

## 문화유산 연구의 인공지능 기술 동향 분석

### Analysis of AI Technology Trends in Cultural Heritage Research

이은정<sup>1</sup>, 김경수<sup>2\*</sup>

EunJung Lee<sup>1</sup>, KyoungSoo Kim<sup>2\*</sup>

#### 요약

본 연구는 문화유산에 인공지능 기술을 적용한 최근 논문들을 대상으로 문화유산의 연구분야와 인공지능 기술분야별 연구동향을 분석한다. 2021년부터 2024년 1월까지 발표된 국내외 학술논문 95편을 대상으로, 문화유산 유형을 동산(기술물, 미술품, 유물), 부동산(건조물, 유적, 경관), 기타로 구분하고, 문화유산 연구분야는 보존(조사연구, 모니터링), 복원(물리적 복원, 디지털 복원), 활용(교육 및 전시, 지능형 생성)으로 구분한다. 인공지능 기술은 인식시스템(이미지, 문자, 패턴, 음성 인식), 지능시스템(데이터마이닝, 추천, 예측), 반응시스템(대화, 시각화)로 구분한다. 그 결과 이미지 인식, 데이터마이닝, 시각화 같은 인공지능 기술이 문화유산 연구에 다방면으로 활용되고 있으며, 동산 문화유산에서는 미술품, 부동산 문화유산에서는 건축물에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 특히 인공지능 기술의 문화유산 적용은 디지털 복원, 모니터링, 그리고 교육 및 전시 분야에서 새로운 방향을 제시하며, 문화유산의 가치를 증진시키고 보다 다양한 대중에게 문화유산을 소개하는 데 기여할 것으로 기대된다.

핵심어 : 문화유산, AI기술, 연구동향, 인식시스템, 디지털복원

#### Abstract

This study analyzes the recent trends in the application of artificial intelligence(AI) technology to cultural heritage research through recent academic papers. The study includes 95 national and international academic papers published between 2021 and January 2024. Cultural heritage is categorized into movable(technical artifacts, artworks, relics), immovable(buildings, sites, landscapes), and others. The research fields of cultural heritage are divided into preservation(survey research, monitoring), restoration (physical restoration, digital restoration), and utilization(education and exhibition, intelligent creation). AI technologies are classified into recognition systems(image, text, pattern, voice recognition), intelligence systems(data mining, recommendation, prediction), and response systems(dialogue, visualization). The results indicate that AI technologies such as image recognition, data mining, and visualization are extensively used in cultural heritage research. Research on movable cultural heritage focuses on artworks, while research on immovable cultural heritage emphasizes buildings. The application of AI in cultural heritage, particularly in digital restoration, monitoring, and education and exhibition, suggests new directions. It is expected to enhance the value of cultural heritage and introduce it to a more diverse audience.

Keyword : Cultural Heritage, AI Technology, Research Trends, Recognition Systems, Digital Restoration

1 Dept. of Culture Studies, Graduate School, Chonnam National University, Gwangju, Korea [Researcher]  
e-mail: jercasial@naver.com

2 Dept. of Media Art Technology, Graduate School of Culture, Chonnam National University, Gwangju, Korea [Professor]  
e-mail: ks@jnu.ac.kr (Corresponding Author)

Received(March 18, 2024), Review Result(1st: April 7, 2024), Accepted(June 7, 2024), Published(June 30, 2024)



© 2024 The Authors. Published by NCISS.  
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/>.

## 1. 서론

문화유산은 인류의 역사와 문화를 담고 있는 소중한 자산으로 그 가치를 이해하고 보존하며 후세에 전달하는 것이 중요한 사회적 책무이다. 최근 인공지능(AI) 기술의 발전은 기존의 문화유산 연구와 관리에 변화를 가져오고 있다. 이에 본 논문은 문화유산 연구에서 인공지능 기술의 적용 현황과 그 효과를 분석하고, 향후 발전 가능성을 탐색하고자 한다.

본 연구의 목적은 문화유산 분야에서 인공지능 기술의 활용 현황을 조명하고, 그 적용 사례를 통해 문화유산 보존 및 활용의 새로운 방향성을 제시하는 것이다. 특히 유형문화유산을 중심으로 인공지능 기술의 적용 사례를 문화유산 유형별, 인공지능 기술별, 연구분야별로 분석함으로써, 문화유산 연구와 관리에 인공지능 기술이 가지는 잠재력을 탐구하고자 하였다. 본 논문은 문화유산 분야에 인공지능 기술을 효과적으로 도입하고 활용하기 위한 기초 자료를 제공하며, 이를 통해 문화유산의 가치를 증진시키기 위한 방안을 모색할 수 있을 것으로 기대한다.

## 2. 연구 방법

본 연구는 문화유산 연구에 인공지능 기술 적용 동향을 분석하기 위해 2021년부터 2024년 1월까지 국내외 학술지에서 발표된 논문을 대상으로 한다. 구글 학술검색과 특화된 문화유산 저널(Heritage, Journal of Cultural Heritage, Studies in Conservation, Archaeometry, Heritage Science), 그리고 학술연구정보 서비스(RISS)를 활용하여 ‘Cultural Heritage AI’, ‘문화유산 AI’, ‘문화재 AI’ 등의 키워드로 초기 자료를 수집하고, 문화유산과의 관련성 및 인공지능 기술의 적용 여부를 기준으로 논문을 선정, 최종적으로 국외 83편, 국내 12편, 총 95편의 논문을 분석 대상으로 삼는다.

인공지능 기술의 적용 사례와 동향을 분석하기 위하여 문화유산의 유형, 연구분야, 그리고 인공지능 기술을 [표 1]과 같이 분류하고, 조사된 95개의 논문을 카테고리별로 빈도를 계산한다. 다만 하나의 연구가 여러 문화유산 유형, 연구분야, 기술에 중복되는 경우에는 핵심 카테고리를 선택하고 나머지는 제외한다. 이 과정을 통해 문화유산 연구에서 인공지능 기술의 적용 동향을 파악한다.

