

미래 방식의 실시간 동적 프로젝션 매핑 설계 및 동적 사물 검출 시스템 연구

안서영¹, 서범석², 홍성대^{3*}

¹서경대학교 디자인학부 석사과정, ²다스콘 대표이사 ³서경대학교 디자인학부 교수

The Mirror-based real-time dynamic projection mapping design and dynamic object detection system research

Soe-Young Ahn¹, Bum-Suk Seo², Sung Dae Hong^{3*}

¹Graduate student, Division of Design, Seokyeong University

²Dascon Corporation

³Professor, Division of Design, Seokyeong University

요약 본 논문에서는 테마파크, 메가 이벤트, 전시공연에 시공간을 넘어서 디지털 캔버스로 활용하고 있는 프로젝션 매핑에 대해서 연구하였다. 기존 고정된 대상에 사용하던 프로젝션 기술은 활용도에 있어서 움직이는 대상에 맵핑하기 힘들다는 한계점이 있기 때문에 움직이는 피사체를 추적하여 매핑할 수 있는 기술과 동적으로 움직이는 대상을 기반으로 실시간 동적 프로젝션 매핑 시스템을 개발하여 공연, 전시, 테마파크 등 다양한 시장 대응이 가능하도록 관련 연구가 시급한 실정이다. 본문에서는 실시간 사물에 해당하는 요소를 추적할 수 있는 하드웨어 개발과 초고속 영상처리를 하여 딜레이 현상이 없는 시스템을 제시하고자 한다. 구체적으로 실시간 오브제 영상분석 및 프로젝션 포커싱 제어부 개발, 실시간 오브제 추적 시스템을 위한 통합 운영 시스템, 프로젝션 매핑을 위한 영상처리 라이브러리 개발을 구현한다. 본 연구는 최근 실시간 비전머신 기반의 검출 기술을 활용한 기술 집약적인 산업입과 동시에 첨단 과학기술이 융합되어 연출되는 산업으로 활용도가 다양할 것으로 기대된다.

주제어 : 사물, 프로젝션매핑, 동적, 피지컬컴퓨팅, 피사체 검출

Abstract In this paper, we studied projection mapping, which is being utilized as a digital canvas beyond space and time for theme parks, mega events, and exhibition performances. Since the existing projection technology used for fixed objects has the limitation that it is difficult to map moving objects in terms of utilization, it is urgent to develop a technology that can track and map moving objects and a real-time dynamic projection mapping system based on dynamically moving objects so that it can respond to various markets such as performances, exhibitions, and theme parks. In this paper, we propose a system that can track real-time objects in real time and eliminate the delay phenomenon by developing hardware and performing high-speed image processing. Specifically, we develop a real-time object image analysis and projection focusing control unit, an integrated operating system for a real-time object tracking system, and an image processing library for projection mapping. This research is expected to have a wide range of applications in the technology-intensive industry that utilizes real-time vision machine-based detection technology, as well as in the industry where cutting-edge science and technology are converged and produced.

Key Words : Object, projection mapping, dynamic, physical computing, subject detection

