

실감형 콘텐츠를 위한 프로젝션 매핑 기술과 응용

(Recent Trends and Applications of Projection Mapping Technology for Immersive Contents)

신춘성*, 이영호**, 조영준***, 윤효석****

(Choonsung Shin, Yongho Lee, Yeong-Jun Cho, Hyoseok Yoon)

요약

프로젝션 매핑(Projection mapping) 기술은 미디어파사드 몰입형 미디어아트 등 실감형 콘텐츠를 실현하기 위한 핵심기술로 꾸준히 연구되고 있다. 하지만 프로젝션 매핑을 위한 하드웨어, 소프트웨어 및 콘텐츠 특성에 대한 종합적인 분석과 기술 발전에 따라 이를 개선하기 위한 방향에 대한 논의가 부족한 실정이다. 본 논문은 실감형 콘텐츠를 위한 프로젝션 매핑의 개념과 이를 바탕으로 한 소프트웨어와 하드웨어 주요 기술을 조사한다. 또한 프로젝션 매핑 기술로 구현된 국내외 몰입형 미디어아트, 미디어파사드 등 다양한 실감콘텐츠 사례를 살펴보고 특성을 분석한다. 그리고 이를 바탕으로 미래형 실감형 콘텐츠를 위해 프로젝션 매핑 기술이 나아가야 할 방향을 제시한다. 이에 본 논문은 프로젝션 매핑기술과 응용을 살펴봄으로써 향후 실감콘텐츠를 위한 연구 및 개발 방향을 수립하는 데 유용한 역할을 할 것으로 기대된다.

■ 중심어 : 프로젝션 매핑 ; 실감형 콘텐츠 ; 미디어아트 ; 미디어파사드

Abstract

Projection mapping technology is a key technology for realizing immersive content such as media facades and immersive media art, and has been continuously researched. However, there has been a lack of comprehensive analysis on the hardware, software, and content characteristics for projection mapping, as well as discussions on how to improve these aspects in line with technological advancements. This paper investigates the concept of projection mapping for immersive content, as well as the software technologies, key hardware technologies, and integrated tools based on this concept. It also examines and analyzes various immersive content cases, including domestic and international media art and media facades, implemented using projection mapping technology. Based on this, the paper suggests the direction in which projection mapping technology should progress for future immersive content. This paper is expected to be useful in establishing research and development directions for immersive content by exploring projection mapping technology and its applications.

■ keywords : projection mapping ; immersive contents ; media art ; media facade

I. 서론

프로젝션 매핑(Projection mapping)은 현실공간이나 대상물 표면의 기하학 특징을 인식하고 가상의 정보를 융합하는 기술로, 현실 공간과 대

상이 융합된 실감형 콘텐츠를 실현하는데 있어 중요한 역할을 하고 있다. 초창기 프로젝션 매핑은 현실 대상물의 특성에 맞게 미리 적절하게 제작된 영상을 투사하는 방식으로 콘텐츠가 제작되면서 시작되었다[1]. 이후 공간형 증강현실(Spatial augmented reality)로써 본격적인 연

* 정회원, 전남대학교 문화전문대학원

** 정회원, 국립목포대학교 컴퓨터공학과

*** 정회원, 전남대학교 소프트웨어공학과

**** 정회원, 한신대학교 AI·SW대학

본 논문은 2023년도 전남대학교의 학술연구비 지원에 의하여 수행된 연구임 (No. 2023-1156-01).

접수일자 : 2024년 12월 12일

게재확정일 : 2025년 03월 31일

수정일자 : 1차 2025년 02월 02일, 2차 2025년 03월 17일

교신저자 : 윤효석 e-mail : hyoon@hs.ac.kr

구가 시작되면서 대상물의 기하학 특징을 인식하고, 관련된 영상을 정합하고 투사면서 더욱 자연스럽고 실감나는 프로젝션 매핑을 실현할 수 있었다[2]. 더 나아가 프로젝터 하드웨어의 성능 고도화와 프로젝션 매핑 설정을 도와주는 소프트웨어 도구들이 개발됨에 따라 다양한 프로젝션 매핑 콘텐츠를 더 간편하게 연출할 수 있게 되었다. 이 결과 건물 외벽을 활용한 고정된 형태의 미디어파사드(Media façades)뿐만 아니라 실내 벽이나 대상물을 활용하는 몰입형 미디어 아트를 실현할 수 있었다. 더 나아가 이동하고 변형이 되는 대상을 실시간으로 인식 및 추적함으로써 고품질 시각화와 함께 인터랙티브한 실감콘텐츠를 가능하게 하였다[11]. 이에 프로젝션 매핑 기술의 발전은 다양한 형태의 프로젝션 매핑과 함께 더욱 품질 높은 실감형 콘텐츠 제작에 있어 핵심적인 역할을 할 것으로 예상된다.

하지만 실감형 콘텐츠를 위한 프로젝션 매핑을 처리하기 위한 주요기술에 대한 국내외 동향 분석과 향후 방향에 대한 논의가 부족한 실정이다. 최근 평면적 특성을 넘어 3D 객체의 다면적 특성과 재질을 반영하는 연구가 진행되고 있지만 더욱 정밀하고[12], 변형가능한 객체에 관한 기술도 더욱 중요해지고 있다[17]. 또한 실감형 콘텐츠를 위해 요구되는 기술이 다양해지고 있어 상호작용과 융합적 측면에서 프로젝션 매핑기술 고도화에 대한 요구가 증가하고 있다[39]. 더 나아가 다양한 형태의 프로젝션 매핑 콘텐츠가 대상지에 특화되어 있어 콘텐츠 재활용과 확장에 어려움이 있는데, 제작과 신속한 변형과정에서 인공지능의 역할이 대두되고 있다[42, 43]. 이에 그간 프로젝션 매핑을 실현하기 위해 연구된 핵심기술의 특징과 한계점을 분석하고 관련 국내외 다양한 실감형 콘텐츠를 살펴봄으로써 향후 프로젝션 매핑 기술과 실감형 콘텐츠의 고도화 방향을 조망하는 것이 매우 적절한 시점이다.

