

실내 공간 및 객체인식을 통한 확장현실 기반 실세계 객체 제어에 관한 연구

A study on the real-world object control based on extended reality through indoor space and object recognition

정창훈¹, 서상현^{2*}

Chang-Hun Jung¹, Sang-Hyun Seo^{2*}

요약

증강현실 기술의 발전으로 여러 증강현실 콘텐츠가 대중화되었으며 관련 디바이스의 발전은 이를 가속화하고 있다. 전통적으로 증강현실은 컴퓨터 비전을 활용한 영상기반 마커 방식을 사용하여 현실 공간을 인식하고 가상콘텐츠를 증강함으로써 실세계 공간과의 통합을 이루었다. 이는 시각적 통합으로 실세계 객체와 가상공간 객체 사이의 연결성 및 제어적 통합은 이루어지지 않아 가상객체와 실세계 객체 간 상호작용성이 요구되고 있다. 이는 확장현실로 이라는 개념으로 정의할 수 있으며 가상공간에서의 변화가 실세계의 변화를 이끌어내는 기술이라고 볼 수 있다. 본 연구에서는 실내공간 및 객체를 인식하고, 인식된 객체에 부가적인 정보를 증강함으로써 가상세계와 실세계의 연결성을 확보하기 위한 기반기술을 소개한다. 이를 위해 공간 인식을 위한 SLAM 기술을 기반으로 카메라 트래킹을 수행하였으며, 카메라 트래킹 과정에서 얻어지는 영상과 포인트클라우드 정보를 활용하여 객체를 인식하였다. 인식된 객체의 제어과정을 시뮬레이션하기 위해 네트워크 통신을 통해 가상 객체와 현실 객체를 연결, 가상공간에서의 제어가 현실세계의 물리적 변화로 반영될 수 있도록 실험하였다.

핵심어 : 확장현실, Marker-less AR, 3D 객체 추적, 현실객체제어

Abstract

With the development of augmented reality technology, various augmented reality contents are popularized and the development of related devices is accelerating. Traditionally, augmented reality has achieved integration with the real world space by recognizing real space and augmenting virtual content using an image-based marker method using computer vision. This is visual integration, and the connectivity and control integration between real-world objects and virtual space objects is not achieved, so interactivity between virtual objects and real-world objects is required. This can be defined as the concept of extended

1 Graduate School of Advanced Imaging Science, Multimedia & Filme, Chung-Ang University, Seoul, Korea [Graduate Student]
e-mail: grchjung@gmail.com

2 School of Art and Technology, Chung-Ang University, Korea [Professor]
e-mail: sanghyun@cau.ac.kr (Corresponding author)

* 본 연구는 2022년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행되었음
(과제명 : 실세계 공간과 휴먼의 디지털 트윈·변환을 통한 확장현실 응용기술 연구, 과제번호 : 2022R1A2C1004657, 기여율 100%)

Received(October 13, 2022), Review Result(1st: November 1, 2022), Accepted(December 12, 2022), Published(December 31, 2022)



© 2022 The Authors. Published by NCIS.
This is an open access article licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.
To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>.

reality, and it can be seen that changes in virtual space are technologies that lead to changes in the real world. In this study, we introduce the basic technology for recognizing indoor spaces and objects and securing the connectivity between the virtual world and the real world by augmenting additional information on the recognized objects. To this end, camera tracking was performed based on SLAM technology for spatial recognition, and objects were recognized using images and point cloud information obtained during the camera tracking process. In order to simulate the control process of the recognized object, the virtual object and the real object are connected through network communication so that the control in the virtual space can be reflected as a physical change in the real world.

Keyword : eXtended Reality, Marker-less AR, 3D Object Tracking, Real Object Control

1. 서론

증강현실(AR, Augmented Reality)은 컴퓨터에서 생성된 정보를 바탕으로 현실 세계에 가상의 객체를 겹쳐 보이도록 해 상호작용할 수 있도록 하는 기술이다. 현실 세계와 단절시켜 다른 환경에 존재하는 듯한 느낌을 주게 하는 가상현실(VR, Virture Reality)과는 다르게 현실 세계를 베이스로 가상의 정보들을 활용한다 [1][2]. 따라서 가상현실 디바이스 장비(HMD, Head Mounted Display) 착용으로 인해 감각의 불일치로 생기는 사이버 멀미(Cyber sickness) [3]로부터 가상현실에 비해 비교적 자유롭다는 특징을 가져 문화예술, 교육, 게임, 의료, 산업, 엔터테인먼트 등 다양한 분야에서 적용되고 있다 [4].