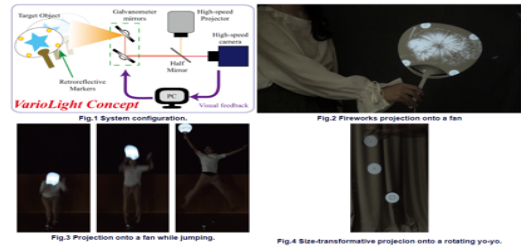
1. 서론

대형스크린에 특화된 프로젝션 매핑(projection mapping)은 새로운 형식의 표현 기법을 탄생시켰으며, 프로젝션 매핑은 다양한 형태의 면을 스크린으로 사용하며, 최근 공연무대 장치로까지 널리 활용되고 있다. 그러나 이와는 다르게 공연에서의 프로젝션 매핑 기법은 공간상의 한계점을 갖고 있다. 이는 무대장치 및 움직임은 사물에 제약사항을 보완할 수 있는 실시간 오브젝트 프로젝션 매핑을 개발하여 공연전시를 위한 새로운 형태의 공연전시 시스템을 제안한다면 다양한 시장 대응이 가능하다. 최근 실시간 비전 머신 기반의 센싱(Sensing) 기술은 기술집약적인 산업임과 동시에 첨단 과학기술이 융합되어 연출되는 산업으로 문화기술 산업에 활용도가 다양하다. 특히 전시공연 산업은 점차 첨단 기술의 융화되어 고객의 니즈를 해소하고 있다. 그중에서도 프로젝션 매핑을 활용한 무대장치, 전시공간, 테마파크 등에 오브젝트의 실시간 매핑 솔루션을 적용하여 소품이나 배우 및 관람객에게 매핑 기능을 제공 가능할 수 있도록 기술 개발이 요구되며, 특히 라이브 무대공연 혹은 체험형 테마 공간에 관람객이 참여할 수 있는 실감형 매체를 활용한 새로운 전시 무대공연 장치의 개발이 시급하다.

2. 연구 배경

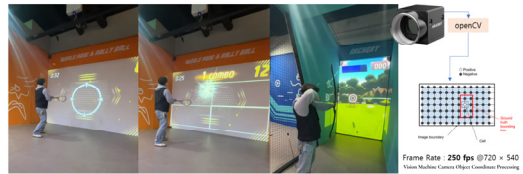
사물 혹은 출연자의 움직임을 실시간 위치를 추적하여 프로젝션 매핑으로 콘텐츠를 투영하는 기술에 대한 수요가 전 세계적으로 증가하고 있지만, 해외 기술에 의존하고 있다. 국내 자체 기술개발을 통하여 해외 제품을 국산화하고, 실시간 고속 프로젝션 매핑 영상처리 기술을 기존 프로젝터에 모듈화 제품 적용으로 호환성을 높여 저렴한 비용으로 기술도입이 가능한 사업 모델이 필요한 시점이다.

미국, 일본 등에서 초고속 광학 방식의 머신비전 카메라를 활용한 다양한 연구와 제품화 진행되고 있다. [Fig.1]과 같이 로보틱스 전문 일본 오사카대학 이시카와 랩(Ishikawa Group Laboratory)에서 고속오브젝트 센싱기술을 선행연구 진행 중에 있으며, 마커 기반의 옵티 트랙사(Opti track)는 미국을 주도로 성장해 나가고 있으며 최근 AI, 딥러닝 기반 기술을 활용한 머신비전을 도입하여 미디어 및 영상시장에 기술을 더하여 세분화하여 성장하고 있다.



[Fig. 1] Dynamic Vision Sensor, Ishikawa Group Lab

FA산업 및 자동차 자율주행 등 최근 카메라와 라이더를 활용한 다양한 제품과 AI를 기반으로 최고 수준의 4차 산업혁명으로 급부상 받고 있고 이러한 방식의 로봇 산업과 자율주행, 드론산업 등 다양한 복합 비전센싱 산업이 최근 급성장하고 있으며 스크린 골프, 안면인식, 지능형 재난방지 CCTV 등 활용 방법도 다양하고 스포츠, 미디어 산업계 전반에 걸쳐 다양한 형태로 이용되고 있다.



[Fig. 2] Tennis ball and arrow coordinate tracking using 125fps vision machine camera

본 연구자는 고속카메라 방식의 오브젝트 좌표 센서를 시스템 개발하여 스포츠 테마에 적용하였으며, 250 fps의 IR 비전 머신 카메라를 사용하여 고속의 양궁 화살을 검출하는 장치를 개발하여 스포츠 시설물에 도입하여 영상 콘텐츠와 오브젝트 검출 센서와 연동하여 운영하고 있다. 또한 비전 머신 카메라를 이용하고 Open CV에 의한 영상처리를 실시간 게임 콘텐츠와 연동한 기술을 보유하고 있다.