이에 본 논문은 그간 진행되고 있는 프로젝션 매핑을 위한 프로젝터 보정, 이동 객체 추적 및 매핑, 프로젝터 하드웨어 기술의 특성을 살펴본

다. 이를 위해서 Google Scholar를 토대로 최근 연구 및 인용지수가 높은 논문을 선택하고 분석하였으며, 상용화된 대표적인 프로젝션 매핑 도구의 주요기능과 특성을 비교하였다. 또한 프로젝션 매핑기술을 바탕으로 적용되고 있는 국내외 대표적인 실감형 콘텐츠 사례를 선정하고, 프로젝션 매핑기술 적용 특성을 살펴본다. 마지막으로 최근 프로젝션 매핑 기술의 도전적인 과제와 함께 콘텐츠 생성 및 처리에 요구되는 생성형 인공지능과 상호작용 기술과의 융합 방안을 논의한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 먼저 2장에서는 프로젝션 매핑을 위한 핵심기술과 관련 도구를 분석하고, 3장에서는 프로젝션 매핑 기반의 다양한 실감형 콘텐츠를 살펴본다. 4장에서는 향후 프로젝션 매핑 기술과 콘텐츠의 방향을 제시하고 5장에서는 결론을 맺는다.

II. 프로젝션 매핑 기술

1. 프로젝션 매핑 SW 기술

가. 프로젝터 보정 기술

프로젝터 보정(Calibration)은 대상 영상을 대상 영역에 정확하고 자연스럽게 투사 혹은 정합하기 위해 프로젝터가 갖고 있는 투사 대상, 색상, 밝기, 명암비, 해상도 등을 알아내기 위해 필수적인 작업이다[1]. 프로젝터의 기하학적 보정을 위한 방법으로 영상 기반 보정 방법, 카메라와 프로젝터가 결합된 방식 및 사전 교정된 카메라를 이용하는 구조광 방식(Structured light) 방법이 있다. 먼저 Zhang 방법은 일반적인 영상처리에서 카메라 파라미터를 보정하는 방식으로 정해진 평면 패턴에 대한 최소 2장의 카메라 영상을 활용해 카메라의 내외부 파라미터를 추정하는 방식이다[3]. 이 방식은 보정과정을 통해 초점거리, 렌즈 왜곡 등 카메라의 내부 파라미터(Intrinsic parameters)와 위치, 방향 등 외부 파라미터(Extrinsic parameters)를 계산한다. 또한 이 방법을 확장하면 한 패턴을 중심으로 배치된 다수의 프로젝터 간의 기하학 관계를 알아낼 수

있다.

이와는 달리 Procams 방법은 프로젝터-카메라 시스템을 사용하여 프로젝션 매핑을 위해 피사체의 기하학적 왜곡을 자동으로 보정하는 기술이다[2, 4]. 이 방법은 프로젝터를 이용하여 물체에 보정 패턴을 투사하고, 카메라를 이용하여 이 패턴을 촬영한다. 이후 촬영된 사진을 분석하여 물체의 왜곡을 보정하기 위한 파라미터를 추정한다. 그리고 얻은 결과를 다시 프로젝터 영상에 적용하면 평평하지 않은 물체에 투영된 이미지를 올바르게 볼 수 있다. 프로젝터가 투사하는 보정 패턴은 미리 정의된 체커보드나 점 패턴 모양이다. 이를 촬영한 사진은 파라미터를 추정하기 위한 알고리즘에 입력되어 프로젝터의 내부 파라미터와 외부 파라미터를 추정하는데 사용된다. 마지막으로 구조광 방식은 구조화된 패턴을 대상물 및 구조물에 투사하고 투사된 영상과 패턴 간의 기하학적 매핑 관계를 모델링하는 방식이다[6]. 투사되는 구조광은 각 영역에 대한 특정 코드가 포함되어 있어 고정된 형태의 객체나 표면에 대한 기하학 특성을 인식하고 모델링하는데 용이한 방식이다. 최근에는 프로젝터 보정에 딥러닝을 활용하는 방식이 제안되었다. ViComp은 딥러닝 기반의 보상 모델을 통해 프로젝션된 비디오 프레임의 기하학적 왜곡을 실시간으로 보정하는 방식이며, 이를 위해 다섯 개의 스테드를 통해 동시에 보상, 투사, 캡처 및 모델 갱신을 수행하였다[5].

프로젝션 매핑에서 투사되는 영상과 대상영역의 표면과의 자연스러움을 위해 투사 영상의 컬러 및 광도 개선이 중요하다. 이를 위해서 투사될 입력영상과 투사된 영상 간의 차이를 계산하고 이 간격을 줄이기 위한 방법이 연구되고 있다[7]. 또한 투사되는 영상의 사실감을 높이기 위하여 3D표면의 질감과 가림현상을 개선하기 위한 연구가 수행되었다. MIDAS 프로젝션 시스템은 마커가 없는 방식으로 재질에 대한 특성을 반영하기 위해 3D 객체의 재질을 효과적으로 고속 투사하였다[8]. 또한 밝은 환경에서의 프로젝션 맵핑

은 주변 조명에 의해 대조도(Contrast ratio)가 저하되는 문제를 겪게 되고 자연스러움이 부족한 시각 경험으로 이어진다. 이런 문제를 해결하기 위해 Mixed Light Field를 사용하여 제어가능한 주변 조명을 통합하는 방법으로 효과적인 대조도를 유지하여 밝은 환경에서의 공간형 프로젝션 체험을 가능하게 하였다[9].

나. 이동 및 변형 객체 매핑 기술

대상이 고정된 프로젝션 매핑을 넘어 대상 객체의 위치 이동과 형태 변형에 따른 프로젝션 기술이 개발되어 왔다. 투사 대상이 이동 객체인 경우 초기 보정된 프로젝터의 내부 파라미터는 변하지 않지만 객체의 이동에 따른 외부 파라미터가 실시간으로 갱신되어야 하며, 객체의 변형은 기하학 구조가 변경되는 특성이 있어 프로젝션을 더욱 어렵게 만든다. 초기에는 간편한 시각적 마커나 IR 마커를 활용하여 객체를 추적하는 방식으로 실시간으로 캘리브레이션을 수행하였다[4]. 이후 형태가 변할 수 있는 비강체(Non-rigidity body)를 대상으로 실시간 매핑을 위한 Deformable Dot Cluster Marker 활용에 대한 연구가 진행되었다[10, 11]. 이 방식은 마커를 활용하므로 형태가 변하지 않는 객체에 대한 빠른 매핑이 가능한 장점이 있다. 더 나아가 빠르게 이동하는 신체를 인식하고 영상을 투사하는 방식이 제안되었다. 2017년 도쿄대학은 고속 카메라와 디지털 프로젝터를 활용하여 신체, 옷 등 변형되는 객체에 영상투사를 가능하게 하였다[11]. 이 방법은 8 bits 이미지를 1000fps 속도로 영상을 투사할 수 있으며, 신체, 얼굴, 옷과 같은 변형체의 움직임에도 정밀하게 영상투사가 가능했다. 하지만 여전히 마커 이용에 따라 빠르다는 장점이 있지만, 활용가능한 대상 객체가 매우 제한적인 단점이 있다. 이를 개선하기 위해 마커 없이 사용하는 방식으로 대상 객체와 윤곽을 추적해내는 방법이 제안되었다[12,13].

