft Office Visio 2003을 이용하여 인쇄 및 편집하였다. 다음 그림 44는 구현된 시스템 환경 영상이다.



그림 44. 구현된 시스템 환경 영상

제품용 오브젝트의 경우 마커의 인식률에 관하여 마커 크기에 대한 공간적 제약이 없다. 그러한 이유로 제품용 오브젝트에 사용되어지는 마커의 크기는 인식률이 높은 큰 마커를 사용 하였다.

5.2 사용자 평가 방안

4장에서 제시한 손가락 터치를 이용한 상호작용 방안이 사용자의 몰입감 향상에 도움이 되는지를 검증하기 위해 실험을 수행하였다. 본 실험에서 사용되어지는 감각형 상호작용은 기존의 펜(pen) 및 링(ring)형의 포인터 오브젝트와 제안된 손가락 터치 방법을 대상으로 실험하였다. 펜과 링의 경우 $24 \times 24 \text{mm}^2$ 의 마커를 사용 하였고, 손가락 터치는 마커의 크기를 축소하여 $10 \times 10 \text{mm}^2$ 의 마커를 사용하였다. 실험에 참여한 피 실험자는 10명이며, 증강현실 환경에 대부분 경험이 없는 대학생들을 대상으로 하였다. 피 실험자는 팬 및 링 형 포인터와 제안한 방안에 대하여 그림 45는 사용성 평가를 위한 PMP 제품에 대한 작업(task)을 나타낸다.

1. 주 메뉴로 이동



2. 동영상 부메뉴 선택



3. 4번째 동영상으로 이동



4. 동영상 실행



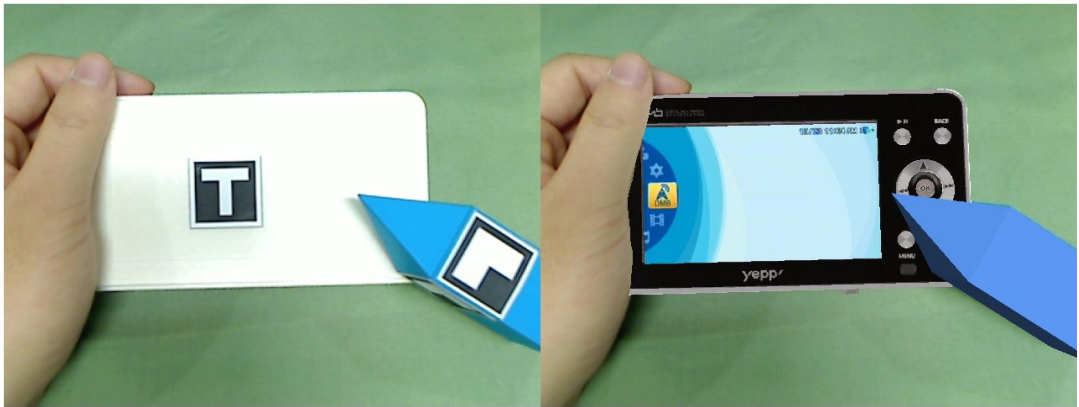
사용자 평가 Task 순서
Task steps
1. 주 메뉴로 이동 2. "Up", "Down", "OK" 버튼을 이용하여 동영상 부메뉴 선택 3. "Left", "Right" 버튼을 이용하여 4번째 동영상으로 이동 4. 실행 버튼을 눌러 동영상 실행

그림 45. 사용자 평가 작업 순서

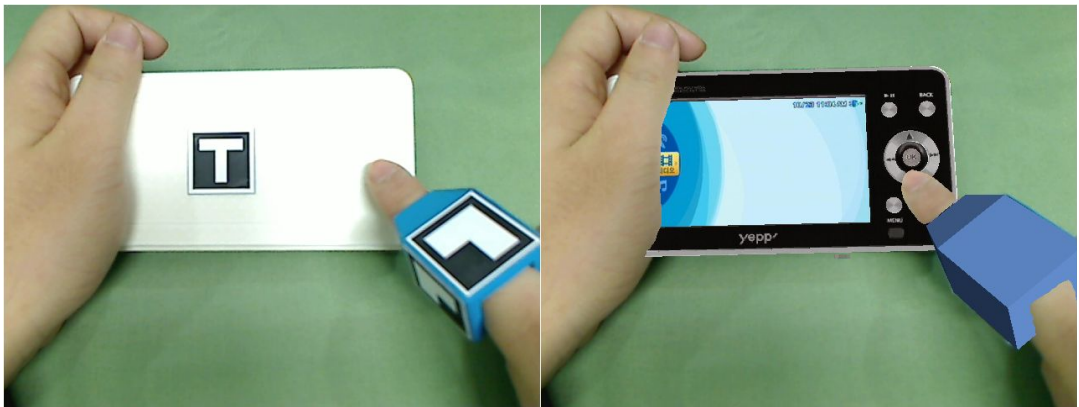
피 실험자들은 3가지 포인터용 오브젝트를 이용하여 작업을 수행하였다. 그림 46은 3가지 오브젝트를 이용한 PMP 가상제품에 대한 사용 장면을 각각 나타내고 있다.