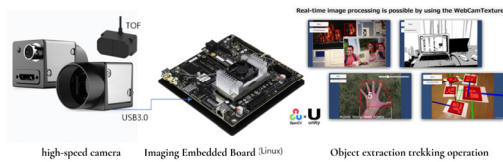
[Fig.2]는 3D 대형 공간의 실시간 좌표측정 기술로 라이더와 무선 방식을 활용한 UWB 측위 기술을 보유하고 있으며 이를 활용한 테마관 구축, 전시시설물에 적용하기 위하여 제어시스템을 설계 및 구축하여 상용 시설물에 적용한 기술을 선행하였다. 본 연구에서 가장 중요한 선행연구로써 프로젝션 매핑 기술 및 고속 서보모터 제어 기술을 개발하여 파주에 구축한 키즈 테마파크인 "EBS 파주놀이 구름"에 프로젝션 매핑에 적용하였으며, 고속의 카트라이더 테마파크 번개레이싱 테마존에 실시간 영상매핑 기술과 레이턴시 극복을 위한 알고리즘을 적용하여 개발한 기술과 관련 특허를 보유하고 있다. 특

히 보유중인 소형 서보모터 제어 기술을 활용한 미러 제어 기술을 도입하고, 사물기반 실시간 트랙킹을 토대로 검출할 수 있는 동적 프로젝션 매핑 시스템을 구축하고자 한다.

3. 동적 프로젝션 매핑 시스템

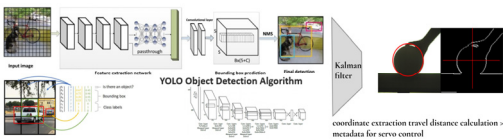
3.1 실시간 오브제 영상분석 및 제어부 개발

동적 무대 실시간 인터랙션 트랙킹을 위한 비전머신 영상분석 모듈 개발로 약 500~ 800fps 비전머신 카메라에 의한 고속 영상처리 인터페이스 개발이 요구된다. 유사사례로는 골프존 순간포착 카메라 제품의 경우 초기 모델은 850 fps이며, 순간포착 처리속도 기준으로 현재는 2,000 fps 로 사용된다.



[Fig. 3] Image processing block diagram

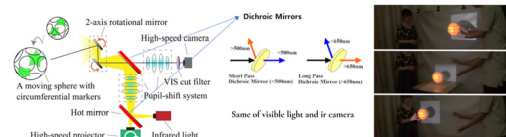
[Fig. 3]과 같이 고속의 영상처리를 위한 GPU기반의 임베디드 영상 처리 기술 적용 개발로 카메라 인터페이스를 위한 범용영상 포트 제공을 토대로 오브제 트랙킹을 위한 영상분석 알고리즘 적용 및 서보제어를 위한 메타 데이터화하여 TOF에 의한 거리 계산으로 프로젝터 렌즈 제어를 위한 제어 데이터를 생성한다.



[Fig. 4] OpenCV and YOLO algorithm, Kalman filter application coordinate calculation

[Fig. 4]는 AI 딥러닝 알고리즘을 적용하여 처리속도 개선 및 레이턴시 최소화를 위한 칼만 필터(Kalman filter)를 적용하여 개발하였다. 실시간 제어를 위한 1ms 이내 X/Y 축 제어가 가능한 갈바노 메터 미러 연동을 위하여 프로젝터 영상의 가시광선 시점과 카메라 뷰 시점의 일치화를 위한 이색성 필터(Dichroic Filter)를 사용하여 오차 범위를 최소화하였다.

[Fig. 5]와 같이 오브제의 거리 측정을 위한 TOF 거리 센서 연동 및 프로젝터 포커싱 모터 연동부 개발은 오브제와 거리 측정을 위한 TOF 센서 연동부 및 거리 계산은 계산된 거리를 기준으로 프로젝터의 포커싱에 맞는 모터 제어를 위한 제어부를 설계하고 초고속 속도로 제어하여 검출하는 동기화를 하였다.



[Fig. 5] Object distance measurement Focal distance calculation

트랙킹 기반의 경로 제어기술을 적용한 움직임은 피사체 무빙요크는 [Fig. 6]과 같이 무대공간에서 오브제의 이동을 추적하기 위한 이동 레일제어 장치를 오브제 트랙킹 영역을 확장하고 진동을 최소화하고 이동장치의 하중 등을 고려하여 기어비를 조정하여 초당 40cm 이동이 가능한 스테핑모터를 사용하고 시리얼 제어 인터페이스 485 통신장치로 연동하여 0.4m/sec 속도로 X축 이동이 가능하도록 하여, 무대공간의 좌우 즉 오브제의 X축 추적 카메라로 확보할수 없는 무대공간의 좌우를 폭넓게 사용이 가능하도록 이동구간을 확보하였다.