증강현실을 구축하기 위해서는 공간에 대한 인식이 필요하다. 일반적으로 사용되고 있는 기술은 마커 인식을 기반으로 하고 있으며 해당 마커를 기준으로 여러 정보들을 시각화한다 [5]. 하지만 해당 방식은 기준 마커가 인식 범위를 벗어나게 되면 시점 위치를 트래킹 하지 못해 활동 공간의 제약성이 존재한다. 이를 보완하기 위해 공간 마커를 사용하는 방법이 제안되었으나 공간 단위의 인식이기 때문에 객체별 제어에 문제점이 존재한다.

이를 해결하기 위해 제안하는 시스템에서는 넓은 공간에 대한 인식 및 카메라 트래킹이 가능하며 객체까지 동시에 인식 가능하도록 했다. 가장 먼저 공간에 대한 인식을 위해 기존 카메라 트래킹 기술인 SLAM(Simultaneous localization and mapping) [6] 기술을 활용하여 획득한 영상 정보를 기반으로 특징점을 추출하고 맵을 구성해 트래킹을 수행했다. 그다음 공간에 존재하는 객체를 인식하기 위해 딥러닝 알고리즘을 적용했다. 공간에서 인식해야 되는 객체에 대한 정보는 3차원 포인트클라우드로 이루어져 있어 3차원 데이터를 학습한 딥러닝을 활용해야 한다. 하지만 3차원 딥러닝의 경우 라벨링 응용프로그램이 아직 연구 진행 중에 있어 학습을 위한 커스텀 데이터셋 구축에 어려움이 있다. 따라서 2차원 형식의 딥러닝을 활용하여 객체를 인식한 위치정보와 매칭되는 포인트클라우드 맵에서 3차원 특징점 배열을 가져오는 방식을 활용하여 해결했다. 이후 인식된 객체에 대한 자세 추정을 진행한 이후 각각의 객체에 맞게 디자인된 인터페이스를 시각화했다. 마지막으로 사물인터넷(Internet of Things)기술을 활용하여 객체와 시스템을 연결하고 제어 명령을 통해

기능을 수행해 확장현실의 기반기술을 확보하고 미래 기술로서의 아이디어 및 가능성을 제시한다. [그림 1]에서 위와 같은 과정을 설명하고 있다.



[그림 1] 연구개요 및 목표

[Fig. 1] Research overview

2. 관련 연구

2.1 증강현실

Tom Caudell의 항공기 조립에 도움이 되는 정보를 작업자에게 실시간으로 보여주는 시스템 논문에서 증강현실이라는 단어가 처음 언급되었다. see-through HMD를 사용하여 실시간으로 작업에 필요한 정보들을 보여주는 시스템이었으나 기술적 발전 문제로 트래킹이 가능한 영역이 제한적이라 설계단계에 그쳤다 [7]. 이후 많은 추가 장비를 요하지 않고 생산이 어렵지 않은 마커를 활용하여 정확한 위치 추적과 트래킹이 가능하도록 연구가 진행되었다. 하지만 마커로 인해 객체가 가려지는 문제가 발생했고 여러 형태의 마커를 개발하여 문제점을 해결하고자 했다. 또 다른 문제로 모든 객체가 사용자가 보기 편한 위치에 코드를 위치시키고 있지 않아 정확한 위치 추적 및 트래킹이 어려워 이미지 기반의 마커 연구가 진행되었다. 기존의 바이너리 기반 마커 이미지 방식에 비해 자연스러운 합성이 가능했으나 초기의 이미지 기반 마커 방식은 특징점 추출을 위해 많은 리소스를 사용하게 되어 동작에 많은 시간이 소요된다는 문제가 있었다. 이후 하드웨어의 발전으로 인해 SIFT(Scale Invariant Feature Transform) [8], ORB(Oriented FAST and Rotated BRIEF) [9], SURF(Speeded Up Robust Features) [10]등 여러 특징점 추출 알고리즘이 개발되었다. 이러한 알고리즘은 픽셀 단위로 수행되어 매칭되는 특징점을 찾는 기하학적 과정에서 위치를 추정할 수 있었었고 카메라의 위치 정보를 추정하는 기술도 함께 연구되었다. 이에 [그림 2]와 같이 기준 마커 없이 주변 환경을 스캔하여 작동하는 Markerless 증강현실 기술이 발전하게 되었다.