[표 1] 문화유산 연구의 인공지능 기술 동향 분석을 위한 기준 틀

[Table 1] Framework for Analyzing Research Trends

<b>문화유산 유형</b>	동산(기술물, 미술품, 유물), 부동산(건조물, 유적, 경관), 기타
<b>문화유산 연구분야</b>	보존(조사연구, 모니터링), 복원(물리적 복원, 디지털 복원), 활용(교육 및 전시, 지능형 생성)
<b>인공지능 기술</b>	인식 시스템(이미지, 문자, 패턴, 음성 등), 지능 시스템(데이터마이닝, 추천, 예측), 반응 시스템(대화, 시각화)

### 3. 문화유산 유형별 인공지능 연구사례

#### 3.1 동산 문화유산과 인공지능

##### 3.1.1 기록물

기록물은 종이 문서, 서각, 사진, 영화, 음반, 디지털 자료 등 다양한 형태로 존재하는 인류의 기억을 보존하는 문서이다. 기록물 관련 연구는 총 9건으로, 문서 연구가 6건, 서각 연구가 2건, 멀티미디어 연구가 1건이다. 문서는 종이에 기록된 텍스트 정보로 기록물 분야에서 가장 많다 [1-6]. 서각 자료는 점술골문 [7]과 비문 [8] 연구가 포함되며, 멀티미디어 자료는 아카이브 필름의 스크래치를 감지하는 연구 [9]가 진행되었다. 문화유산 유형별 연구 논문의 수는 [표 2]와 같다.

[표 2] 문화유산 유형별 인공지능 기술 적용 논문 수

[Table 2] Number of Research Papers on Artificial Intelligence Applications by Type of Cultural Heritage

문화유산 유형	동산 문화유산			부동산 문화유산			기타	합계
	문서	미술품	유물	건조물	유적	경관		
편수	9	26	10	24	4	7	15	95

##### 3.1.2 미술품

미술품 연구는 26건으로 회화 11건 [10-20], 벽화 9건 [21-29], 도자기 4건 [30-33], 불상 2건 [34][35]이 있다. 회화는 서양화 [10][12][13]와 동양화 [11][15][16][19] 모두 연구대상이 되었다. 벽화 연구는 아시아를 중심으로 중국 [22-26][28][29]에서 다수 수행되었으며 인도 [27]의 연구도 있다.

##### 3.1.3 유물

유물은 고고학적 발굴, 역사적 사건, 전통 생활 방식 등과 관련된 물질적 유산으로, 도구, 기구, 의복, 장신구 등이 포함된다. 재료에 따른 유물 종류별로 살펴보면 도토기 4건 [36-39], 섬유 4건 [40-43], 금속 1건 [44], 목재 1건 [45] 등 총 10건의 유물 연구에 인공지능이 적용되었다.

#### 3.2 부동산 문화유산과 인공지능

##### 3.2.1 건조물

건조물은 인간이 건축한 구조물로, 궁궐, 사찰, 교회, 주택, 공공 건물과 같은 건축물과 성곽, 탑, 다리과 같은 등의 구조물을 포함한다. 실제 건조물 연구는 24건이며, 건축물 연구가 19건 [46-64]으로 가장 많지만, 성곽 1건 [65], 탑 4건 [66-69]에 관한 연구도 있다.

### 3.2.2 유적

유적은 과거의 인간 활동이 남긴 흔적으로, 건조물뿐만 아니라 도시, 정착지, 고대 유적지 등이 포함한다. 유적에 대한 연구는 4건 [70-74]으로, 항공 [70][74], 위성 [71][72], 소셜미디어 [73] 등으로 수집한 사진이미지를 분석해 문화유적지 혹은 파괴지역을 감지하고 맵핑하는 연구가 있다.

### 3.2.3 경관

경관은 자연적 요소와 인간의 활동이 상호작용하여 형성된 지역 또는 공간으로, 7건 [77-80]의 연구가 있다. 도로 [74], 철도 [75]와 같은 교통 역사경관, 정원 [75]의 문화경관, 국가 [77], 도시 [78], 하천 [79][80]의 시공간 변화를 탐색하는데 인공지능이 적용되었다.

### 3.2.4 기타

인공지능 기술은 문화유산 보관 시설 관리 [81-84], 관광지 추천 [85-90], 연구 접근 방식 제안 [91-95] 등에 활용되고 있다. 문화유산을 효율적으로 관리하고 활용하는데 유용한 연구이다.

## 4. 인공지능 기술과 문화유산

### 4.1 인식시스템

인식시스템은 주변 환경이나 데이터로부터 유용한 정보를 추출하고 분석하는 데 중점을 두며, 보존과 복원 연구에서 많이 사용된다. 이미지 53건, 문자 2건, 패턴 5건, 음성 2건 등 이미지 인식 기술이 압도적으로 많이 이용된다. 인공지능 기술별 연구 논문의 수는 [표 3]과 같다.

[표 3] 인공지능 기술 유형별 문화유산 연구 논문 수

[Table 3] Number of Research Papers by Type of Artificial Intelligence Technology in Cultural Heritage Studies

AI 기술	인식시스템				지식시스템			반응시스템		합계
	이미지	문자	패턴	음성	데이터 마이닝	추천	예측	대화	시각화	
편수	53	2	5	2	19	2	3	3	6	95

### 4.2 지식시스템

지식시스템은 도메인의 지식을 체계화해 추론, 학습, 판단하는 시스템으로, 대규모 데이터에서 패턴을 발견하거나, 사용자의 행동을 예측하고, 의사 결정을 지원한다. 지식시스템이 가장 많이 사용되는 분야는 보존과 활용분야로, 데이터마이닝 기술 19건으로 가장 많고 추천 2건, 예측 2건이다.

### 4.3 반응시스템

반응시스템은 사용자 요청이나 환경 변화에 따라 적절한 반응을 제공하는 인공지능 기술로 활용 분야에서 큰 관심을 받고 있다. 대화형 시스템 연구 3건, 실시간 데이터 시각화 연구 6건이 있으며, AI 기반 박물관 큐레이터와 예술 작품의 디지털 변형 등 다양한 형태로 구현되고 있다.