프로젝터의 고정마운트의 구조적인 호환성을 유지하여 착탈이 가능한 구조의 외함 케이스 설계를 반영하여 비전머신 카메라의 처리속도 개선을 통한 오브제의 좌표 분석의 정확성 향상을 하였으며 이를 통한 XY미러의 지연시간을 줄여 실시간 제어가 가능해졌다.

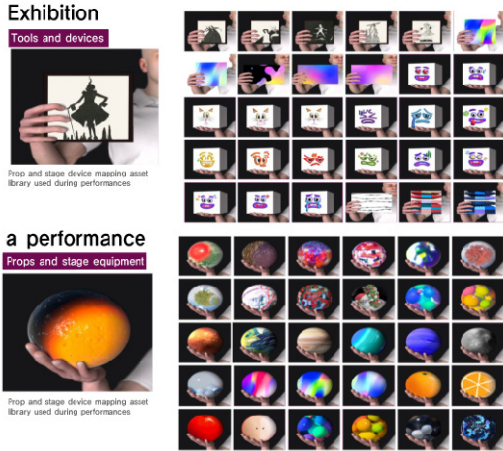


[Fig. 6] Production appearance image

3.2 실시간 오브제 추적 통합 운영시스템

오브제의 위치이동 파악을 위한 모니터링 UI 화면 개발은 모듈개발과 동시에 개발이 되며, 매핑 영상과 쇼 컨트롤 시스템 간의 연출 동기화를 위한 영상 동기화 처리

모듈 개발은 터치 디자이너(Touch Designer) 라는 개발 툴을 활용하여 MDX 인터페이스 및 동기화를 위한 타임라인 동기화를 채택하여 영상과의 동기화를 구현 및 개발하였다.



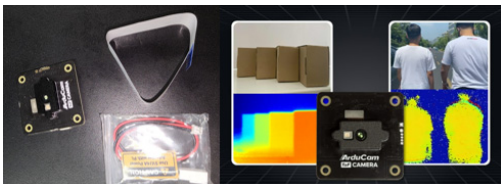
[Fig. 7] 2D and 3D Data Asset

실감 라이브 공연, 전시를 위한 씬 연출 가이드 및 저작 SW를 구현하였으며, UI/UX 씬 연출 도구를 구현하였다.

[Fig. 7]과 같이 프로젝션 매핑을 위한 영상처리 라이브러리를 위해서 특성에 맞는 오브제 인터랙션을 위한 2차원 객체 모델링 데이터 생성과 3차원 영상 데이터를 변환하여 운영관리를 효율적으로 하기 위하여 UI 프로그램으로 개발되었다.

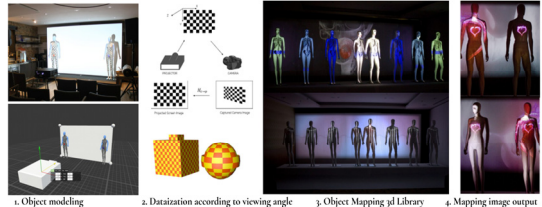
3.3 프로젝션 매핑을 위한 영상처리 개발

오브제의 거리 측정을 위한 TOF 거리센서 연동 및 프로젝터 포커싱 모터 연동은 현재 모듈 개발이 선행되어야 하기에 [Fig. 8] 과 같이 TOF 거리센서와 인터페이스부를 개발하여, 단순 거리 센서보다는 해상도를 가진 TOF 카메라 모듈을 적용하여 오브제의 3D 이미지를 적용하였다.