(a) 손가락 터치(Fingertip) 상호작용



(b) 펜(Pen)형 상호작용



(c) 링(Ring)형 상호작용

그림 46. 각 상호작용 도구의 PMP 사용성 평가

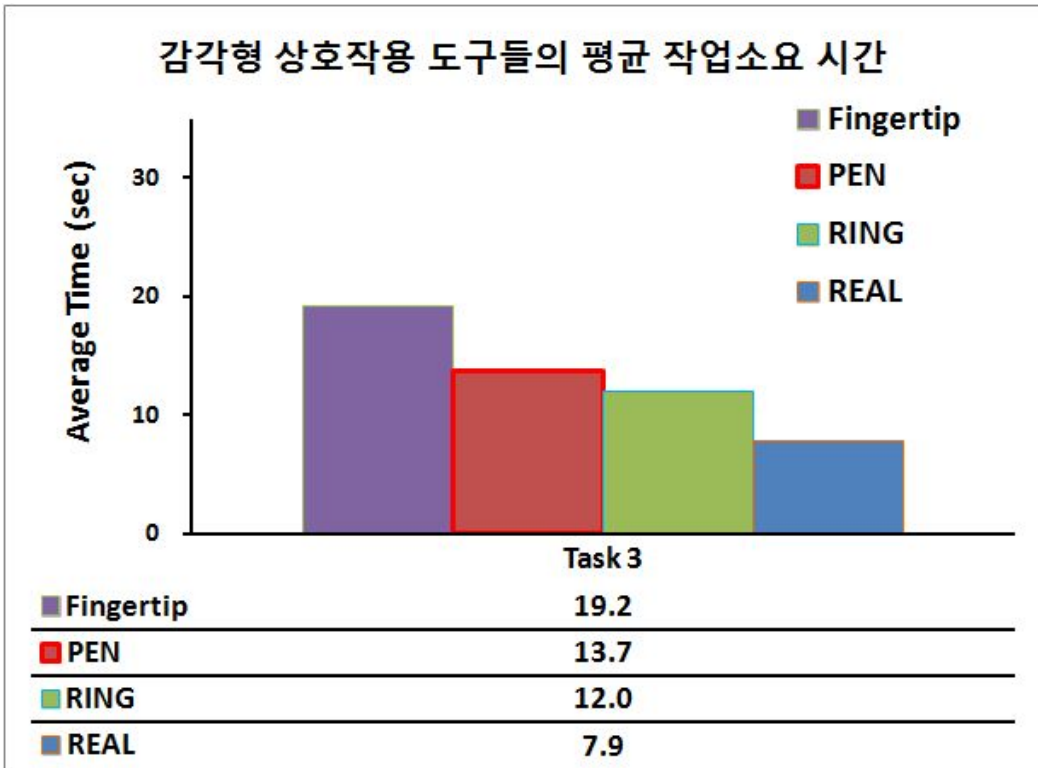


그림 47. 감각형 상호작용 도구들의 평균 작업소요 시간

그림 47에서 사용자의 제품 품평에 소요된 평균 시간에 대한 결과를 보이고 있다. 이 결과 Ring < Pen < Fingertip 순으로 작업시간이 증가함을 보였다. Fingertip의 경우 $10 \times 10 \text{mm}^2$ 의 마커를 사용하는 반면에 펜(pen) 및 링(ring)은 $24 \times 24 \text{mm}^2$ 의 마커를 사용하였기 때문에 마커의 추적 및 인식에 이점을 얻어 손가락 터치(fingertip)보다 작업시간이 낮은 것으로 사료된다. 따라서 마커의 크기가 상대적으로 작아 작업시간이 약간 증가하였지만 제품 품평을 하는 과정에서 불편함이 없는 것으로 인식되어 손가락 터치를 이용하는 방안이 증강현실 시스템의 상호작용 방법으로 정량적 가능성을 보였다고 사료된다.