## 5. 문화유산 연구의 분야별 인공지능 기술 동향 분석

### 5.1 보존

#### 5.1.1 조사연구

조사연구는 문화유산의 다양한 맥락을 이해하기 위한 학술적 연구로, 체계적인 조사와 분석을 포함한다. 이 과정에서 총 31건의 연구가 수행되었으며, 이미지 인식기술이 20건으로 가장 많이 활용되었다 [1][2][5][12][18][21-23][30][34][40][46][47][49-52][66][75][76]. 문자 인식기술은 상형문자의 글꼴 분류 [7]에, 패턴 인식은 작가 식별 [3][10], 부처 얼굴 [11], 안료 [13], 건축 아치 [48] 등의 분류나 변별 작업에 이용되었다. 음성 인식기술은 도자기 [31]나 동전 식별 [44] 등의 연구에 활용되었다. 데이터마이닝 기술은 문서의 연대 추정 [4], 도자기의 시대별 특성 분석 [32] 및 출처 예측 [36] 등에 적용되었다. 이러한 기술들은 문화유산 연구의 정밀도를 높이고 연구 범위를 확장하는 데 기여한다. 문화유산 연구분야별 인공지능 기술 적용 사례 건수는 [표 4]와 같다.

[표 4] 문화유산 연구의 분야별 인공지능 기술 적용 사례

[Table 4] Examples of Artificial Intelligence Technology Applications by Cultural Heritage Research Area

AI기술	연구분야	보존		복원		활용		합계
		조사연구	모니터링	물리적 복원	디지털 복원	교육 및 전시	지능형 생성	
인식 시스템	이미지	20	5	11	17			53
	문자	1			1			2
	패턴	5						5
	음성	2						2
지식 시스템	데이터 마이닝	3	7			2	7	19
	추천						2	2
	예측		3					3
반응 시스템	대화					3		3
	시각화					2	4	6
총계		31	15	11	18	7	13	95

### 5.1.2 모니터링

유물과 유적지 상태의 지속적 추적을 목표로 문화유산을 모니터링하기 위해 인공지능의 이미지 인식, 데이터마이닝, 예측 기술이 사용되었다. 이 분야에서 진행된 15건의 연구 중에서 이미지 인식 5건, 데이터마이닝 7건, 예측 기술 3건이 포함된다. 이미지 인식은 유적지 맵핑 [70-74], 데이터마이닝은 건축물 진단 및 측량 [53-55][81]과 국가나 도시 규모의 환경 계측 [77-79], 예측 기술은 건축물의 습도 [82], 수분 함량 예측 [56], 도시의 조수 예측 [80] 등에 활용되었다. 이러한 기술들은 문화유산의 현재 상태와 잠재적 변화를 파악하여 보존과 관리를 위한 정보를 제공한다.

## 5.2 복원

### 5.2.1 물리적 복원

물리적 복원은 손상된 유산을 복구하는 작업으로, 유물 청소, 구조 보강, 손상 부위 재구성 등을 포함한다. 물리적 복원 연구 11건 중 이미지 인식기술을 사용해 훼손이나 변형을 감지하는 연구가 주류를 이룬다. 벽화 [24], 마케트리(Marqueteries) [45], 건축물 [57-61], 탑 [66][67] 결합 검사 및 변형 분석, 도자기 파편 [37]과 직물 조각 [41]의 위치 추정 등이 있다.

### 5.2.2 디지털 복원

디지털 복원은 문화유산을 가상으로 복원하거나 재현하는 작업으로, 관련 연구 18건 중 17건은 이미지 인식기술, 1건은 문자 인식기술을 활용했다. 이미지 인식기술은 고대문서 [6], 필름 [9], 회화 [14-17], 벽화 [25-29], 기와 문양 [38] 등 평면형태의 복원작업 및 유물 [39], 건물 [63][64], 불상 [68][69] 등 입체적 형태의 3D복원에 이용되었다. 문자 인식기술을 적용한 Ithaca 프로젝트 [8]는 OCR 기술과 자연어 처리 기술을 결합해 훼손된 문자를 추정했다. 디지털 복원 기술은 가상 전시나 디지털 아카이브 구축 등 새로운 형태의 문화유산 활용에 연계될 수 있다.

## 5.3 활용

### 5.3.1 교육 및 전시

교육 및 전시는 문화유산 가치를 대중에게 전달하는 활동으로, 데이터마이닝과 반응시스템을 포함한 인공지능 기술이 중요하게 활용된다. 이 분야에서 총 7건의 연구가 진행되었으며, 데이터마이닝 2건, 대화 기술 3건, 시각화 기술 2건이 포함된다. 데이터마이닝 기술은 박물관 소장품 정보 제공 [33]과 관광지 관리 [85]에 활용되었으며, 반응시스템의 대화 기술은 박물관 및 미술관의 챗봇 구현 [83-86]에, 시각화 기술은 VR, AR, MR을 통한 관람객 체험 유도 [35][65]에 사용되었다.

### 5.3.2 지능형 생성

지능형 생성은 문화유산 관련 정보나 콘텐츠를 생성하는 데 인공지능 기술을 활용하는 연구분야로, 총 13건의 연구가 확인되었다. 그 중 7건은 데이터마이닝 기술로 관광 자원 분류 [87][89] 및 챗 GPT를 통한 문화유산 연구 접근과 방향 결정 [91-95]에 활용되었다. 2건은 지식 추천 시스템을 이용한 관광지 추천 [88][90]이 있으며, 4건은 시각화 기술을 이용해 미술 장르 [19], 화풍 [20]별 새로운 작품 생성, 의상 [42] 및 가면 [43]을 재창조하는데 사용되었다. 이러한 기술적 접근은 문화유산 연구와 전시에 새로운 차원을 더하고, 관람객에게 새로운 경험을 선사한다.

## 6. 결론

본 연구는 문화유산에 인공지능 기술을 적용한 95개의 논문을 분석하여 문화유산 분야에서 인공지능 기술의 현황과 동향을 탐색했다. 연구 결과 동산 문화유산 중에서는 미술품 연구, 특히 회화 및 벽화 미술품에 대한 연구가 활발했고, 부동산 문화유산 중에서는 건조물, 특히 건축물에 대한 연구가 주를 이루었다. 또한 이미지 인식시스템, 데이터마이닝 지식시스템, 시각화 반응시스템이 문화유산 연구에서 널리 사용되는 인공지능 기술로 확인되었다. 이는 문화유산 연구에서 시각적 자료의 중요성과 복잡한 데이터 처리를 위한 기술적 요구가 높다는 것을 반영한다.