[Fig. 8] Additional development from general TOF sensor to 3D ToF sensor

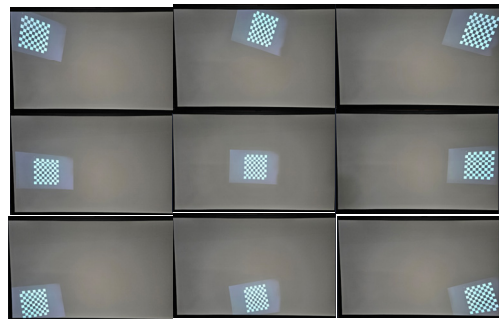
오브제 유형에 따른 분석 및 시야각에 따른 상황별 이미지 데이터화를 통하여 프로젝터 해상도에 따른 매핑영상 이미지 속성 정보 데이터를 시점을 실시간으로 변경하여 착시를 나타내는 방법을 통하여 실제 관람하는 사람에게 3차원으로 매핑이 된 느낌을 제공한다.



[Fig. 9] Object modeling and 3D library

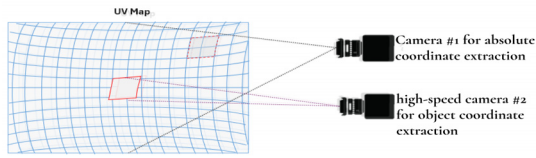
[Fig. 9]와 같이 3D 매핑 데이터화 및 라이브러리에 의한 영상 이미지 추출 정보를 적용하여 영상 출력을 위한 상황별 오브제 이미지 매핑 데이터를 생성하고 실시간 프로젝터에 연결하여 대상에게 적용하였다.

미러를 회전 시킨 결과 [Fig. 10]과 같은 이미지를 보이고 있는데, 이는 미러의 회전에 의한 UVMap 으로 형태가 왜곡되는 현상이다.



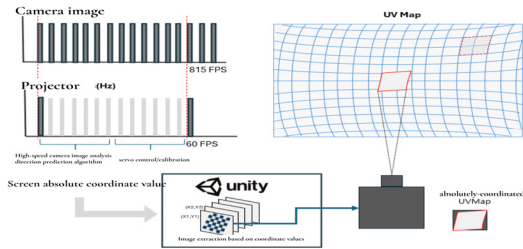
[Fig. 10] Projection Distortion

회전 및 확산으로 인한 UVMap형태는 [Fig.10] 과 같은 형태로 표현이 되었으며 스크린 화면의 절대표값이 필요함을 알 수 있다. 이로 인해 카메라가 2대가 필요하다는 결론을 내리고 고속의 오브제의 좌표추출과 미러를 회전시키기 위한 카메라와 스크린의 오브제 절대 좌표추출을 위한 저속의 카메라 즉 2대의 카메라를 사용하여 개발 및 진행하였다.



[Fig. 11] Camera and UVMap for coordinate extraction

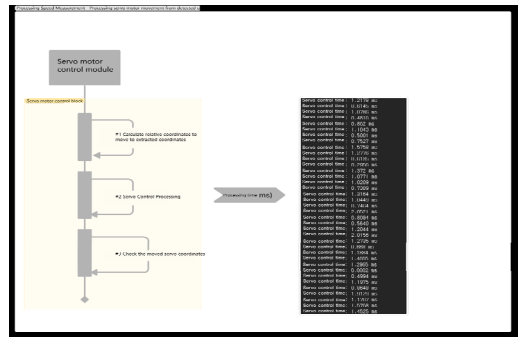
실시간 오브제 좌표분석을 위해서는 [Fig. 11] 과 같이 고속의 카메라 즉 815 FPS와 프로젝터의 리프레쉬 주파수 60Hz 사이의 시간차를 이용하여 오브제 좌표계산을 처리한다.