또한 보다 정교하고 정확한 투사면(윤곽)을 인식하고 추적하기 위해 깊이 정보를 활용해 보정하는 연구가 진행되었다. Pmomo는 움직이는 객

체에 프로젝션 매핑을 위해 6-DOF 위치 추적 기능을 제공하며, 복잡한 형상을 가진 객체에도 실시간으로 정확하게 프로젝션을 고정할 수 있도록 깊이 카메라 기반의 추적 방법을 사용하고 있다 [14]. 이와 유사하게 OtiSpace는 깊이 카메라를 바탕으로 3차원 공간에 투사하고 상호작용이 가능하게 하였다[15]. 신축성 있는 재료에 동적으로 매핑하기 위해 프로젝션 표면을 B-Spline 패치를 사용하여 모델링하고 경계면 기반 추적 (Boundary-based tracking)을 통해 복잡한 최적화 계산 없이 변형 재료의 경계를 추적하여 적응형 프로젝션이 가능함을 보였다[16]. 추가로 이동과 변형이 모두 가능한 객체를 대상으로 추적과 매핑에 대한 방법이 제안되었는데, Casper DPM(Cascaded perceptual dynamic projection mapping)은 빠른 추적 및 투사 방법으로 손의 위치와 변형된 형태를 3차원으로 추적하고 3D 정보를 빠르게 정합하였다[17].

프로젝션 매핑을 위한 소프트웨어 기술은 객체나 평면에 대한 기본적인 보정에서 시작하였지만, 더 복잡한 객체를 위한 기술과 객체의 텍스처를 고려한 컬러보정을 위한 기술이 개발되면서 한층 더 고도화되고 있음을 알 수 있다. 또한 이동하거나 변형가능한 객체를 위한 인식추적과 매핑기술 발전은 사람을 포함해 보다 다양한 객체를 대상으로 실감형 콘텐츠를 실현하는데 유용한 기술로 발전하고 있음을 알 수 있다.

2. 프로젝션 매핑 HW 기술

프로젝션 매핑을 위해서는 영상을 투사하는 빔 프로젝터의 역할이 매우 중요하다. 빔 프로젝터는 투사방식, 광원, 해상도, 밝기, 속도, 초점거리, 명암비, 자동 키스톤(Auto keystone) 등의 특성을 가지며 설치 환경에 따라 투사된 영상 품질에 영향을 준다. 투사방식은 디스플레이 소자에 따라 LCD(Liquid-crystal display), DLP(Digital light processing) 방식으로 구분되며 광원에 따라 LED 및 레이저로 세부 구분된다. 해상도는 투사되는 영상의 해상도로 XVGA(1024x768), Full

HD(1920x1080), 4K (3840 × 2160) 등으로 구분된다. 밝기는 프로젝터의 밝기로 미국 국립 표준 협회(ANSI)에서 제안한 안시루멘(ANSI Lumens)으로 표현되는데 투사된 화면을 균등하게 9개 세부 영역을 나누고 나눈 영역들의 루멘 평균값을 계산한 방식이다. 주변 조명환경이 있으면 높은 밝기의 프로젝터가 요구되는데 실내 환경에 요구되는 조도에 따라 일반적으로 실내는 3000 안시루멘, 실외는 3000 안시루멘 이상이 필요하다. 초점은 프로젝터에서 화면이 투사되는 거리이며 초점거리가 멀면 충분한 거리가 필요하다. 보통 프로젝터 설치에 요구되는 투사면과의 거리를 고려하면 초단초점은 가까운 50cm 이내, 단초점은 50~1m 사이, 일반형은 2~4m의 초점거리로 구분될 수 있다. 추가로 최근에는 프로젝터에 포함되어 평면형 투사면에 대해 화면의 왜곡을 자동으로 설정하는 자동 키스톤 기능이 포함되어 있다.

대부분의 프로젝터는 실내에 일반적인 콘텐츠 적용이 가능하지만, 빠른 움직임에 따른 고속 프로젝션과 그림자 등 실감적 표현을 향상하기 위한 기술이 개발되고 있다. 도쿄대학은 1000fps 정도의 투사가 가능한 레이저 프로젝터를 개발하였다[11]. 이 고속 프로젝터는 영상추적을 위한 카메라와 함께 활용됨으로써 빠르게 이동하고 변형이 가능한 객체를 추적하고 영상을 투사하여 프로젝션 매핑을 가능하게 하였다. 또한 프로젝션 상황에서 사용자 상호작용에 따라 발생하는 그림자(Shadow)를 개선하는 방법이 제안되었다[18]. 이를 위해 프로젝션 매핑 시스템에서 사용자와 투사된 콘텐츠 간의 상호작용 경험을 향상시키기 위해 미세 거울 배열 판, 프로젝터, 적외선 LEDs, 적외선 카메라로 하드웨어를 구성하여 그림자가 없는(Shadowless) 프로젝션을 지원하고 있다. 이 방법은 프로젝터의 영상을 여러 방향으로 투사함으로써 손에 의한 그림자가 발생하더라도 해당 부분에 영상이 투사될 수 있도록 프로젝터의 내부 광학구조를 개선하였다. 이를 위해 여러 대의 프로젝터로 환경 조명을 모방하여 고품질의 명암

과 사실감을 제공할 수 있도록 계산하여 영상을 투사함으로써 기존의 어두운 환경에서만 가능했던 한계를 극복할 수 있었다[19].

프로젝션 매핑 기술은 프로젝터를 바탕으로 발전하면서 기능이 통합되고 고도화되고 있음을 알 수 있다. 특히 프로젝션 매핑을 위한 해상도, 투사속도, 평면 보정, 컬러보정 등의 주요기능이 고도화되고 통합적으로 지원되고 있다. 반면 고속 투사, 카메라에 대한 처리 및 그림자 처리 등의 비교적 최근 기술은 기능적으로 유용하지만 여전히 개발초기 단계에 머무르고 있고 프로젝터의 내부 기능으로 포함되기에는 통합적인 어려움이 있다.

III. 프로젝션 매핑 응용

프로젝션 매핑 기술은 주로 엔터테인먼트와 몰입형 사무실에서 시작해 실내외 미디어아트 등 전시공연으로 확대되고 있다. 가장 최초의 응용은 1968년에 개장한 디즈니랜드 매직 킹덤의 ‘유령의 집’에 제작된 Singing Five Busts로, 그림 1과 같이 5개의 흉상에 16mm 필름으로 제작된 영상을 투사하여 살아 있는 유령을 재현하였다[20]. 고정된 투사를 넘어 움직이는 형태의 콘텐츠가 전시되었는데, Displacements는 회전하는 프로젝터를 바탕으로 필름영상을 벽면에 투사하였으며 그림 2와 같이 공간과 대상물과 연관된 사람의 모습을 기억 및 재현하였다[21].