연구분야별로는 조사연구가 가장 큰 비중을 차지하며, 디지털 복원, 모니터링, 지능형 생성, 물리적 복원, 교육 및 전시 순으로 인공지능 기술이 적용되었다. 특히, 보존과 복원 분야에서는 이미지 인식과 데이터마이닝 기술을 많이 사용하였고, 활용 분야에서는 데이터마이닝과 시각화 기술이 중요하게 사용되었다. 보존과 복원 분야는 시각 자료의 분석에 의존하며, 활용 분야에서는 문화유산에 대한 대중의 접근성을 높이기 위해 데이터마이닝 기술과 시각화 기술이 더 많이 이용된 것으로 추정된다. 이는 문화유산 분야별로 인공지능 기술의 적용이 사안에 따라 다를 수 있음을 시사한다.

본 연구는 문화유산 연구에서 인공지능 기술이 얼마나 폭넓게 적용될 수 있는지 보여주며, 각 유형과 분야별로 효과적인 기술을 탐색하고 이를 바탕으로 향후 연구와 적용의 방향을 제시한다는 점에서 의의가 있다. 또한 문화유산 분야에서 인공지능 기술 적용은 디지털 전환과 혁신적인 접근을 가능하게 하여 보다 체계적이고 효율적인 문화유산의 보존 및 활용 방안을 제공할 것이다.

본 연구의 한계점은 연구방법에서 인공지능 기술의 복합적인 사용을 단일 카테고리 분류하여 분석한 점과 연구대상을 학술지에 한정하여 실제 현장 적용 사례를 폭넓게 다루지 못한 점이다.

향후 연구에서는 다양한 인공지능 기술의 상호작용과 실제 현장에서의 적용 사례를 상세히 분석함으로써 문화유산 연구에 대한 깊이 있는 접근이 필요하다. 문화유산 분야에 인공지능 기술의 도입은 앞으로 선택이 아닌 필수가 될 것이며, 이를 통해 문화유산의 가치를 높이고 더 많은 사람들이 문화유산을 향유하는 데 기여할 수 있을 것이다.

## References

- [1] J. Büttner, J. Martinetz, H. El-Hajj, M. Valleriani, “CorDeep and the Sacrobosco Dataset: Detection of Visual Elements in Historical Documents”, *Journal of Imaging*, vol. 8, no. 10, October 2022, pp. 285-302, doi: 10.3390/jimaging8100285.
- [2] H. El-Hajj, M. Valleriani, “Prompt Me a Dataset: An Investigation of Text-Image Prompting for Historical Image Dataset Creation Using Foundation Models”, *Image Analysis and Processing - ICIAP 2023 Workshops*, September 11-15, 2023, Udine, Italy, pp. 247-257, doi: 10.1007/978-3-031-51026-7\_22.
- [3] M. Popović, M. A. Dhali, L. Schomaker, “Artificial intelligence based writer identification generates new evidence for the unknown scribes of the Dead Sea Scrolls exemplified by the Great Isaiah Scroll(1QIsaa)”, *PLoS ONE*, vol. 16, no. 4, April 2021, pp. e0249769, doi: 10.1371/journal.pone.0249769.
- [4] I. S. Yoo, H. T. Kim, “Created era estimation of old Korean documents via deep neural network”, *Herit Sci*, vol. 10, no. 144, September 2022, pp. 1-8, doi: 10.1186/s40494-022-00772-9.
- [5] T. G. Grossmann, C. B. Schönlieb, O. Da Rold, “Extracting chain lines and laid lines from digital images of medieval paper using spectral total variation decomposition”, *Herit Sci*, vol. 11, no. 180, August 2023, pp. 1-16, doi: 10.1186/s40494-023-01013-3.
- [6] M. Hanif, A. Tonazzini, S. F. Hussain, A. Khalil, U. Habib, “Restoration and content analysis of ancient manuscripts via color space based segmentation”, *PLoS ONE*, vol. 18, no. 3, March 2023, pp. e0282142, doi: 10.1371/journal.pone.0282142.
- [7] J. Yuan, S. Chen, B. Mo, “R-GNN: recurrent graph neural networks for font classification of oracle bone inscriptions”, *Herit Sci*, vol. 12 no. 30, January 2024, pp. 1-14, doi: 10.1186/s40494-024-01133-4.
- [8] Y. Assael, T. Sommerschild, B. Shillingford, “Restoring and attributing ancient texts using deep neural networks”, *Nature*, vol. 603, March 2022, pp. 280-283, doi: 10.1038/s41586-022-04448-z.
- [9] Q. Liu, Y. Liu, F. Yan, “Scratch detection of archival films: modeling and trajectory calculation”, *Herit Sci*, vol. 12, no. 5, January 2024, pp. 1-11, doi: 10.1186/s40494-023-01119-8.
- [10] H. Ugail, D. G. Stork, H. Edwards, “Deep transfer learning for visual analysis and attribution of paintings by Raphael”, *Herit Sci*, vol. 11, no. 268, December 2023, pp. 1-15, doi: 10.1186/s40494-023-01094-0.
- [11] Y. Yang, F. Fan, “Ancient thangka Buddha face recognition based on the Dlib machine learning library and comparison with secular aesthetics”, *Herit Sci*, vol. 11, no. 137, June 2023, pp. 1-16, doi: 10.1186/s40494-023-00983-8.
- [12] A. Reshetnikov, M. C. Marinescu, J. M. Lopez, “DEArt: Dataset of European Art”, *Computer Vision - ECCV 2022 Workshops*, October 23-27, 2022, Tel Aviv, Israel, pp. 1-16, doi: 10.1007/978-3-031-25056-9\_15.
- [13] C. Jones, N. S. Daly, C. Higgitt, “Neural network-based classification of X-ray fluorescence spectra of artists’ pigments: an approach leveraging a synthetic dataset created using the fundamental parameters method”, *Herit Sci*, vol. 10, no. 88, June 2022, pp. 1-14, doi: 10.1186/s40494-022-00716-3.
- [14] F. Moral-Andrés, E. Merino-Gómez, P. Reviriego, F. Lombardi, “Can Artificial Intelligence Reconstruct Ancient Mosaics?”, *Studies in Conservation*, vol. 69, no. 5, July 2024, pp. 313-326, doi:

10.1080/00393630.2023.2227798.