[그림 2] Makerless 증강현실 예시

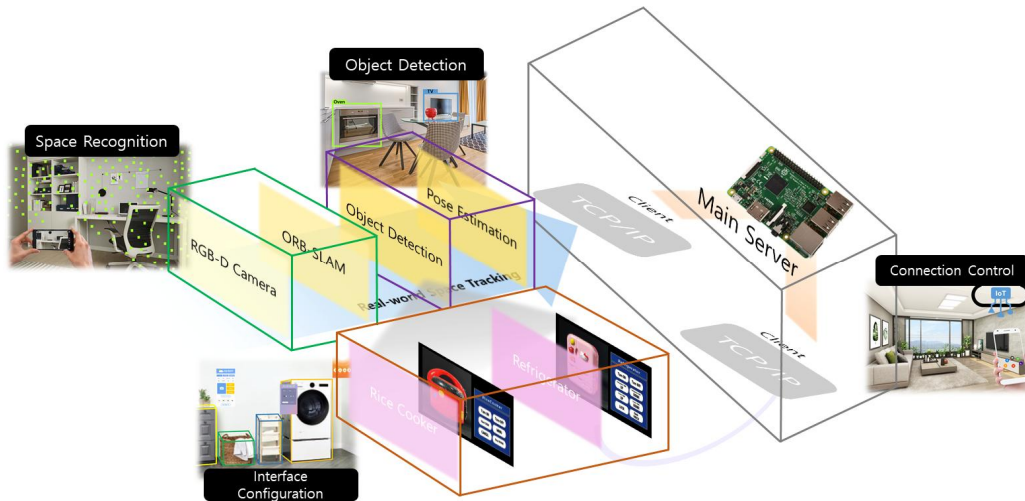
[Fig. 2] Example of makerless augmented reality

2.2 사물인터넷 시스템

사물인터넷은 Kevin Ashtondl 처음 사용한 개념으로 유무선 네트워크로 연결되어 서로 상호작용하는 모든 사물 공간 연결망을 의미하며 2014년 가장 주목해야 할 10대 전략 기술 가운데 하나로 선정되었다 [11][12]. IBM은 “Global Technology Outlook 2014”에서 필수 기능을 세 가지로 분류했다 [13]. 첫 번째로는 고도의 지능을 통한 정보의 수집이 가능해야 한다. 두 번째로는 연결과 소통을 통해 사물사이에 정보교환이 가능해야 하며 세 번째로 교환된 정보를 해석하여 새로운 가치와 서비스를 제공할 수 있어야 한다. 이를 위해 사물과 주위 환경에서 정보를 얻기 위한 센싱 기술이 필요하며 서비스가 가능하기 위한 유무선 통신 및 네트워크 인프라 기술이 갖추어져야 하고, 기능을 수행하기 위해 인터페이스 기술이 필요하다. RFID(Radio-Frequency Identification) 및 NFC(Near FieldCommunication) 등 기타 센서를 활용하여 사물을 인식하고 조회가능하도록 하고 네트워크를 통해 실시간으로 정보를 수집하고 서비스를 제공해주기 위해 다양한 센서들을 활용하는 연구가 진행되고 있다 [14]. “IoT Awards 2015/2016”에서의 최종 후보작 및 수상작을 통해 특정 가구 및 기기를 제어하는 유형, 가정내 환경을 관리하는 유형, 가정 내 전반적인 기기를 제어관리하는 매개유형, 그 자체로 여러 서비스를 지원하는 유형 총 4가지 유형으로 사물인터넷 제품 유형을 분류했다. 이러한 사례들 분석 결과 사물인터넷의 가장 중요한 핵심은 각 제품의 본연의 기능에 충실하며 정보를 수집하고 분석하여 새로운 서비스를 제공할 수 있는 것에 있다.