피 실험자들은 작업을 마친 후, 각 포인터 오브젝트의 정성적인 평가를 위해 표 6에 있는 설문지를 작성하였다. 설문지는 5점 척도를 이용하여 최고점수는 5점 최소 점수는 1점으로 구성하여 이들 점수를 이용하여 각각의 포인터용 오브젝트들에 대한 정성적 평가를 분석하였다. 총 3개의 지문을 활용하여 상호작용 도구의 사용성과 착용의 편리성 및 제품 품평 작업의 편의성을 평가하였다.

표 6. 사용자 정성적 평가 설문 리스트

설문 리스트	
1.	상호작용 도구 이용 시 버튼 클릭이 용이한가?
2.	상호작용 도구의 착용이 편리한가?
3.	상호작용 도구가 시야를 가리지 않는가?

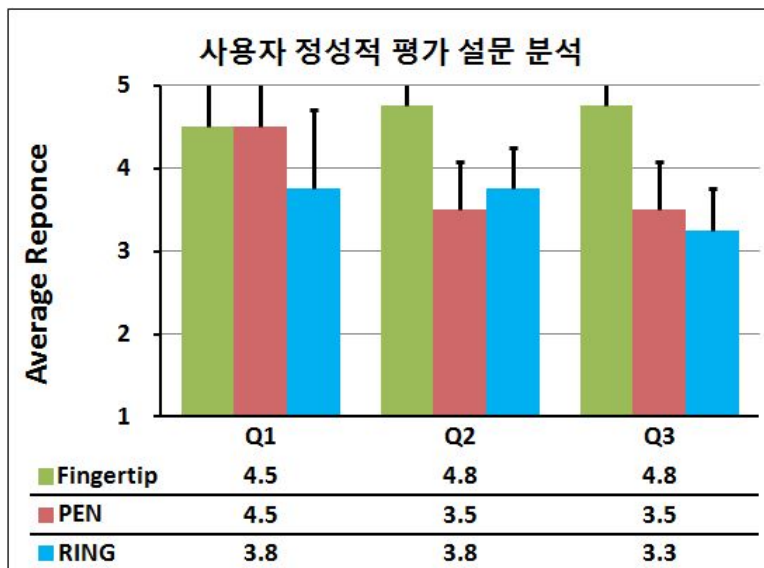


그림 48. 사용자 정성적 평가 설문 분석

실험 결과 손가락 터치(fingertip)의 경우 마커를 손가락에 부착하여 사용함으로써 사용성과 착용의 편리성 및 제품 품평 작업의 편의성에서 다른 상호작용 도구들에 비해 높은 점수를 얻었고, 펜(pen)과 링(ring)등의 경우 상호작용 도구가 부피를 갖고 있어 제품 품평 중에 제품을 가리는 문제가 있는 것으로 나왔다. 이는 도구를 착용하거나 소지해야 한다는 점에서 손가락 터치보다 낮은 점수를 받은 것으로 사료된다. 이를 통해 손가락 터치가 사용자의 정성적 평가에서 가장 높은 점수를 받았다.

제 6 장 결론 및 추후 연구

본 논문의 목적은 증강현실 환경에서 사용자 중심의 상호작용 서비스를 지원하기 위한 손가락 터치를 지원하는 소형화 마커를 개발 및 평가하고 이를 제안된 손가락 터치 상호작용 방법을 실제 증강환경 시스템에 구현 및 평가하는 것이다. 이를 위해 다각형을 이용한 마커추적 기술과 내부 패턴을 확대하는 방안을 제안하였고, 손가락 터치를 이용한 증강현실의 감각형 상호작용 방안을 제시하였다. 이는 종래의 마커를 기반으로 한 연구에서 마커 가림으로 인한 사용의 불편함을 해소하고, 크기가 확장된 내부 패턴으로 소형화된 마커의 인식률을 향상 시키는 가능성을 보였으며, 연구의 성능평가와 사용평가를 위해 버튼의 크기를 점진적으로 줄여 상호작용의 도구로서의 성능을 평가 및 실제 시스템을 구현하여 감각형 유저 인터페이스의 사용성을 평가하는 것으로 구성해 보았다.