- [15] S. Poornapushpakala, S. Barani, M. Subramoniam, "Restoration of Tanjore paintings using segmentation and in-painting techniques", *Herit Sci*, vol. 10, no. 41, March 2022, pp. 1-6, doi: 10.1186/s40494-022-00661-1.
- [16] Q. Lyu, N. Zhao, Y. Yang, "A diffusion probabilistic model for traditional Chinese landscape painting super-resolution", *Herit Sci*, vol. 12, no. 4, January 2024, pp.1-12, doi: 10.1186/s40494-023-01123-y.
- [17] M. M. Amiri, D. W. Messinger, "Virtual cleaning of works of art using a deep generative network: spectral reflectance estimation", *Herit Sci*, vol. 11, no. 16, January 2023, pp. 1-19, doi: 10.1186/s40494-023-00859-x.
- [18] A. Belhi, A. Bouras, A. K. Al-Ali,, S. Foufou, "A machine learning framework for enhancing digital experiences in cultural heritage", *Journal of Enterprise Information Management*, vol. 36 no. 3, April 2023, pp. 734-746, doi: 10.1108/JEIM-02-2020-0059.
- [19] M. Yan, J. Wang, Y. Shen, "A non-photorealistic rendering method based on Chinese ink and wash painting style for 3D mountain models", *Herit Sci*, vol. 10, no. 186, November 2022, pp. 1-15, doi: 10.1186/s40494-022-00825-z.
- [20] Y. I. Kim, I. H. Seo, H. C. Kim. "A Study on Developing Realistic Experience Service about Art Works Using CNN", *The Society of Convergence Knowledge Transactions*, vol. 9, no. 4, December 2021, pp. 111-121, doi: 10.22716/sckt.2021.9.4.048.
- [21] J. Cao, Y. Jia, H. Chen, "Ancient mural classification methods based on a multichannel separable network", *Herit Sci*, vol. 9, no. 88, July 2021, pp. 1-17, doi: 10.1186/s40494-021-00562-9.
- [22] C. Bai, Y. Liu, P. Zhou, "BEG: boundary enhancement with Gaussian Loss for rock-art image segmentation", *Herit Sci*, vol. 11, no. 17, January 2023, pp. 1-10, doi: 10.1186/s40494-022-00857-5.
- [23] J. Cao, X. Tian, Z. Chen, "Ancient mural segmentation based on a deep separable convolution network", *Herit Sci*, vol. 10, no. 11, January 2022, pp. 1-17, doi: 10.1186/s40494-022-00644-2.
- [24] X. Deng, Y. Yu, "Automatic calibration of crack and flaking diseases in ancient temple murals", *Herit Sci*, vol. 10, no. 163, October 2022, pp. 1-17, doi: 10.1186/s40494-022-00799-y.
- [25] S. Ma, J. Cao, Z. Li, "An improved algorithm for superresolution reconstruction of ancient murals with a generative adversarial network based on asymmetric pyramid modules", *Herit Sci*, vol. 10, no. 58, May 2022, pp. 1-14, doi: 10.1186/s40494-022-00700-x.
- [26] Z. Xu, C. Zhang, Y. Wu, "Digital inpainting of mural images based on DC-CycleGAN", *Herit Sci*, vol. 11, no. 169, August 2023, pp. 1-13, doi: 10.1186/s40494-023-01015-1.
- [27] V. R. Mol, P. U. Maheswari, "The digital reconstruction of degraded ancient temple murals using dynamic mask generation and an extended exemplar-based region-filling algorithm", *Herit Sci*, vol. 9, no. 137, October 2021, pp. 1-18, doi: 10.1186/s40494-021-00604-2.
- [28] J. Li, H. Wang, Z. Deng, "Restoration of non-structural damaged murals in Shenzhen Bao'an based on a generator - discriminator network", *Herit Sci*, vol. 9, no. 6, January 2021, pp. 1-14, doi: 10.1186/s40494-020-00478-w.
- [29] Z. Gao, M. Du, N. Cao, "Application of hyperspectral imaging technology to digitally protect murals in the Qutan temple", *Herit Sci*, vol. 11, no. 8, January 2023, pp. 1-16, doi: 10.1186/s40494-022-00847-7.