3. 실내 공간 및 객체인식을 통한 확장현실 기반 실세계 객체 제어

본 논문에서 제안하고자 하는 시스템의 구조는 [그림 3]과 같다.



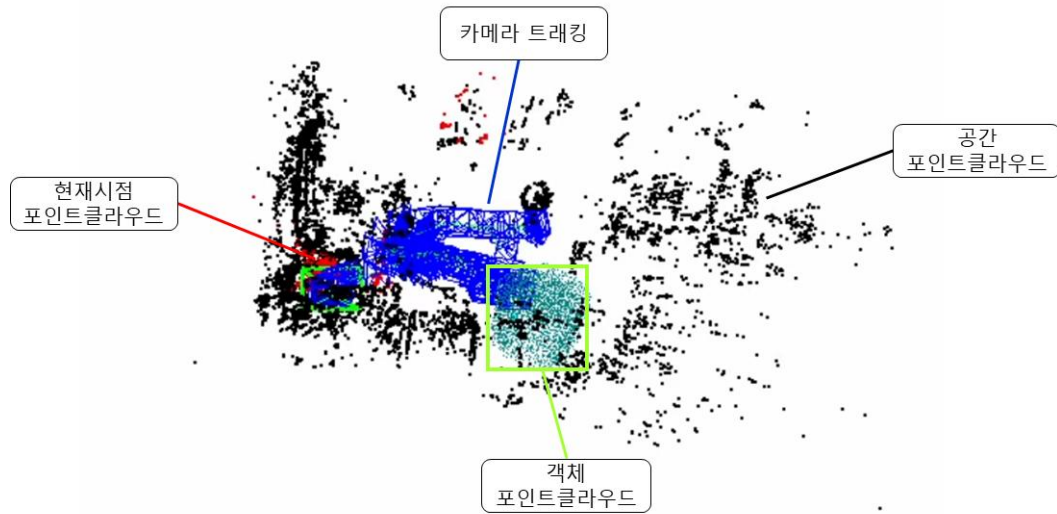
[그림 3] 시스템 전체 구조도

[Fig. 3] System Diagram

가장 먼저 RGB-D카메라를 활용하여 공간을 인식하고 카메라 트래킹을 수행한다. 인식된 공간은 SLAM 기반 카메라 트래킹 시스템을 활용하여 영상정보를 통해 얻어지는 특징점을 기반으로 한 포인트클라우드 데이터로 구성된다. 이후 딥러닝을 활용한 객체 인식을 진행한다. 인식된 객체의 위치정보와 매칭되는 정보를 포인트클라우드 데이터에서 가져와 해당 객체에 대한 3차원 가상 시각정보를 증강한다. 하지만 증강된 결과는 위치 및 각도적으로 정확하게 계산되어 증강된 결과가 아니기 때문에 ICP알고리즘 [15]을 적용하여 객체와 일치하는 자세를 추정했다. 객체 제어를 위한 인터페이스를 배치하기 위해 현실세계의 객체 제어방식과 동일한 UI를 구성했다. 이렇게 구성된 시스템에 IoT기술을 활용하여 객체와 시스템을 연결하여 상호작용 가능하도록 했다.