그림 1 Five singing buds, Haunted Mansion ride in Disneyland, 1969



그림 2 Displacement, 1980, Michael Naimark

UNC Chapel Hill은 다수의 카메라와 프로젝터를 활용해 원격지 사무실을 연결하여 몰입형 미래형 사무실 환경을 구축하였다[22]. 그림 3과 같이 제안한 사무실 환경은 벽에 투사되는 영상이 없으면 일반적인 사무실이지만 천장에 설치된 프로젝터를 통해 원격지 영상이 벽면에 자연스럽게 투사되면서 연결된 사무실이 구성된다. 프로젝션 매핑을 통해 생성된 사무실은 원격지 사무실이 서로 공유되면서 형성되는 공간으로 참여자 간의 협업이 가능한 미래형 사무실로 주목을 받았다.



그림 3 The office of the future: (좌) 개념설계도, (우) 구현된 프로토타입

또한 UNC Chapel Hill은 미니어처로 제작된 건축물에 영상을 테이블탑 프로젝션 시스템을 개발하였다[23, 24]. 그림 4(좌)와 같이 Shader Lamp는 미니어처로 축소 제작된 건축물 표면의 기하학 정보를 인식하고, 이를 바탕으로 객체에 관련된 영상을 입체적으로 투사 및 융합하였다.



그림 4 Shader Lamp (좌) Information displays(우)

Bauhaus University Weimar 대학은 전시된 회화에 추가로 영상을 투사하여 다각적인 모습을 관찰할 수 있는 프로젝션형 디스플레이를 구현하였다[25, 26]. 그림 4(우)와 같이 제안한 시스템은 먼저 기본 스케치된 회화가 전시가 시작되고, 이후 고정된 프로젝터를 통해 객체 표면에 투사되는 영상에 따라 회화전시의 증강된 모습을 연출하였다. 특정 영역에 대해 증강된 모습으로 원

작품에 대한 부분적 확대된 모습, 채색되는 모습을 재현하였다.

이후 다수의 프로젝터를 바탕으로 한 몰입형 미디어아트에 관한 관심이 증가하였다. 2011년에는 프랑스 남부도시 레보드프로방스에 버려져 있던 채석장을 개조하여 몰입형 전시공간인 ‘빛의 채석장(Carières des Lumières)’이 공개되었다[27]. 이 프로젝트는 이안누치 감독이 주도하였는데, 그림 5(좌)처럼 유희공간인 넓은 채석장을 몰입형 미디어 경험을 제공하기 위해 수백여대의 프로젝터와 음향 장치를 활용되었으며, 디지털 미디어아트 작품으로 고희, 모네, 샤갈 등 유명한 작품이 전시되었다. 이후 몰입형 미디어아트는 2018년에 파리의 넓은 철제 구조물 공장을 활용한 ‘빛의 아틀리에’, 2020년 잠수함 기지를 활용한 ‘빛의 수조’로 이어졌으며, 2019년에는 제주도에 방치된 국가통신시설을 개조하여 개관한 ‘빛의 병커’에도 영향을 주었다.



그림 5 빛의 채석장(좌) WDCH Dreams(우)

더 나아가 실내 환경을 넘어 건물 외벽에 영상을 투사하는 미디어파사드 콘텐츠 제작이 증가하였다. 미디어파사드는 뉴욕의 타임스퀘어에 대형광고판으로 출발하였으며, 뉴욕의 구겐하임 미술관, 디즈니홀에서 연출되었다. 2018년 LA Philharmonic과 전문 미디어 아티스트인 Refik Anadol과 협력하여 LA Phil 아카이브 데이터를 활용하여 Walt Disney Concert Hall(WDCH)에 Dreams이라는 미디어파사드를 연출하였다[28]. 그림 5(좌)에서처럼, 이 연출에서는 45 테라바이트나 되는 방대한 양의 오디오, 비디오, 이미지 데이터를 처리하기 위해 기계학습과 심층신경망 알고리즘이 활용되었다.

국내에는 2004년 압구정동 갤러리아백화점이 최

초로 시작하였다[29]. 이후 2013년 문화재청과 한국문화재보호재단은 광화문과 주변 담장을 활용해 ‘광화문 빛 너울’이라는 제목으로 미디어파사드를 시작하였다[30]. 문화재청은 2016년 창경궁 석조전에서 ‘석조전, 낭만을 상상하다’를 주제로 미디어파사드를 공연하였다[31]. 2019년 서울시는 서울라이트 행사로 Refik Anadol과 함께 동대문디자인프라자(DDP)의 외벽에 ‘서울 해몽’을 주제로 한 미디어파사드를 연출하여 주목을 받았으며, 이후 매년 서울라이트쇼로써 미디어파사드를 진행해 오고 있다[32]. 2020년 국립중앙박물관은 경천사 십층석탑에 기록된 손오공의 모험, 석가모니의 삶 등을 바탕으로 하는 프로젝트 전 매핑 전시를 선보였다[33]. 그림 6은 ‘광화문 빛너울’, ‘석조전, 낭만을 상상하다’ 및 ‘서울 해몽’의 미디어파사드 연출 장면을 살펴볼 수 있다.



(a)



(b)



(c)

그림 6 미디어파사드: (a) 광화문 빛 너울, (b) 석조전, 낭만을 상상하다, (c) 서울 해몽

더 나아가 신체를 인식하고 영상을 투사하는 콘텐츠가 제작되었는데, 그림 7에서처럼 2017년 Nobumichi of Asai, WOW 및 TOKYO Studio가 협력하여 도쿄대학이 개발한 고속 카메라와 디지털 프로젝터를 활용하여 신체, 옷 등 변형되는 객체에 영상을 투사하는 연출을 선보였다. 이후 2017년에는 실시간으로 얼굴을 추적하고 영상을 매핑 및 투사하는 콘텐츠인 INORY-PLAYER를

선보였다[34]. 이후 2019년에는 실시간으로 신체를 추적하고 공연영상이 빠르게 투사되는 Parted 공연이 제작되었다[35, 36]. 그림 7(우)처럼 이 공연에는 프로젝션 매핑 전문가, 공연기획자, 작가가 참여하였으며 배우의 피부에 많은 리플렉터를 부착하여 적외선으로 신체를 빠르게 추적하고 실시간으로 CG 모델을 피부에 변형 및 정합하여 연출하였다.