- [30] D. van Helden, E. Mirkes, I. Tyukin, P. Allison, "The Arch-I-Scan Project: Artificial Intelligence and 3D Simulation for Developing New Approaches to Roman Foodways", *Journal of Computer Applications in Archaeology*, vol. 5, no. 1, August 2022, pp. 78-95, doi: 10.5334/jcaa.92.
- [31] X. Jin, X. Wang, C. Xue, "Nondestructive characterization and artificial intelligence recognition of acoustic identifiers of ancient ceramics", *Herit Sci*, vol. 11, no. 144, July 2023, pp. 1-10, doi: 10.1186/s40494-023-00990-9.
- [32] J. H. Yi, H. Lee, S. Kim, "An analysis of the appearance characteristics of Korean ceramics per era through statistical analysis of metadata annotated with a visual element classification system of ceramics", *Herit Sci*, vol. 10, no. 52, April 2022, pp. 1-21, doi: 10.1186/s40494-022-00684-8.
- [33] Y. Y. Huang, S. S. Yu, J. J. Chu, "Using knowledge graphs and deep learning algorithms to enhance digital cultural heritage management", *Herit Sci*, vol. 11, no. 204, September 2023, pp. 1-26, doi: 10.1186/s40494-023-01042-y.
- [34] Y. Huang, D. Chen, H. Wang, "Gender recognition of Guanyin in China based on VGGNet", *Herit Sci*, vol. 10, no. 93, June 2022, pp. 1-17, doi: 10.1186/s40494-022-00732-3.
- [35] J. H. Park, Y. G. Lee, J. S. Lee, H. K. Ahn, "Seokguram Digital Contents Prospects for the Proposal of Artificial Intelligence Extended Reality", *CONTENTS PLUS*, vol. 19, no. 4, June 2021, pp. 47-61, doi: 10.14728/KCP.2021.19.04.047.
- [36] A. Anglisano, L. Casas, I. Queral, R. Di Febo, "Supervised Machine Learning Algorithms to Predict Provenance of Archaeological Pottery Fragments", *Sustainability*, vol. 14, no. 18, September 2022, pp. 11214-11214, doi: 10.3390/su141811214.
- [37] M. L. Gualandi, G. Gattiglia, F. Anichini, "An Open System for Collection and Automatic Recognition of Pottery through Neural Network Algorithms", *Heritage*, vol. 4, January 2021, pp. 140-159, doi: 10.3390/heritage4010008.
- [38] J. O. Kim, B. K. Lee, "A Research on the Possibility of Restoring Cultural Assets of Artificial Intelligence through the Application of Artificial Neural Networks to Roof Tile(Wadang)", *Journal of the Korea Society of Computer and Information*, vol. 26, no. 1, January 2021, pp. 19-26, doi: 10.9708/JKSCI.2021.26.01.019.
- [39] G. Marchello, R. Giovanelli, E. Fontana, F. Cannella, A. Traviglia, "Cultural Heritage Digital Preservation Through Ai-Driven Robotics", *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, vol. XLVIII-M-2-2023, June 2023, pp. 995-1000, doi: 10.5194/isprs-archives-XLVIII-M-2-2023-995-2023.
- [40] N. D. Girsang, "Literature Study of Convolutional Neural Network Algorithm for Batik Classification", *Brilliance: Research of Artificial Intelligence*, vol. 1, no. 1, September 2021, pp. 1-7, doi: 10.47709/brilliance.v1i1.1069.
- [41] D. Gigilashvili, H. Lukesova, C. F. Gulbrandsen, "Computational techniques for virtual reconstruction of fragmented archaeological textiles", *Herit Sci*, vol. 11, no. 259, December 2023, pp. 1-16, doi: 10.1186/s40494-023-01102-3.
- [42] K. Liu, Y. Gao, J. Zhang, "Study on digital protection and innovative design of Qin opera costumes", *Herit Sci*, vol. 10, no. 127, August 2022, pp. 1-15, doi: 10.1186/s40494-022-00762-x.
- [43] M. Yan, R. Xiong, Y. Shen, "Intelligent generation of Peking opera facial masks with deep learning frameworks", *Herit Sci*, vol. 11, no. 20, January 2023, pp. 1-14, doi: 10.1186/s40494-023-00865-z.

- [44] X. Jin, X. Wang, X. Cao, “Construction and recognition of acoustic ID of ancient coins based on deep learning of artificial intelligence for audio signals”, *Herit Sci*, vol. 11, no. 46, March 2023, pp. 1-7, doi: 10.1186/s40494-023-00891-x.
- [45] I. Garrido, J. Erazo-Aux, S. Lagüela, S. Sfarra, C. Ibarra-Castanedo, E. Pivarčiová, G. Gargiulo, X. Maldague, P. Arias, “Introduction of Deep Learning in Thermographic Monitoring of Cultural Heritage and Improvement by Automatic Thermogram Pre-Processing Algorithms”, *Sensors*, vol. 21, no. 3, January 2021, pp. 750-793, doi: 10.3390/s21030750.
- [46] K. Siountri, C. N. Anagnostopoulos, “The Classification of Cultural Heritage Buildings in Athens Using Deep Learning Techniques”, *Heritage*, vol. 6, April 2023, pp. 3673-3705, doi: 10.3390/heritage6040195.
- [47] Z. Liu, R. Brigham, E. R. Long, “Semantic segmentation and photogrammetry of crowdsourced images to monitor historic facades”, *Herit Sci*, vol. 10, no. 27, February 2022, pp. 1-17, doi: 10.1186/s40494-022-00664-y.
- [48] C. Battini, U. Ferretti, G. De Angelis, R. Pierdicca, M. Paolanti, R. Quattrini, “Automatic generation of synthetic heritage point clouds: Analysis and segmentation based on shape grammar for historical vaults”, *Journal of Cultural Heritage*, vol. 66, April 2024, pp. 37-47, doi: 10.1016/j.culher.2023.10.003.
- [49] N. Díaz-Rodríguez, A. Lamas, J. Sanchez, G. Franchi, I. Donadello, S. Tabik, D. Filliat, P. Cruz, R. Montes, F. Herrera, “EXplainable Neural-Symbolic Learning (X-NeSyL) methodology to fuse deep learning representations with expert knowledge graphs: The MonuMAI cultural heritage use case”, *Information Fusion*, vol. 79, March 2022, pp. 58-83, doi: 10.1016/j.inffus.2021.09.022.
- [50] B. Haznedar, R. Bayraktar, A. E. Ozturk, “Implementing PointNet for point cloud segmentation in the heritage context”, *Herit Sci*, vol. 11, no. 2, January 2023, pp. 1-18, doi: 10.1186/s40494-022-00844-w.
- [51] V. Croce, A. Manuel, G. Caroti, A. Piemonte, L. De Luca, P. Véron, “Semi-automatic classification of digital heritage on the Aioli open source 2D/3D annotation platform via machine learning and deep learning”, *Journal of Cultural Heritage*, vol. 62, August 2023, pp. 187-197, doi: 10.1016/j.culher.2023.05.017.
- [52] C. L. Reedy, C. L. Reedy, “High-resolution micro-CT with 3D image analysis for porosity characterization of historic bricks”, *Herit Sci*, vol. 10, no. 83, June 2022, pp. 1-22, doi: 10.1186/s40494-022-00723-4.
- [53] M. Wojtkowska, M. Kedzierski, P. Delis, “Validation of terrestrial laser scanning and artificial intelligence for measuring deformations of cultural heritage structures”, *Measurement*, vol. 167, January 2021, pp. 108291-108291, doi: 10.1016/j.measurement.2020.108291.
- [54] G. Standoli, G. P. Salachoris, M. G. Masciotta, F. Clementi, “Modal-based FE model updating via genetic algorithms: Exploiting artificial intelligence to build realistic numerical models of historical structures”, *Construction and Building Materials*, vol. 303, October 2021, pp. 124393-124433, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2021.124393.
- [55] M. Moreno, R. Ortiz, D. Cagigas-Muñiz, J. Becerra, J. M. Martin, A. J. Prieto, M. A. Garrido-Vizueté, J. M. Macías-Bernal, M. J. Chávez, P. Ortiz, “ART-RISK 3.0 a fuzzy-based platform that combine GIS and expert assessments for conservation strategies in cultural heritage”, *Journal of Cultural Heritage*, vol. 55, June 2022, pp. 263-276, doi: 10.1016/j.culher.2022.03.012.
- [56] D. Frenzel, O. Blaschke, C. Franzen, F. Brand, F. Haas, A. Troi, K. S. Drese, “Quantification of Moisture in Masonry via AI-Evaluated Broadband Radar Reflectometry”, *Heritage*, vol. 6, no. 7, June 2023, pp. 5030-5050, doi: 10.3390/heritage6070266.