3.1 공간인식

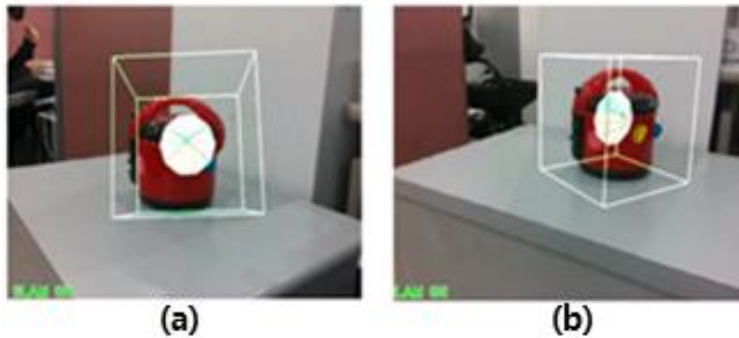
해당 시스템은 현실세계에서의 카메라의 위치와 움직임이 증강세계에서 트래킹이 가능하도록 공간에 대한 정의가 필요하다. 인식하고자 하는 공간을 RGB-D 카메라를 사용 SLAM기술을 기반으로 특징점을 추출해 실세계 정보에 대한 포인트클라우드 데이터를 생성한다. 생성된 포인트클라우드 데이터를 기반으로 공간 맵을 생성 카메라 트래킹을 수행하고 위치를 추정 한다. [그림 4]에서 검은점으로 표현된 것은 구성된 포인트 클라우드 정보를 의미하며 현재 보이는 시점의 포인트들은 빨간색, 객체에 대한 포인트들은 청록색, 파란색 네모는 카메라에 대한 트래킹 정보를 나타낸다.



[그림 4] 인식된 공간에 대한 포인트클라우드 정보

[Fig. 4] Point cloud data for recognized 3D space

3.2 공간인식객체인식 및 자세추정



[그림 5] (a) ICP 알고리즘 동작 전 (b) ICP 알고리즘 동작 후

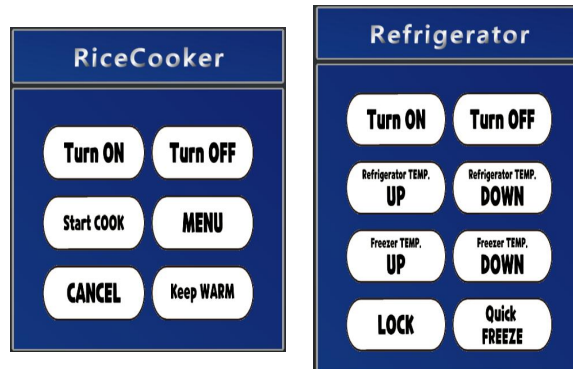
[Fig. 5] (a) Before applying ICP (b) After applying ICP

객체를 인식을 위해 딥러닝 알고리즘 기반인 YOLOv3 [16]를 활용하여 객체 검출을 수행한다. 객체 인식을 수행한 이후 가장 가까운 특징점 위치를 검색하여 3차원 맵 포인트 클라우드 정보를 반환한다. 해당 정보에 가상 시각정보 증강을 수행하면 각도에 대한 정보 없이 중점에 대한 정보만으로 증강했기 때문에 정확한 가상 시각 정보를 획득하기 어렵다. 따라서 ICP 알고리즘을 활용하

여 위치 및 자세를 추정한다 [17]. [그림 5]에서 ICP알고리즘 동작 전과 후의 결과 비교를 통해 알고리즘의 필요성을 보여준다.

3.3 AR 환경에서 객체 제어 메뉴 구성

증강공간에서 객체를 제어할 때 효율성과 편리성을 고려하기 위해 UX측면에서 충분히 반영되어 있는 현실 세계에서의 객체제어 방식과 동일한 방식을 반영하여 [그림 6]과 같이 특징에 맞는 유사한 인터페이스를 구축했다.