그림 7 NORI - PRAYER (좌)
Parted, Body Tracking & Projection Mapping(우)

Makeup Lamps는 프로젝터를 활용하여 다양한 라이브 공연에서 실시간으로 얼굴에 영상을 투사 및 증강해 사람의 외모를 변화시키는 얼굴 증강시스템을 제안하였다[37]. 그림 8과 같이 이 시스템은 프로젝션 지연시간을 최소화하고, 딥러닝 및 카메라 기술을 이용해 얼굴의 움직임에 따른 정확한 표현과 화장품 시술과 같은 응용에 활용될 수 있는 잠재력을 가지고 있다.

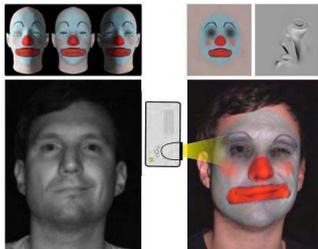


그림 8 Makeup Lamps를 통한 얼굴 증강

이외에도 개인간 거리와 밀도에 따라 바닥 프로젝션 피드백을 제공하여 신경적 발달장애가 있는 학생들이 신체활동에 참여할 수 있는 상호작용형 바닥 프로젝션 시스템도 구현되었다[38]. 그림 9와 같이 천장에 설치된 다수의 프로젝터가 학생들의 위치와 움직임을 실시간으로 추적하고 이를 바탕으로 개인별 혹은 인접 학생들 간의 신체적 상호작용을 유발하여 발달장애를 극복하기 위한 활동을 지원하였다.

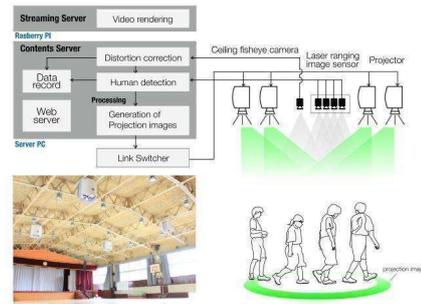


그림 9 상호작용형 바닥 프로젝션 시스템

작은 생명체(누에, 고슴도치, 버섯)로의 투사를 통해 동물과 식물을 대상으로 동적 프로젝션 매핑과 제어가능한 효과 애니메이션이 가능함을 보여주는 "bioluminescent life"라는 비디오 프로젝트도 소개되었다[39]. 그림 10과 같이 이 프로젝트는 큰 객체를 대상으로 하는 기존의 콘텐츠와는 달리 작고 비정형 객체를 대상으로 더욱 세밀한 콘텐츠 연출이 가능했다.



그림 10 bioluminescent life

이상 대표적인 프로젝션 매핑 기반의 실감형 콘텐츠를 분석해 보면 표 1과 같다. 먼저 프로젝션 매핑을 통해 생성 및 확장가능한 콘텐츠의 범위가 늘어남을 알 수 있다. 기존에는 한정적인 객체와 공간을 대상으로 하였다면 이제는 이동하는 객체, 작은 객체를 대상으로 확장되면서 콘텐츠의 수준이 높아지고 있음을 알 수 있다. 또한 실시간 상호작용에 대한 관심이 증대됨에 따라 이용자 혹은 관람자들이 보다 능동적으로 참여하거나 사회적 참여가 가능한 콘텐츠에 대한 시도가 늘어나고 있다.

그럼에도 프로젝션 매핑 기반의 실감형 콘텐츠 제작과 전달에 있어 한계가 있다. 먼저 콘텐츠 실감형 콘텐츠를 위해서는 프로젝션 매핑 기술의 지원이 매우 중요함에도 프로젝터나 프로젝션 매핑도구의 제한적인 기능만을 활용해야 하므로 연출되는 대상과 방법, 상호작용 방법이 때

우 제한적이다. 또한 콘텐츠 제작과정에서 자동화된 생성과 특성에 맞는 변환에서 기존의 3D 제작도구에 의존성이 높다. 더 나아가 기존에 제작된 콘텐츠가 있음에도 대상과 목적에 따른 재사용에 대한 접근이 부족함을 알 수 있다.

표 1 프로젝트 매핑 기반 실감형 콘텐츠 특성

	투사 대상	다중 감각 자극	렌더링 (비디오, 실시간)	상호작용 유형 (수동적, 능동적, 사회적)	콘텐츠 유형 (스토리텔링, 엔터테인먼트, 예술, 교육, 의료)
21	홍상	사운드	비디오	X	엔터테인먼트
22	다중벽면	사운드	비디오	X	교육/의료
23	다중벽면	사운드	비디오	능동적	엔터테인먼트
24,25	미니어처	X	비디오	X	교육/의료
26,27	벽면	사운드	비디오	X	스토리텔링
28	다중내벽	사운드	비디오	X	예술/광고마케팅
29	다중외벽	사운드	비디오	X	예술/광고마케팅
30	다중외벽	X	비디오	X	예술/광고마케팅
31	다중외벽	사운드	비디오	X	예술/광고마케팅
32	다중외벽	사운드	비디오	X	예술/광고마케팅
33	다중외벽	사운드	비디오	X	예술/광고마케팅
34	다중외벽	사운드	비디오	X	예술/광고마케팅
35	다중외벽	사운드	비디오	X	예술/광고마케팅
36,37	얼굴	사운드	실시간	능동적	예술/엔터테인먼트
38	얼굴	사운드	비디오	능동적	예술/광고마케팅
39	신체	사운드	실시간	사회적	교육/의료
40	다중객체	사운드	실시간	능동적	교육/엔터테인먼트

IV. 프로젝트 매핑의 미래방향

1. 고속 프로젝트 매핑 기술

고정된 대상을 넘어 이동하고 변형하는 객체에 정확한 매핑을 위해서는 고속 프로젝트 매핑 기술이 중요하다. 몰입형 미디어아트와 미디어파사드는 프로젝트 대상이 고정된 상황이지만, 향후 대상물의 이동성과 변형성을 활용하면 보다 동적인 연출이 가능하다. 이러한 객체를 인식 및 추적하기 위해서는 빠른 인식/추적 방법과 함께 빠른 빔 투사가 가능한 프로젝터 기술이 중요하다[11]. 고속 프로젝터 기술이 고도화되고 있지만 여전히 초기 단계에 머무르고 있어 사람의 움직임이 포함되는 공연전시나 몰입형 콘텐츠를 위해서는 이동하는 객체의 움직임과 형태 변형에 따른 투사영상 고속화가 중요하다. 추가적으로 프로젝트 매핑의 이동성이 높아진다면 다양한 장소에서 증강된 현실을 연출하여 몰입된 경험을 전달할 수 있다. 이를 위해서는 프로젝터에

카메라가 추가로 결합하고 보다 소형화로 구성되도록 고도화가 되어야 한다.