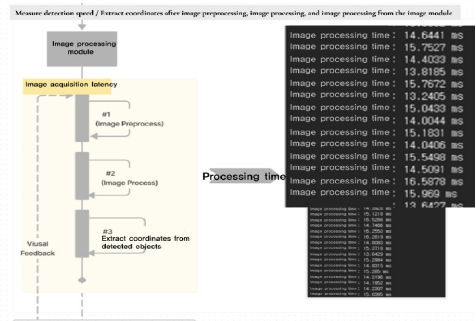
[Fig. 12] Image Analysis and Unity UVmap Processing

[Fig. 12]의 프레임 주파수를 보면 815fps의 카메라에 60Fps의 프로젝터 프레임을 비교하면 약 13프레임의 분석이미지가 포착되고 있다. $60\text{hz} * 13 \text{ Frame} = 780 \text{ FPS}$ 라는 수식에서 알 수 있듯이 13 프레임의 간격을 활용하여 6 프레임의 이미지를 사용하고 2장의 좌표값의 평균으로 3장의 보정좌표를 사용하여 칼만필터를 사용하고 서보의 제어 시간 4 ~6ms의 제어시간을 감압하여 예측 좌표지점을 예측, 서보제어를 함으로서 지연시간을 최소화하였다. [Fig. 13]과 같이 실제 실험을 통해 약간의 보정을 하였는데 칼만필터의 예측값이 가끔씩 튀는 현상이 나왔으며 이는 이미지 분석시 오차값에 의한 것으로 칼만필터의 예측 좌표 지점의 값이 이전값과 비교하여 최대값을 넘지 못하도록 필터루틴을 적용하여 급격히 방향을 바꾸는 동작에 대한 개선을 하였다. 칼만필터를 통한 예측 알고리즘의 적용으로 연산 및 제어시간의 레이턴시를 최소화하여 오브제의 움직임과 이동방향을 예측하고, 남은 7프레임 동안 미러 이동시간을 고려하여 서보제어를 통한 오브제에 프로젝션 매핑을 완성하였다.

따라서 기준프레임 60fps 중 한프레임의 동기시간을 기준으로 한다면 영상 레이턴시는 이론상 16 ms의 내에 모든 동작이루어 지고 서보제어시간의 레이턴시는 약 4msec/0.087도 이내 처리 됨을 확인하였다.

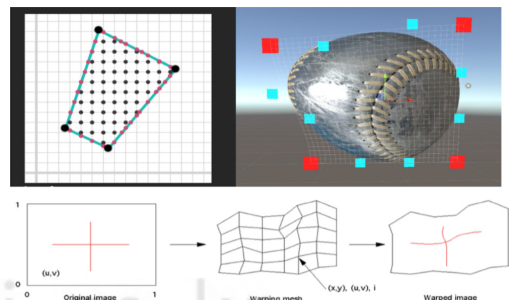


[Fig. 13] Servomotor Control Module processing time



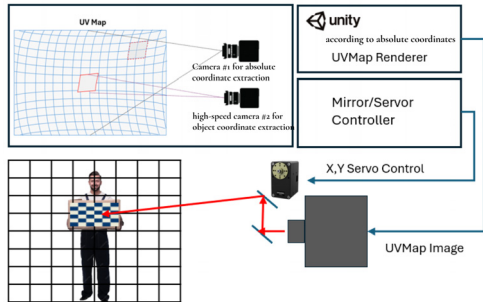
[Fig. 14] Object detection speed measurement and image processing process

또한 [Fig. 14] 와 같이카메라 분석 알고리즘 시간의 최소화 및 분석을 위하여 i7 16G RAM SSD HDD의 미니 PC를 사용하고 OS는 Open CV API를 활용하고 이미지 버퍼를 확보하기위하여 Windows11을 사용하였다. 서보제어는 70rpm의 속도와 12bit 해상도를 가진 서보모터를 사용하여 $360\text{도}/4,096 = 0.08789\text{도}$ 의 분해능으로 제어하는 시스템을 사용하였다. 후후 영상이미지 버퍼와 동기화를 위한 Frame Grabber를 사용하여 이미지 버퍼링의 기능개선을 하면 카메라 인터페이스의 안정화에 도움을 줄수 있을 것으로 사료된다.



[Fig. 15] Real-time Lander of Unity Engine

오브제 좌표분석 데이터와 절대좌표 카메라의 좌표값을 통해 영상 이미지의 UVmap 참조값을 실시간 메쉬 렌더러를 통해 영상이미지를 왜곡하여 프로젝터로 송출하는 구조의 알고리즘을 완성하였다.