[그림 6] 인터페이스 예시

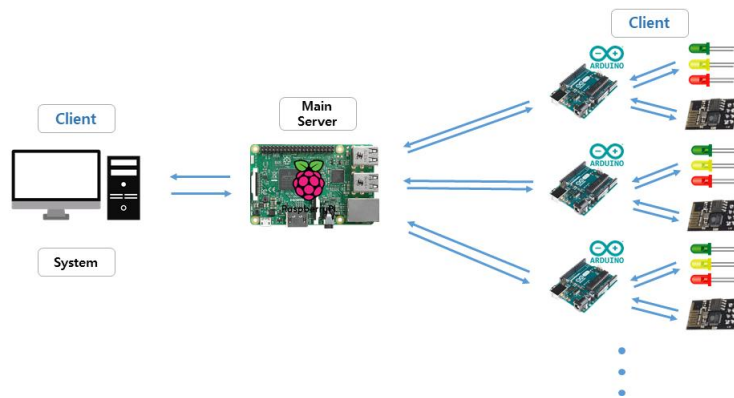
[Fig. 6] Interface Example

해당 인터페이스를 인식된 객체에 증강하게 되면 3D 공간의 속성으로 인해 시점 방향에 따라 메뉴가 표시되거나 숨겨지게 될 수 있다. 따라서 사용자가 어떤 방향에서든지 메뉴를 볼 수 있도록 하기 위해 Projection matrix를 적용하며 시점이 변하더라도 증강 공간에서의 객체의 중점을 기준으로 동일한 인터페이스가 보일 수 있도록 했다.

3.4 동작 가능한 IoT 시스템 구축

증강 공간에서의 현실 객체 제어를 위해 시스템 구조를 설계했다. HTTP(Hypertext Transfer Protocol)의 경우 서버가 클라이언트로부터 요청을 받을 때만 응답을 받고 이후 연결이 끊기는 특징을 가지고 있어 각 객체의 제어를 위한 실시간 통신으로는 적합하지 않다. 따라서 TCP/IP(Transmission Control Protocol/Internet Protocol) 기반으로 서버를 설계했다. 라즈베리파이를 활용하여 다음 [그림 7]과 같은 시스템 구조도로 서버를 구축, 각 객체들을 연결하여 중앙관리할 수 있도록 했다. 사용자들은 클라이언트로 서버에 요청을 통해 각 객체들의 정보를 확인하고 제어 가능하도록 했다. 각 객체를 구성하는 보드에는 LED모듈을 부착하여 제어명령에 따른 동작 상태를

확인할 수 있도록 했다.



[그림 7] IoT 시스템 구조도

[Fig. 7] IoT system structure

4. 실험 결과

본 논문은 [표 1]에 해당하는 환경정보를 통해 시스템을 구현했다. 트래킹, 객체 인식, 네트워크 환경 구성, 객체 제어를 다른 프로세스로 처리해 실시간으로 동작할 수 있도록 했다. 약 $28.5m^2$ 의 공간 안에 객체들을 배치하고 RGB-D 카메라를 통해 공간을 인식하고 카메라 트래킹 및 객체 인식을 진행했다.

[표 1] 시스템 환경정보

[Table 1] System environment

구성	환경
CPU	Intel Core i7-9700
GPU	Geforce RTX 2060 Super
RAM	32GB
공간 인식	ORB-SLAM
객체 인식	Yolov3
메인 서버	Raspberry Pi 3B+
객체 제어 시스템	Arduino + esp8266

공간을 인식한 다음 객체 인식을 수행 객체에 대한 정보와 위치정보를 획득한다. 이후 ICP알고리즘을 통해 자세 추정을 완료하여 객체와 증강데이터가 일치할 수 있도록 했다. 가상 공간에서의

현실세계 객체 제어를 위해 [그림 8]과 같이 구해진 객체의 중점을 기준으로 투영 좌표를 계산하고 사전에 디자인한 인터페이스를 배치했다.



[그림 8] 객체의 중점을 기준 투영 좌표 계산 후 인터페이스 배치 결과

[Fig. 8] Virtual interface based on recognized object in XR space

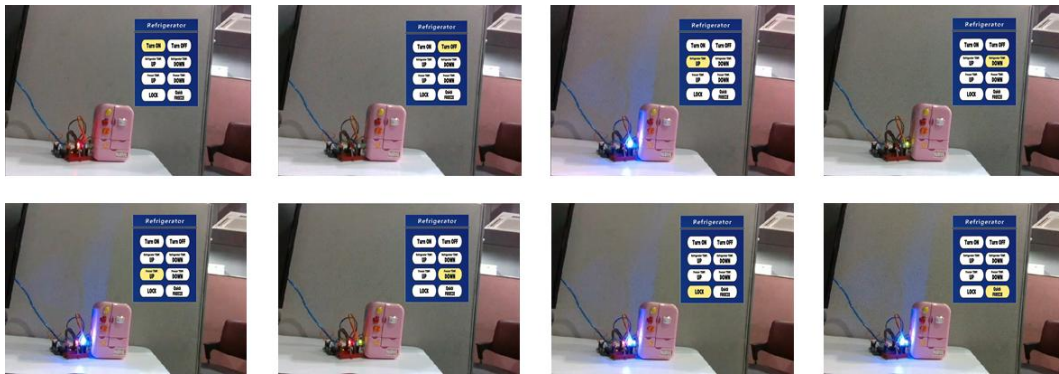
각 아두이노에 3개의 LED를 부착해 최대 8가지의 동작 시나리오를 작성하여 가상공간에서의 제어가 현실세계에 반영이 되는 모습을 확인할 수 있도록 했다. 작동상태를 확인하기 위해 [표 2]와 같이 명령 별 점등 상태를 구성하고 동작 상태를 평가했다.