- [57] M. Mishra, P. B. Lourenço, “Artificial intelligence-assisted visual inspection for cultural heritage: State-of-the-art review”, *Journal of Cultural Heritage*, vol. 66, April 2024, pp. 536-550, doi: 10.1016/j.culher.2024.01.005.
- [58] M. Mishra, T. Barman, G. V. Ramana, “Artificial intelligence-based visual inspection system for structural health monitoring of cultural heritage”, *Journal of Civil Struct Health Monit*, vol. 14, October 2022, pp. 103-120, doi: 10.1007/s13349-022-00643-8.
- [59] L. E. Mansuri, D. A. Patel, “Artificial intelligence-based automatic visual inspection system for built heritage”, *Smart and Sustainable Built Environment*, vol. 11, no. 3, February 2022, pp. 622-646, doi: 10.1108/SASBE-09-2020-0139.
- [60] S. Y. Lim, H. J. Jun, “Artificial Intelligence-Based Detection of Damaged Roof Tile for the Maintenance of Traditional Buildings”, *Journal of the Architectural Institute of Korea*, vol. 39, no. 6, June 2023, pp. 39-46, doi: 10.5659/JAIK.2023.39.6.39.
- [61] H. Yang, J. Ni, C. Chen, “Weathering assessment approach for building sandstone using hyperspectral imaging technique”, *Herit Sci*, vol. 11, no. 70, April 2023, pp. 1-18, doi: 10.1186/s40494-023-00914-7.
- [62] B. Ergun, C. Sahin, F. Bilucan, “Level of detail (LoD) geometric analysis of relief mapping employing 3D modeling via UAV images in cultural heritage studies”, *Herit Sci*, vol. 11, no. 194, September 2023, pp. 1-14, doi: 10.1186/s40494-023-01041-z.
- [63] M. Pepe, V. S. Alfio, D. Costantino, “Assessment of 3D Model for Photogrammetric Purposes Using AI Tools Based on NeRF Algorithm”, *Heritage* vol. 6, no. 8, August 2023, pp. 5719-5731, doi: 10.3390/heritage6080301.
- [64] O. Allal-Chérif, “Intelligent cathedrals: Using augmented reality, virtual reality, and artificial intelligence to provide an intense cultural, historical, and religious visitor experience”, *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 178, May 2022, pp. 121604-121613, doi: 10.1016/j.techfore.2022.121604.
- [65] S. Wang, Q. Hu, S. Wang, M. Ai, P. Zhao, “Archaeological site segmentation of ancient city walls based on deep learning and LiDAR remote sensing”, *Journal of Cultural Heritage*, vol. 66, April 2024, pp. 117-131, doi: 10.1016/j.culher.2023.11.005.
- [66] M. Guo, M. Sun, D. Pan, “High-precision deformation analysis of yingxian wooden pagoda based on UAV image and terrestrial LiDAR point cloud”, *Herit Sci*, vol.11, no.1, January 2023, pp. 1-18, doi: 10.1186/s40494-022-00833-z.
- [67] J. M. Lee. “Development of automatic damage detection and visualization system based on deep learning for stone cultural heritage”, Master's thesis, The Graduate School of Cultural Heritage, Korea National University of Cultural Heritage, Republic of Korea, 2023. Available: <https://www.riss.kr/link?id=T16797099>.
- [68] B. K. Lee, “A Study on 3D GAN Algorithm for Restoration of Cultural Properties”, *Journal of Next-generation Convergence Technology Association*, vol. 6, no. 3, March 2022, pp. 389-395, doi: 10.33097/JNCTA.2022.06.03.389.
- [69] B. K. Lee, “A Study on the Application of ColMap in 3D Reconstruction for Cultural Heritage Restoration”, *Journal of the Korea Society of Computer and Information*, vol. 28, no. 8, August 2023, pp. 95-101, doi: 10.9708/jksci.2023.28.08.095.
- [70] Ø. Due Trier, H. R. Jarle, K. Løseth, “Automated mapping of cultural heritage in Norway from airborne