2. 생성형 AI 기반 콘텐츠 생성 기술

프로젝션 매핑은 3D 대상물이나 환경을 대상으로 하므로 다양한 형상의 표면에 콘텐츠를 자연스럽게 생성하기 위해서는 생성형 AI 기술이 중요하다. 생성형 AI는 이미지, 비디오 및 음향 요소를 텍스트 기반으로 쉽고 빠르게 생성할 수 있다. 생성형 AI와 프로젝트 매핑과의 접목은 상대적으로 초기단계로, 자연어 기반의 프로젝트 콘텐츠 생성이 가능한 CLIPF (Contrastive learning integrated with depth perceptual fusion) 텍스트-이미지 생성기술이 활용될 수 있다[40]. 또한 프로젝트 매핑 대상지를 사전에 영상을 촬영하거나 스캔한 뒤에 기하학 정보를 분석하고, 분석된 3D 정보를 바탕으로 다양한 스타일의 콘텐츠를 생성할 수 있다[41, 42]. Stable Diffusion은 대상지역 영상을 통해 구조를 분석하여 합성하면서 프로젝트 매핑을 사전에 시뮬레이션할 수 있다[43]. 또한 사전에 촬영된 영상에서 신체의 스킴렉톤을 분석하여 영상을 자동으로 생성 및 변형하는 기능을 제공하고 있다. 더 나아가, 기존 영상을 활용하고 다양한 대상지로의 확장을 위해서 기존 영상처리와 변환에 대한 생성형 AI기술이 유용하다. 스타일 변환(Style transformation)은 작가나 미술사조 등에 대한 스타일을 사전에 학습하고 대상 영상에 객체와 배경 특성을 구분하여 합성함으로써 작가의 스타일이나 고전적인 풍을 전달하는 콘텐츠를 생성할 수 있다[44]. 영상 내부 영역에 대한 합성이나 변형인 인페인팅(In-painting)은 객체의 이동이나 촬영시 부족한 부분에 대해 자동으로 채울 수 있다[45]. 더 나아가 기투사되는 영역 대비 기존 영상의 영역이 부족한 경우 외부영역을 유사하게 채우는 아웃페인팅(Out-painting)이 유용하다[46]. 이와 함께 제작된 영상 혹은 생성한 영상의 해상도가 낮은 경우가 많으므로, 목적과 특성에 맞게 콘텐츠 재활용 및 확장하는 데 있어 해상도 향상과

변환을 위한 생성형AI 기술개발도 필요하다[47].

3. 실시간 상호작용 기술

향후 프로젝션 매핑 콘텐츠를 고도화하기 위해 참여하는 개인과 다양한 사람들의 반응을 감지하기 위한 신체 반응 및 행동 인식기술이 필요하다. 무엇보다도 영상처리 기술이 중요한데 이중에서도 MediaPipe와 YOLO는 AI와 머신러닝을 바탕으로 다양한 영상을 처리하는데 효과적인 기술로 활용이 가능하다[48-51]. 또한 Face OSC(Open sound control)는 입력 영상을 대해 얼굴을 인식하고 추적하는 기술로 얼굴 중심의 상호작용을 구성하는데 유용하다[52-53]. 더 나아가 Occupancy Network는 주변 환경과 거리를 인식할 수 있어 공간에서의 상호작용에 유용하다[54]. 또한 사용자들이 착용하는 Watch나 Band 등 웨어러블 기기는 사용자의 심박수나 위치 등을 실시간으로 파악할 수 있어 개인화된 반응을 연출하는 데 활용이 가능하다[55].

V. 결론

본 논문은 실감형 콘텐츠를 실현하는 데 있어 핵심기술인 프로젝션 매핑 기술의 주요 기술 동향을 살펴보고 관련 실감형 콘텐츠 사례와 특성을 분석하였다. 프로젝션 매핑 기술은 프로젝터 보정 기술, 객체 추적 및 정합기술로 통합되어 구성되면서 실감형 콘텐츠를 실현하는 중요한 역할을 해왔다. 특히 최근에는 이동 및 변형 객체에 대한 추적과 정합을 위한 기하학 및 컬러 보정 기술이 중요함을 알 수 있었다. 그리고 프로젝션 매핑 기술을 바탕으로 한 실감형 콘텐츠는 단순한 객체나 고정된 실내외 미디어아트나 미디어파사드가 제작되었으나, 최근에는 신체를 포함한 다양한 객체를 대상으로 상호작용형 콘텐츠로 확장되고 있음을 알 수 있었다. 향후 실감형 콘텐츠를 위한 프로젝션 매핑 기술의 고도화를 위해 프로젝터 기술의 향상, 생성형 AI 기

반 콘텐츠 생성 및 실시간 상호작용 기술의 융합이 필요함을 살펴보았다.

프로젝션 매핑 기술은 관람자들로부터 별도의 장비가 필요하지 않으며, 지역의 다양한 문화유산 및 랜드마크와 연계되어 새로운 예술적 경험 연출이 가능해 향후 그 역할과 활용이 더욱 중요해질 것으로 예상된다. 이에 본 논문에서 조사한 프로젝션 매핑 기술과 응용에 대한 동향 및 방향은 향후 지역과 수요 특성에 적합한 실감형 콘텐츠와 기술개발에 유용하게 활용될 것으로 기대된다.

REFERENCES

- [1] D. Iwai, "Projection mapping technologies: A review of current trends and future directions," *Proc. Japan Academy Series B*, vol. 100, no. 3, pp. 234 - 251, Mar. 2024, doi: 10.2183/pjab.100.012.
- [2] A. Grundhöfer and D. Iwai, "Recent Advances in Projection Mapping Algorithms, Hardware and Applications," *Computer Graphics Forum*, vol. 37, pp. 653-675, 2018. <https://doi.org/10.1111/cgf.13387>
- [3] Z. Zhang, "A flexible new technique for camera calibration," *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 22, No 11, pp 1330 - 1334, 2000.
- [4] C. Xie, H. Shishido, Y. Kameda and I. Kitahara, "A projector calibration method using a mobile camera for projection mapping system," In *2019 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct (ISMAR-Adjunct)*, pp. 261 - 262, 2019.
- [5] M. Sugimoto, D. Iwai, K. Ishida, P. Punpongsanon and K. Sato, "Directionally decomposing structured light for projector calibration," *IEEE Trans. Vis. Comput. Graph.* vol 27, pp. 4161 - 4170, 2021.
- [6] Y. Wang, H. Ling and B. Huang, "ViComp: Video Compensation for Projector-Camera Systems," *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol. 30, no. 5, pp. 2347-2356, May 2024.
- [7] 이문현, 박한훈, 박종일, "컬러 보정의 고속화를 위한 프로젝터-카메라 시스템의 컬러 혼합 성분 제거," *방송공학회논문지*, 제 13권, 6호, 941-950쪽, 2008년
- [8] L. Miyashita, Y. Watanabe, and M. Ishikawa, "MIDAS projection: markerless and modelless dynamic projection mapping for material representation," *ACM Transactions on Graphics*, vol. 37, no. 6, Article 196, Dec. 2018.
- [9] M. Yasui, R. Iwataki, M. Ishikawa, and Y. Watanabe, "Projection Mapping with a Brightly Lit Surrounding Using a Mixed Light Field Approach," *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol. 30, no. 5, pp. 2217-2227, 2024.
- [10] G. Narita, Y. Watanabe, and M. Ishikawa, "Dynamic projection mapping onto a deformable object with occlusion based on high-speed tracking of dot marker array," In *Proceedings of the 21st ACM Symposium on*