[표 2] 각 객체별 제어 시나리오

[Table 2] Control Scenarios for Each Object

객체	상태	R	G	B	R	G	B
Refrigerator	Turn On	on	off	off	O		
	Turn Off	off	off	off			
	Refrigerator Temp UP	off	off	on			O
	Refrigerator Temp Down	off	on	off		O	
	Freezer Temp UP	on	off	on	O		O
	Freezer Temp Down	on	on	off	O	O	
	Lock	on	on	on	O	O	O
	Quick Freeze	off	on	on		O	O
Cooker Rice	Turn On	on	off	off	O		
	Turn Off	off	off	off			
	Start Cook	off	on	off		O	
	Menu	off	off	on			O
	Cancel	on	on	off	O	O	
	Keep Warm	on	on	on	O	O	O

[그림 9]은 메인 서버에 연결된 객체가 [표 2]의 시나리오대로 가상 공간에서의 제어 명령을 통해 제어되는 것을 LED의 점등을 통해 보여주는 모습이다.



[그림 9] 가상공간에서의 제어에 따른 실세계 객체 제어 동작 확인

[Fig. 9] Verification of real world object control in virtual space

4. 결론

본 논문은 현실 공간과 객체를 인식하고 위치 추정을 통해 증강 공간을 구축하고 가상 공간과 현실 세계의 상호작용이 가능하도록 하는 혼합현실 구축 시스템을 제안했다. RGB-D 카메라를 통해 공간 및 객체를 인식하고 네트워크를 구축해 증강현실에서의 제어 명령을 통해 실세계 객체가 제어됨을 확인하면서 확장현실로의 발전 가능성을 확인하고자 했다. 이를 위해 실세계에서 많이 사용되고 있는 객체를 선정하고 제어 실험을 진행하기 위해 시나리오를 작성했다. 하지만 실제 객체로 실험을 진행하기에는 구현성 및 여러 제약점이 다수 존재하여 모형 및 추가 시스템을 통해 인식 및 네트워크 환경을 구축하여 테스트를 진행했다. 최종적으로 증강 공간에서의 객체 제어가 사전 작성된 시나리오대로 실시간으로 동작함을 확인하면서 확장현실의 기반 기술 및 상용화가 가능함을 확인했다.

우리의 연구는 차세대 ICT기술로 급성장하고 있는 메타버스와 같은 확장현실 구축 기반 기술이 될 수 있다. 기존 현실세계의 UX를 반영한다는 점에서 새롭게 조작방법을 배우지 않아도 된다는 장점이 있으며 고가의 장비없이 구현이 가능하다는 장점이 있다. 따라서 더욱 다양한 분야의 적용을 통해 효율적인 확장현실 개발에 활용될 것으로 기대된다.