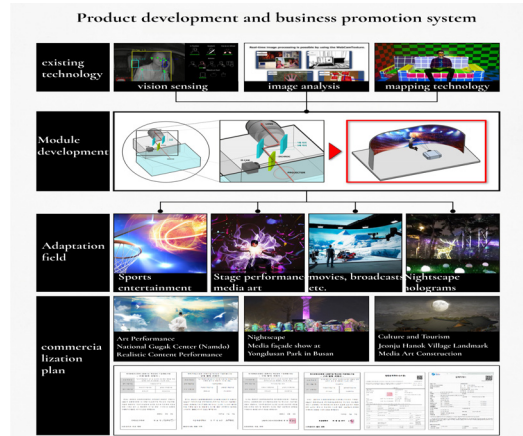
[Fig. 16] Mirror Control and UVmap Operation Scheme

절대좌표 추출을 통한 UVMap의 변형은 [Fig.15]와 같이 Unity 의 실시간 렌더러를 통해 프로젝터화면으로 투사하고, [Fig. 16]과 같이 오브제의 실시간 좌표추출을 위한 고속카메라의 좌표값으로 서보미러를 제어하여 실시간 매핑이 이루어지도록 본 프로젝트를 완성하였다.

4. 결론

테마파크, 전시공연, 메가 이벤트 등에 사용하고 있는 동적 프로젝션 매핑 기술은 아직도 국외 기술에 의존하고 있다. 국산화 기술 개발이 매우 시급한 상황이고 특히 대중화를 위한 가격도 고려되어야 한다. 본 연구는 해외 고가의 장비를 국산화하여 수입대체 효과를 누리고 기반 기술을 활용하여 다양한 산업에 접목 가능하다. 머신러닝 기반 기술을 적용하여 영상분석 속도 향상과 레이턴시 최소화 가능하며, 동적으로 움직이는 피사체 카메라 시점과 프로젝션 포커싱 시점을 동일하게 적용하여 오브제 매핑분석 시간을 단축하고 효과적인 콘텐츠 투사가 가능해졌다. 기존 프로젝트에 모듈만을 추가하여 기술 구현이 가능한 범용 모듈화 제품을 제작함으로써 프로젝트 브랜드별로 상이한 렌즈 사이즈에 제한받지 않고 다양한 제조사와 모델에 적용이 가능하여 비용절감 효과까지 가능하다. 프로젝션 매핑을 활용한 실시간 매핑 솔루션 및 기능으로는 관람객이 참여할 수 있는 실감형 매체를 제작하기 용이하며, 전시 무대 공연장에 재사용이 가능하고 이펙트에 관한 구성과 확장이 가능한 시스템의

도입으로 기존 조명과는 다르게 고정된 시나리오가 아닌 즉흥적인 연기나 돌발상황에도 적용하기 용이해졌다.



[Fig. 17] Dynamic Projection Mapping Technology Development Diagram

본 연구로 개발된 기술과 시스템은 문화콘텐츠만이 아니라 스포츠, 엔터테인먼트 등 다양한 산업에 확산이 가능하다. 본 기술을 고도화하여 대중화를 앞당기고 질 좋은 콘텐츠로 제작하여 산업분야에 기여를 하고자한다.

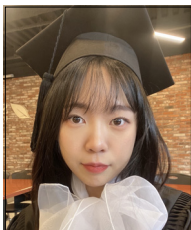
REFERENCES

- [1] W.Ali., S.Abelkarim., M.Zidan., M.Zahran., & A. El Sallab. "Yolo3d: End-to-end real-time 3d oriented object bounding box detection from lidar point cloud." Proceedings of the European conference on computer vision (ECCV) workshops. vol.11131, pp.716-728, 2018.
- [2] C.Siegl., M.Colaiani, L.Thies, J.Thies, M.Zollhöfer, S. Izadi, F.Bauer, "Real-time pixel luminance optimization for dynamic multi-projection mapping". ACM Transactions on Graphics (TOG), Vol.34, No.6, pp.1-11. 2015.
- [3] J.Lee, S.Lee, Y.Kim, J Noh, "ScreenX: Public immersive theatres with uniform movie viewing experiences". IEEE transactions on visualization and computer graphics, Vol.23, No.2, pp.1124-1138. 2016.
- [4] M.R.Mine, J.Van Baar, A. Grundhofer., D. Rose, B. Yang. "Projection-based augmented reality in disney theme parks". Computer, Vol.45, No.7, pp.32-40. 2012.
- [5] A.Grundhöfer., & D.Iwai, "Recent advances in projection mapping algorithms, hardware and applications". In Computer graphics forum Vol. 37, No. 2, pp. 653-675. 2018.
- [6] C.Portalés, P.Casanova-Salas.,S. Casas., J. Gimeno, M.