- Virtual Reality Software and Technology (VRST '15)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 149-152, 2015. <https://doi.org/10.1145/2821592.2821618>
- [11] G. Narita, Y. Watanabe and M. Ishikawa, "Dynamic Projection Mapping onto Deforming Non-Rigid Surface Using Deformable Dot Cluster Marker," in *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol. 23, no. 3, pp. 1235-1248, 1 March 2017. doi:10.1109/TVCG.2016.2592910
- [12] Y. Halvorson, T. Saito and N. Hashimoto, "Robust tangible projection mapping with multiview contour-based object tracking," In *2022 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops (VRW)*, pp. 756 - 757, 2022.
- [13] P. Kurth, M. Leuschner, M. Stamminger and F. Bauer, "Content-aware brightness solving and error mitigation in large-scale multiprojection mapping," *IEEE Trans. Vis. Comput. Graph.* vol. 28, pp. 3607 - 3617, 2022.
- [14] Y. Zhou, S. Xiao, N. Tang, Z. Wei, and X. Chen, "Pmomo: Projection Mapping on Movable 3D Object," In *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '16)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, pp. 781 - 790. <https://doi.org/10.1145/2858036.2858329>
- [15] A. Fender, P. Herholz, Marc Alexa, and Jörg Müller, "OptiSpace: Automated Placement of Interactive 3D Projection Mapping Content," In *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '18)*, Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, Paper 269, pp. 1 - 11. <https://doi.org/10.1145/3173574.3173843>
- [16] M. T. Ibrahim, A. Majumder, M. Gopi, "Dynamic projection mapping on deformable stretchable materials using boundary tracking," *Computers & Graphics*, vol 103, pp. 61-74, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.cag.2022.01.004>.
- [17] Y. Erell, O. Kozlovsky-Mordenfeldl, D. Iwai, K. Sato, A. H. Bermanol, "Casper DPM: Cascaded Perceptual Dynamic Projection Mapping onto Hands," *SIGGRAPH Asia 2024*, Conference Track.
- [18] K. Hiratani, D. Iwai, Y. Kageyama, P. Punpongsanon, T. Hiraki, and K. Sato, "Shadowless Projection Mapping using Retrotransmissive Optics," *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol. 29, no. 5, pp. 2280-2290, May. 2023.
- [19] M. Takeuchi, H. Kusuyama, D. Iwai and K. Sato, "Projection Mapping under Environmental Lighting by Replacing Room Lights with Heterogeneous Projectors," *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol. 30, no. 5, pp. 2151-2161, May. 2024.
- [20] The Grim Grinning Singing Busts of the Haunted Mansion, <https://www.thedisneyclassics.com/blog/grim> (accessed Dec., 11, 2024).
- [21] M. Naimark, Displacements, <http://www.naimark.net/projects/displacements.html> (accessed Dec., 11, 2024).
- [22] R. Raskar, G. Welch, M. Cutts, A. Lake and L. Stesin, "The office of the future: A unified approach to image-based modeling and spatially immersive displays." *Proceedings of the 25th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*. ACM, 1998.
- [23] R. Raskar, G. Welch, and W.-C. Chen, "Table-top spatially-augmented reality: bringing physical models to life with projected imagery," *Proceedings of the 2nd IEEE and ACM International Workshop on Augmented Reality (IWAR'99)*.
- [24] R. Raskar, G. Welch K. Low and D. Bandyopadhyaya. "Shader lamps: Animating real objects with image-based illumination," *Proceedings of the 12th Eurographics Workshop on Rendering Techniques*, 2001.
- [25] Bimber, Oliver, et al. "Superimposing pictorial artwork with projected imagery", *IEEE MultiMedia*, vol 12, no 1, Jan.-March 2005.
- [26] O. Bimber, A. Emmerling, and T. Klemmer. "Embedded entertainment with smart projectors," *Computer*, vol 38, no 1, 48-55. 2005.
- [27] 임동욱, "빛과 소리의 쇼'를 통한 역사유적의 장소성 극대화," *글로벌문화콘텐츠*, 제23권, 151-171쪽, 2016년
- [28] WDCH Dreams, <https://www.laphil.com/visit/when-youre-here/wdchdreams> (accessed Dec., 11, 2024).
- [29] 오은석, "미디어 파사드와 인터랙티브 아트 인스톨레이션," *방송과 미디어*, 제21권, 제2호, 61-70쪽, 2016년
- [30] '광화문 빛 너울', 국가유산청, https://www.khs.go.kr/multiBbz/selectMultiBbzView.do;jsessionid=LyJUzDFVXXpYI8jppXBBqKjr7slCz3XwzIhSoackSmVuI3zV9I5pXLAbZeIesm.cha-was02_servlet_engine1?id=17882&no=24542&bbzId=newpublic&pageIndex=264&mn=NS_01_01&strWhere=&searchWrd=&sdate=&edate= (accessed Dec., 11, 2024).
- [31] '석조전, 낭만을 상상하다', 국가유산청, https://www.cha.go.kr/newsBbz/selectNewsBbzView.do;jsessionid=XbevX5iJN9JpW3h45fDLDWpX64pWfxgaCoi0CaJkPihy4wyJVmNQd3rIckhqtE.cha-was01_servlet_engine1?newsItemId=155699819§ionId=b_sec_1&pageIndex=271&pageUnit=10&strWhere=&strValue=&sdate=&edate=&category=&mn=NS_01_02 (accessed Dec., 11, 2024).
- [32] '서울 해몽', 서울특별시, <https://seoul.design.or.kr/?menuNo=330&siteNo=1&cate=&boardNo=36&act=view&bbzId=4215> (accessed Dec., 11, 2024).
- [33] '경천사 십층석탑', 국립중앙박물관, https://www.museum.go.kr/site/main/content/digital_realistic_4 (accessed Dec., 11, 2024).
- [34] <http://www.lab.tokyo.jp/> (accessed Dec., 11, 2024).
- [35] INORI-PLAYER, <https://www.youtube.com/watch?v=j3J5qsyTMUY> (accessed Dec., 11, 2024).
- [36] PARTED, <http://parted.tokyo/> (accessed Dec., 11, 2024).
- [37] A. H. Bermano, M. Billeter, D. Iwai, and Anselm Grundhöfer, "Makeup Lamps: Live Augmentation of Human Faces via Projection," *Computer Graphics Forum*, vol. 36, no. 2, pp. 311-323, May. 2017.
- [38] M. Oki, S. Akizuki, B. Bourreau, I. Takahashi, Y. Aoki, J. Yamamoto, and K. Suzuki, "Supporting collective physical activities by interactive floor projection in a special-needs school setting," *International Journal of Child-Computer Interaction*, vol. 32, 100392, Jun. 2022.
- [39] M. Arano and Y. Morimoto, "Dynamic Projection Mapping on Living Things," *The Journal of the Society for Art and Science*, vol. 21, no. 4, pp. 225-232, May. 2022.
- [40] Y. Hu, W. Hu and A. Quigley, "Towards Using Generative AI for Facilitating Image Creation in Spatial Augmented Reality," *Proc. of IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct (ISMAR-Adjunct)*, pp. 441-443, Oct. 2023.
- [41] Y. Ye, J. Hao, Y. Hou, Z. Wang, S. Xiao, Y. Luo, W. Zeng, "Generative AI for visualization: State of the art and future directions, *Visual Informatics*," vol 8, no 2, 2024, pp. 43-66, <https://doi.org/10.1016/j.visinf.2024.04.003>.
- [42] Y. Shen, Y. Shen, J. Cheng, C. Jiang, M. Fan, and Z.