정확성 평가 결과, 다른 상호작용 도구보다 손가락 터치의 경우 비교적 높은 작업 시간이 소요된 것으로 실험결과 나왔지만, 주요인이 마커의 크기가 다른 방안보다 작음으로 인한 추적과 인식정보의 차이로 보인다. 이를 고려할 경우 상호작용의 도구로써 문제가 없다.

사용성 평가 결과, 별도의 도구를 이용하지 않고 사용자의 손가락에 부착함으로써 다른 상호작용 도구보다 사용성과 편리성 및 편의성의 모든 부분에서 고루 높은 점수를 받는 결과를 얻었다.

본 연구의 장점은 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 마커의 일부가 훼손이 되어도 증강현실 시스템에서 마커를 찾는데 이상이 없다.
- 사각형을 포함한 다각형의 마커를 사용할 수 있다.
- 동일한 크기의 기존 마커보다 제안된 마커의 인식률이 높다.

본 논문에서는 다각형 마커 추적과 마커의 외곽선을 줄이는 실험을 통하여 소형화된 마커의 활용도를 높였다. 이는 마커를 소형화하여 사용자로 하여금 몰입감

을 증가시키는 효과가 있었지만 여전히 마커를 사용함으로 생기는 문제점에 대하여 해결되지 않았다. 따라서 향후에 사용자의 몰입감을 높이고, 사용자의 자유도를 높이기 위해서는 추적하는 객체를 마커가 아닌 실제 환경의 점, 선, 에지 등의 특징을 추적하여 가상 객체의 위치 정보를 찾는 마커리스 기반의 증강현실 시스템을 구현할 필요가 있다. 추가적으로 모바일(mobile)과 키넥트(kinect)와 같은 구현 환경 및 카메라의 변화를 인식하고, 새로운 접근 방법에 대한 분야의 연구 필요성이 있다.

참 고 문 헌

1. Richard S. Wright, Jr. and Benjamin Lipchak. OpenGL superbible 3th Edition. Addison-Wesley, 2004
2. Bradski G. and Kaebler A. Learning Computer Vision with the OpenCV Library. O'REILLY, Sebastopol, 2008.
3. K. Lee, Principles of CAD/CAM/CAE Systems, Addison Wesley, Berkeley. 1999
4. ARToolKit, <http://www.hitl.washington.edu/artoolkit/>
5. ARToolKitplus, http://studierstube.icg.tugraz.at/handheld_ar/artoolkitplus.php
6. ARTag, <http://www.artag.net>
7. Open GL and GLUT, <http://www.opengl.org>
8. OpenCV, <http://opencv.org>
9. Rhino 3D, <http://www.rhino3d.com>
10. RapidForm, <http://www.rapidform.com>
11. 박형준, 문희철. “증강현실 기반 상호작용과 시뮬레이션을 이용한 휴대용 전자제품의 설계품평”, 한국 CAD/CAM 학회 논문집, Vol. 13(3), pp. 209-216, 2008
12. H. Park, H.C. Moon, J. Y, Lee, "Tangible augmented prototyping of digital handheld products", Computers in Industry, Vol. 60(2), pp. 114-125, 2009.

13. P. Milgram and A. F. Kishino, "Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays", IEICE Transactions on Information Systems, Vol. E77-D(12), 1994.
14. 박홍석, 최흥원, "증강현실의 기술원리 및 프레임워크" 모아진 CAD & Graphics, 2008년 5월호, pp. 156-160.
15. D. W. F. van Krevelen and R. Poelman "A Survey of Augmented Reality Technologies, Applications and Limitations", The International Journal of Virtual Reality, 9(2), pp. 1-20, 2010.
16. <http://en.wikipedia.org>
17. Andres I. Comport "Real-Time Markerless Tracking for Augmented Reality: The Virtual Visual Servoing Framework", IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, Vol. 12(4), pp. 615-628, 2006.
18. Veronica Teichrieb, "A Survey of Online Monocular Markerless Augmented Reality", International Journal of Modeling and Simulation for The Petroleum Industry, Vol. 1(1), pp. 1-7, 2007.
19. Ronald T. Azuma, "A Survey of Augmented Reality", Presence: Teleoperators and Virtual Environments, Vol. 6(4), pp. 355-385, 1997
20. H. Kato, M. Billinghurst, "Virtual Object Manipulation on a Table-Top AR Environment", In proceedings of the International Symposium on Augmented Reality, pp.111-119, 2000.
21. http://www.vision.caltech.edu/bouguetj/calib_doc
22. F. Xiao C. Owen and P. Middlin "What is the best fiducial?" In First IEEE International Augmented Reality Toolkit Workshop (at ISMAR), Sep 2002.