- lidar data using faster R-CNN”, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol. 95, March 2021, pp. 102241-102289, doi: 10.1016/j.jag.2020.102241.
- [71] H. El Hajj, “Interferometric SAR and Machine Learning: Using Open Source Data to Detect Archaeological Looting and Destruction”, *Journal of Computer Applications in Archaeology*, vol. 4, no. 1, March 2021, pp. 47-62, doi: 10.5334/jcaa.70.
- [72] J. C. Mello, “Copernicus Program: Artificial Intelligence in Cultural Heritage”, *Journal Of Bioengineering Technologies And Health*, vol. 6, no. 1, April 2023, pp. 45-51, doi: 10.34178/jbth.v6i1.278.
- [73] Y. Zhang, R. Zong, Z. Kou, L. Shang, D. Wang, “CollabLearn: An Uncertainty-Aware Crowd-AI Collaboration System for Cultural Heritage Damage Assessment”, *IEEE Transactions on Computational Social Systems*, vol. 9, no. 5, October 2022, pp. 1515-1529, doi: 10.1109/TCSS.2021.3109143.
- [74] W. B. Verschoof-van der Vaart, J. Landauer, “Using CarcassonNet to automatically detect and trace hollow roads in LiDAR data from the Netherlands”, *Journal of Cultural Heritage*, vol. 47, February 2021, pp. 143-154, doi: 10.1016/j.culher.2020.10.009.
- [75] C. Gao, Q. Zhang, Z. Tan, “Applying optimized YOLOv8 for heritage conservation: enhanced object detection in Jiangnan traditional private gardens”, *Herit Sci*, vol. 12, no. 31, January 2024, pp. 1-20, doi: 10.1186/s40494-024-01144-1.
- [76] Y. Wang, S. Wang, Y. Pan, “Immersive virtual reality and computer vision for heritage: visual evaluation and perception of the industrial heritage sites along the Yunnan - Vietnam railway (Yunnan section)”, *Herit Sci*, vol. 12, no. 36, February 2024, pp. 1-15, doi: 10.1186/s40494-024-01145-0.
- [77] B. Lyu, X. Yue, L. Meng, “Japanese literature organization and spatiotemporal database system creation for natural disaster analysis”, *Herit Sci*, vol. 12, no. 14, January 2024, pp. 1-20, doi: 10.1186/s40494-024-01132-5.
- [78] Z. Mengqi, T. Yan, “Exploring spatiotemporal changes in cities and villages through remote sensing using multibranch networks”, *Herit Sci*, vol. 9, no. 120, September 2021, pp. 1-15, doi: 10.1186/s40494-021-00595-0.
- [79] A. Garcia-Molsosa, H. A. Orengo, C. A. Petrie, “Reconstructing long-term settlement histories on complex alluvial floodplains by integrating historical map analysis and remote-sensing: an archaeological analysis of the landscape of the Indus River Basin”, *Herit Sci*, vol. 11, no. 141, July 2023, pp. 1-27, doi: 10.1186/s40494-023-00985-6.
- [80] F. Granataa, F. Di Nunno, “Artificial Intelligence models for prediction of the tide level in Venice”, *Stoch Environ Res Risk Assess*, vol. 35, April 2021, pp. 2537-2548, doi: 10.1007/s00477-021-02018-9.
- [81] E. R. Long, A. Bone, E. M. Breitung, “Automated corrosion detection in Oddy test coupons using convolutional neural networks”, *Herit Sci*, vol. 10, no. 150, September 2022, pp. 1-16, doi: 10.1186/s40494-022-00778-3.
- [82] C. Boesgaard, B. V. Kejser, “Prediction of the indoor climate in cultural heritage buildings through machine learning: first results from two field tests”, *Herit Sci*, vol. 10, no. 176, October 2022, pp. 1-12, doi: 10.1186/s40494-022-00805-3.
- [83] S. W. Jung, E. S. Choi, S. G. An, Y. J. Kang, S. C. Jeong, “Implementation of Scenario-based AI Voice Chatbot System for Museum Guidance”, *The Journal of Bigdata*, vol. 7, no. 2, December 2022, pp. 91-102, doi: 10.36498/kbigdt.2022.7.2.91.

- [84] H. H. Choi, M. R. Yoon, “A Study on AI Algorithm that can be used to Arts Exhibition : Focusing on the Development and Evaluation of the Chatbot Model”, *Journal of the Korea Entertainment Industry Association*, vol. 15, no. 4, June 2021, pp. 369-381, doi: 10.21184/jkeia.2021.6.15.4.369.
- [85] N. D. Payntar, W. L. Hsiao, R. A. Covey, K. Grauman, “Learning patterns of tourist movement and hotography from geotagged photos at archaeological heritage sites in Cuzco, Peru”, *Tourism Management*, vol. 82, February 2021, pp. 104165-104176, doi: 10.1016/j.tourman.2020.104165.
- [86] G. Sperli, “A cultural heritage framework using a Deep Learning based Chatbot for supporting tourist journey”, *Expert Systems with Applications*, vol. 183, November 2021, pp. 115277-115289, doi: 10.1016/j.eswa.2021.115277.
- [87] A. Bozkurt, Ş. F. Harmonizing, “Heritage and Artificial Neural Networks: The Role of Sustainable Tourism in UNESCO World Heritage Sites”, *Sustainability*, vol. 15, no. 17, August 2023, pp. 13031-13047, doi: 10.3390/su151713031.
- [88] C. M. Huang, C. Y. Wu, “The Point Of Interest (POI) Recommendation for Mobile Digital Culture Heritage (M-DCH) Based on the Behavior Analysis Using the Recurrent Neural Networks (RNN) and User-Collaborative Filtering”, *Journal of Internet Technology*, vol. 22, no. 4, July 2021, pp. 821-833, doi: 10.53106/160792642021072204010.
- [89] B. Ranjgar, A. Sadeghi-Niaraki, M. Shakeri, “An ontological data model for points of interest (POI) in a cultural heritage site”, *Herit Sci*, vol. 10, no. 13, March 2022, pp. 1-22, doi: 10.1186/s40494-021-00635-9.
- [90] K. A. Farami, F. Nafis, B. Aghoutane, A. Yahyaouy, J. Riffi, A. Sabri, “Hybrid recommender system for tourism based on big data and AI: A conceptual framework”, in *Big Data Mining and Analytics*, vol. 4, no. 1, March 2021, pp. 47-55, doi: 10.26599/BDMA.2020.9020015.
- [91] D. H. R. Spennemann, “Exhibiting the Heritage of COVID-19—A Conversation with ChatGPT”, *Heritage*, vol. 6, no. 8, August 2023, pp. 5732-5749, doi: 10.3390/heritage6080302.
- [92] S. R. Ryu, H. N. Lee, Y. J. Jang, “A Strategic Analysis of Hanyang City Wall Using AI and Its Application Method”, *Spring Symposium on of Architectural History*, May 19-20, 2023, Suwon, Korea, pp. 377-380.
- [93] E. C. Lapp, L. W. P. Lapp, “Evaluating ChatGPT as a viable research tool for typological investigations of cultural heritage artefacts—Roman clay oil lamps”, *Archaeometry*, vol. 66, no. 3, January 2024, pp. 696-717, doi: 10.1111/arcn.12937.
- [94] A. Agapiou, V. Lysandrou, “Interacting with the Artificial Intelligence (AI) Language Model ChatGPT: A Synopsis of Earth Observation and Remote Sensing in Archaeology”, *Heritage* vol. 6, no. 5, April 2023, pp. 4072-4085, doi: 10.3390/heritage6050214.
- [95] N. Abate, F. Visone, M. Sileo, M. Danese, A. Minervino Amodio, R. Lasaponara, N. Masini, “Potential Impact of Using ChatGPT-3.5 in the Theoretical and Practical Multi-Level Approach to Open-Source Remote Sensing Archaeology, Preliminary Considerations”, *Heritage*, vol. 6, no. 12, December 2023, pp. 7640-7659, doi: 10.3390/heritage6120402.