References

- [1] K. W. Chio, D. U. Jung, S. H. Lee and J. S. Choi, "Interaction Augmented Reality System Using a Hand Motion", *Journal of Korea Multimedia Society*, vol. 15, no. 4, April 2012, pp. 425-438, doi: 10.9717/KMMS.2012.15.4.425.
- [2] R. T. Azuma, "A Survey of Augmented Reality", *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, vol. 6, no. 4, August 1997, pp. 355-385, doi: 10.1162/pres.1997.6.4.355.
- [3] J. Y. Jung, K. S. Cho, J. H. Choi, J. H. Choi, "Causes of Cyber Sickness of VR Contents: An Experimental Study on the Viewpoint and Movement", *The Journal of the Korea Contents Association*, vol. 17, no. 4, April 2017, pp. 200-208, doi: 10.5392/JKCA.2017.17.04.200.
- [4] K. S. Won, "Application Method of Image Restoration based on Augmented Reality to Museum Education", *The Journal of the Korea Contents Association*, vol. 10, no. 6, June 2010, pp. 205-212, doi: 10.5392/JKCA.2010.10.6.205.
- [5] M. Kalkusch, T. Lidy, N. Knapp, G. Reitmayr, H. Kaufmann, D. Schmalstieg, "Structured visual markers for indoor pathfinding", *The First IEEE International Workshop Augmented Reality Toolkit*, September 29-29, 2002, Darmstadt, Germany, pp. 1-8, doi: 10.1109/ART.2002.1107018.
- [6] R. Mur-Artal, J. D. Tardós, "ORB-SLAM2: An Open-Source SLAM System for Monocular, Stereo, and RGB-D Cameras", *IEEE Transactions on Robotics*, vol. 33, no. 5, October 2017, pp. 1255-1262, doi: 10.1109/TRO.2017.2705103.
- [7] P. C. Thomas, W. M. David, "Augmented reality: An application of heads-up display technology to manual manufacturing processes", *Hawaii international conference on system sciences*, vol. 2, January 7-10 1992, Kauai, Hawaii, USA, pp. 659-669, doi: 10.1109/HICSS.1992.183317.
- [8] D. G. Lowe, "Distinctive image features from scale-invariant keypoints", *International journal of computer vision*, vol. 60, no. 2, November 2004, pp. 91-110, doi: 10.1023/B:VISI.0000029664.99615.94.
- [9] E. Rublee, V. Rabaud, K. Konolige, G. Bradski, "ORB: An efficient alternative to SIFT or SURF", *2011 International conference on computer vision*, November 6-13, 2011, Barcelona, Spain, pp. 2564-2571, doi: 10.1109/ICCV.2011.6126544.
- [10] H. Bay, H. Tuytelaars, L. V. Gool, "Surf: Speeded up robust features.", *European conference on computer vision*, vol. 3951, May 7-13, 2006, Graz, Austria, pp. 404-417, doi: 10.1007/11744023_32.
- [11] H. W. Lee, "Analysis of Public Sector Sharing Rate based on the IoT Device Classification Methodology", *Journal of Internet of Things and Convergence*, vol. 8, no. 1, February 2022, pp. 65-72, doi: 10.20465/KIOTS.2022.8.1.065.
- [12] S. J. Chang, K. S. Nam, "A Case Study of Household Appliances based on IoT Technology -focused on the connectivity of IoT-", *Bulletin of Korean Society of Basic Design & Art*, vol. 17, no. 6, December 2016, pp. 477-490.
- [13] G. Y. Lee, J. H. Lee, C. U. Jeong, Y. J. Tak, "IoT 3.0 and IoT platform technology", *Korea Information Processing Society Review*, vol. 21, no. 2, May 2014, pp. 3-13.

- [14] K. S. Shin, S. K. Youm, Y. J. Park, "Development of augmented reality based IoT control platform using marker", *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 25, no. 8, August 2021, pp. 1053-1059, doi: 10.6109/jkiice.2021.25.8.1053.
- [15] J. Yang, H. Li, D. Campbell, Y. Jia, "Go-ICP: A globally optimal solution to 3D ICP point-set registration.", *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, vol. 38, no. 11, December 2015, pp. 2241-2254, doi: 10.1109/TPAMI.2015.2513405.
- [16] J. Redmon, A. Farhadi, "Yolov3: An incremental improvement", *arXiv preprint arXiv:1804.02767*, April 2018, doi: 10.48550/arXiv.1804.02767.
- [17] T. Lee, C. Jung, K. Lee, S. Seo, "A study on recognizing multi-real world object and estimating 3D position in augmented reality", *Journal of Supercomputing*, vol. 78, no. 5, November 2021, pp. 7509-7528, doi: 10.1007/s11227-021-04161-0.