23. 박형준, 문희철, “손가락 고정구를 이용한 휴대용 전자제품의 증강현실 기반 상호작용”, 한국 CAD/CAM 학회 논문집, Vol. 16(1), pp. 1-10, 2011
24. Building Applications for Embedded Systems, Technical Manual of RapidPLUS 8.0, <http://www.e-sim.com>
25. 박형준, 배치열, 문희철, 이관행, "HMI 기능 시뮬레이션 기반 개인용 휴대전자 제품의 가상시작", 한국경영과학회/대한산업공학회 춘계공동학술대회, 2005
26. H. Kato, M. Billinghurst, "Marker Tracking and HMD Calibration for a Video-based Augmented Reality Conferencing System", In Proceedings of the 2nd International Workshop on Augmented Reality, 1999
27. X. Zhang, S. Fronz, and N. Navab, “Visual Marker Detection and Decoding in AR Systems: A Comparative Study,” Proc. IEEE Int’l Symp. Mixed and Augmented Reality, pp. 79-106, 2002.
28. F. Zhou, H. B. Duh, M. Billinghurst, "Trends in augmented reality tracking, interaction and display: A review of ten years of ISMAR," International Symposium on Mixed and Augmented Reality, pp.193-202, 2008.
29. M. Fiala, "ARTag Revision 1, a Fiducial Marker System Using Digital Techniques", Technical report, National Research Council of Canada, 2004.

감사의 글

학부를 마치고 대학원 석사과정을 시작한지가 엊그제 같은데 어느덧 마무리할 시기가 왔습니다. 열심히 최선을 다하자는 각오로 시작했지만 돌이켜 보면 아직 많이 부족하다는 생각과 함께 후회가 남습니다.

학부생활을 하며 관심을 가지고 공부했던 분야를 더 깊이 있게 가르쳐 주시고, 저의 부족한 면을 채울 수 있도록 이끌어 주신 박 형준 교수님께 우선 깊은 감사드립니다. 그리고 논문심사를 맡아 완성되기까지 부족한 점을 지적해 주시고 많은 가르침을 주신 김 종래 교수님과 깊은 관심으로 언제나 저에게 힘이 되어주신 황학진 교수님께도 감사를 드리며, 애정과 격려로 항상 조언을 아끼지 않으셨던 강장하 교수님, 항상 뒤에서 지켜봐주시며 도움을 주신 박 해천 교수님, 김 규태 교수님께도 진심으로 감사드립니다.

대학원 생활동안 실험실에서 동거동락하며 같은 분야를 고민하고 연구하는 선배로써 논문을 쓰는 동안 많은 도움과 조언을 아끼지 않았던 문 희철 박사님과 박상진 박사님, 실험실의 막내 박 득영, 치의공학과 의 박 형욱 박사님께도 정말 고맙다는 말을 전하고 싶습니다. 또한, 같은 대학원 생활을 하며 항상 챙겨주었던 정수희 선배, 언제나 저에게 있어 의지가 되고, 힘이 되었던 산업안전공학과 의 이안섭 선배님, 조상훈 선배, 이경훈 선배, 심민영 선배, 원활한 연구 실험 진행에 도움이 되었던 김승길 외 20명, 이들이 있어 대학원 생활이 즐거웠고 또 무사히 마무리 할 수 있었다는 말과 함께 고마운 마음은 전합니다.

이 외 대학원 생활동안 도움을 주신 모든 분들께 감사드리며, 마지막으로 언제나 저를 믿어주시고 지켜봐주시며 조언해주신 부모님, 항상 옆에서 응원해준 착한 여동생, 항상 응원을 아끼지 않으셨던 할아버지, 할머니, 외할머니에게 깊은 애정과 고마움을 전합니다.