Fernández. "An interactive cameraless projector calibration method". Virtual Reality, Vol.24, pp. 109-121. 2020

- [7] R.Raskar, G.Welch., K.L.Low, D. Bandyopadhyay, "Shader lamps: Animating real objects with image-based illumination". Rendering Techniques, pp.89-102, 2001.
- [8] D.Bandyopadhyay, R.Raskar, H.Fuchs, "Dynamic shader lamps: Painting on movable objects". In Proceedings IEEE and ACM International Symposium on Augmented Reality pp. 207-216. 2001.
- [9] O.Bimbe, R.Raskar., "Spatial augmented reality: merging real and virtual worlds". CRC press. 2005.
- [10] R.Raskar, M.S.Brown, R.Yang, W.C.Chen, G.Welch, H. Towles, H.Fuchs, "Multi-projector displays using camera-based registration". In Proceedings Visualization'99 pp. 161-522. IEEE. 1999.
- [11] J.Lee, Y.Kim, S.Lee, B.Kim, J.Noh, "High-quality depth estimation using an exemplar 3d model for stereo conversion". IEEE transactions on visualization and computer graphics, Vol.21, No.7, pp.835-847, 2015.
- [12] E.Marchand, H.Uchiyama, F.Spindler, "Pose Estimation for Augmented Reality: A Hands-On Survey," IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, vol.22, no.12, pp. 2633-2651, 2016.
- [13] S.Yamazaki, M.Mochimaru, T.Kanade, "Simultaneous self-calibration of a projector and a camera using structured light". In CVPR 2011 WORKSHOPS. pp. 60-67. 2011.
- [14] S.Willi, A.Grundhöfer, "Robust geometric self-calibration of generic multi-projector camera systems". In 2017 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR) pp. 42-51. 2017.
- [15] M.A.Tehrani, M.Gopi, A.Majumder., "Automated geometric registration for multi-projector displays on arbitrary 3D shapes using uncalibrated devices". IEEE transactions on visualization and computer graphics, Vol.27, No.4, pp.2265-2279, 2019.

안 서 영(Seo-young Ahn) [정회원]



- 2023년 2월 : 서경대학교 대학원 디자인학과 (디자인학사)
- 2024년 2월 : 서경대학교 대학원 디자인학과 (석사 재학중)

<관심분야>
사물인터넷, 정보통신, 서비스디자인, 영상

서 범 석(Bum-Suk SEO) [정회원]



- 1992년 2월 : 호서대학교 전자공학과
- 2002년 5월 : 대우통신 종합연구소 (선임연구원)
- 2012년 1월 ~ 2013년 10월 : ㈜티원시스템즈 사업부 이사
- 2015년 10월 ~ 현재 : 다스콘대표이사

<관심분야>
사물인터넷, 정보통신, 미디어 아트, 테마파크

홍 성 대(Sung-Dae Hong) [정회원]



- 2004년 8월 : 중앙대학교 첨단영상대학원(예술공학전공 석사)
- 2008년 8월 : 중앙대학교 첨단영상대학원(예술공학전공 박사)
- 2008년 9월 ~ 2009년 9월 : 중앙대학교 문화기술연구소전임연구원
- 2009년 8월 ~ 2012년 2월 : 숭실대학교 미디어학부 연구교수
- 2012년 3월 ~ 현재 : 서경대학교 디자인학부 교수

<관심분야>
사물인터넷, 정보통신, 미디어아트, 서비스디자인, 영상