- Wang, "Neural Canvas: Supporting Scenic Design Prototyping by Integrating 3D Sketching and Generative AI," In Proceedings of the 2024 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '24). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, Article 1056, 1 - 18. <https://doi.org/10.1145/3613004.3642006>
- [43] R. Rombach, A. Blattmann, D. Lorenz, P. Esser and B. Ommer, "High-Resolution Image Synthesis with Latent Diffusion Models," Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), pp. 10684-10695, 2022.
- [44] Z. Zhang, Q. Zhang, W. Xing, G. Li, L. Zhao, J. Sun, Z. Lan, J. Luan, Y. Huang, & H. Lin, "ArtBank: Artistic Style Transfer with Pre-trained Diffusion Model and Implicit Style Prompt Bank," Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence, vol. 38, no 7, pp. 7396-7404, 2024. <https://doi.org/10.1609/aaai.v38i7.28570>
- [45] S. S. Phutke and S. Murala, "Image Inpainting via Correlated Multi-Resolution Feature Projection," in IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, vol. 30, no. 9, pp. 5953-5964, Sept. 2024, doi: 10.1109/TVCG.2023.3315061.
- [46] I. N. Sari, R. Sugahara, and W. Du, "Artistic Outpainting through Adaptive Image-to-Text and Text-to-Image Generation," In Proceedings of the 2024 10th International Conference on Computing and Artificial Intelligence (ICCAI '24). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, pp. 20 - 25, 2024. <https://doi.org/10.1145/3669754.3669758>
- [47] Y. Pan, J. Tang, T. Tjahjadi, "LPSRGAN: Generative adversarial networks for super-resolution of license plate image, Neurocomputing," vol. 580, no. 127426, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2024.127426>.
- [48] MediaPipe, <https://ai.google.dev/edge/mediapipe/s> (accessed Dec., 11, 2024).
- [49] YOLO11, <https://github.com/ultralytics/ultralytics> (accessed Dec., 11, 2024).
- [50] 오치민, 김선우, 박정민, 조인장, 김재인, 이철우. "실시간 행동인식 기반 아동 행동분석 서비스 시스템 개발" 스마트미디어저널, 제13권, 제2호, 68-84쪽, 2024년
- [51] 김은희, 신주현. "사전학습 모델 기반 발화 동영상 멀티 모달 감정 인식" 스마트미디어저널, 제13권, 제10호, 2024년
- [52] Face OSC, <https://josephlyons.gitbook.io/face-control-digital-toolkit/tools/faceosc> (accessed Dec., 11, 2024).
- [53] M. Wright, "Open Sound Control: an enabling technology for musical networking," Organised Sound, vol. 10, no 3, pp. 193-200, 2005.
- [54] L. Mescheder, M. Oechsle, M. Niemeyer, S. Nowozin and "A. Geiger, Occupancy Networks: Learning 3D Reconstruction in Function Space," 2019 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), USA, pp. 4455-4465, 2019.
- [55] 김선희. "감정인식을 위한 PK-CCA 기반의 다중 모달 생체신호 융합 모델," 스마트미디어저널, 제14권, 제4호, 39-47쪽, 2025년

 저자 소개



신춘성(정회원)

2006년 광주과학기술원 정보통신공학과 (공학석사)
 2010년 광주과학기술원 정보통신공학과 (공학박사)
 2010~2012 카네기멜론대학 HCI Institute 박사후연구원
 2013~2018 한국전자기술연구원 책임연구원

2018-2019 문화체육관광부 문화기술PD
 2023-2024 국가과학기술자문회의 전문위원(ICT융합)
 2019-현재 전남대학교 문화전문대학원 미디어콘텐츠·컬처테크전공 교수

<주관심분야 : 문화기술, AR/VR, HCI >



이영호(정회원)

2001년 광주과학기술원 정보통신공학과 (공학석사)
 2008년 광주과학기술원 정보통신공학과 (공학박사)
 2009년 ~ 현재 목포대학교 컴퓨터공학과 교수

<주관심분야 : 증강현실, 가상현실, 원격협업, HCI, 확장현실>



조영준(정회원)

2014년 광주과학기술원 정보통신공학과 (공학석사)
 2018년 광주과학기술원 전기전자컴퓨터공학부 (공학박사)
 2018년~2020년 현대모비스 데이터사이언스팀 책임
 2020년~2024년 전남대학교 소프트웨어공학부 교수

2024년~현재 전남대학교 소프트웨어공학과 부교수

<주관심분야 : 컴퓨터 비전, 딥 러닝>



윤효석(정회원)

2007년 광주과학기술원 정보기전공학부 (공학석사)
 2012년 광주과학기술원 정보기전공학부 (공학박사)
 2012년~2013년 GIST 박사후연구원
 2013년~2014년 KAIST 문화기술연구소 박사후연구원

2014년~2019년 한국전자기술연구원 선임연구원

2019년~현재 한신대학교 AI·SW대학 부교수

<주관심분야 : HCI, 웨어러블, 확장현실, 메타버스>