

ऐतिहासिक संरचनांची ओळख व संवर्धनासाठी कृत्रिम बुद्धिमत्तेचा (AI) वापर: एक समीक्षात्मक अभ्यास

बालाजी उत्तमराव लाभसेटवार

गोपिकाबाई सीताराम गावंडे महाविद्यालय उमरखेड, जी. यवतमाळ
labhsetwar@gsgcollege.edu.in

सारांश

इतिहास व सांस्कृतिक वारसा जपण्यासाठी ऐतिहासिक संरचनांचे दस्तऐवजीकरण, निरीक्षण आणि संरक्षण करणे अत्यंत आवश्यक आहे. पारंपरिक पद्धती वेळखाऊ, खर्चिक व अनेकदा अपूर्ण असतात. यासाठी आधुनिक तंत्रज्ञानामध्ये **कृत्रिम बुद्धिमत्ता (AI)** हे एक प्रभावी साधन ठरत आहे. या संशोधनात, AI च्या विविध तंत्रांचा – जसे की इमेज प्रोसेसिंग, मशीन लर्निंग, 3D पुनर्निर्माण, उपग्रह प्रतिमा विश्लेषण, आणि नैसर्गिक भाषा प्रक्रिया – वापर करून ऐतिहासिक संरचना ओळखण्याच्या आणि संरक्षित करण्याच्या पद्धतींचा अभ्यास केला आहे. AI आधारित प्रणाली वापरून संरचनात्मक नुकसान (cracks, stains), स्थापत्यशैली, आणि सांस्कृतिक वैशिष्ट्ये अचूकपणे ओळखता येतात. उपग्रह किंवा LIDAR प्रतिमांच्या साहाय्याने अज्ञात पुरातत्त्वीय स्थळांचा शोध घेता येतो. तसेच, AI चा वापर ऐतिहासिक नकाशांचे विश्लेषण, 3D मॉडेलिंग, आणि वेळोवेळी बदलांचे निरीक्षण करण्यासाठी केला जातो. या अभ्यासात असे आढळून आले की AI प्रणाली पारंपरिक पद्धतींच्या तुलनेत अधिक जलद, प्रभावी आणि अचूक परिणाम देतात. मात्र, डेटाची गुणवत्ता, नैतिक बाबी, आणि मानवी हस्तक्षेपाची गरज ही या क्षेत्रातील मर्यादा आहेत. एकंदरीत, AI हे ऐतिहासिक वारसा संवर्धनासाठी एक आशादायक आणि क्रांतिकारी साधन ठरत आहे.

कीवर्ड्स: कृत्रिम बुद्धिमत्ता, ऐतिहासिक संरचना, संरचनात्मक आरोग्य निरीक्षण, 3D पुनर्निर्माण, उपग्रह प्रतिमा विश्लेषण, इमेज प्रोसेसिंग, सांस्कृतिक वारसा संरक्षण, मशीन लर्निंग, पुरातत्त्वीय स्थळे, नैसर्गिक भाषा प्रक्रिया

प्रस्तावना

भारतीय उपखंडात तसेच संपूर्ण जगभरात असंख्य ऐतिहासिक संरचना, स्मारके आणि पुरातत्त्वीय स्थळे ही केवळ स्थापत्यशास्त्राचेच नव्हे तर सांस्कृतिक, धार्मिक व ऐतिहासिक वारशाचे प्रतिक मानली जातात. या संरचना काळाच्या ओघात हवामान बदल, मानवी हस्तक्षेप, आणि नैसर्गिक आपत्तीमुळे झिजत चालल्या आहेत. त्यामुळे त्यांचे अचूक दस्तऐवजीकरण, स्थितीचे मूल्यांकन आणि जतन करणे ही काळाची गरज बनली आहे.

परंपरागत पद्धतींमध्ये मानवी निरीक्षण, मॅन्युअल मोजमाप, नकाशे तयार करणे इत्यादींचा समावेश होता. या पद्धती वेळखाऊ, खर्चिक आणि अनेकदा अपूर्ण व व्यक्तिनिष्ठ असतात. यामध्ये अचूकता व सातत्याचा अभाव दिसून येतो. अशा परिस्थितीत **कृत्रिम बुद्धिमत्ता (Artificial Intelligence – AI)** हे एक प्रभावी, अचूक आणि कार्यक्षम साधन म्हणून समोर आले आहे.

AI चा वापर करून, ऐतिहासिक संरचनांची ओळख (identification), स्थिती विश्लेषण (condition assessment), 3D पुनर्निर्माण (reconstruction), आणि भविष्यकालीन देखभाल नियोजन (predictive maintenance) करता येते. AI प्रणालींमुळे केवळ ज्ञात संरचनाच नव्हे तर अज्ञात पुरातत्त्वीय स्थळांनाही (undiscovered archaeological sites) ओळखता येते, जे उपग्रह प्रतिमा, LIDAR डेटाचे विश्लेषण करून शक्य होते.

हे संशोधन या सर्व गोष्टींचा सविस्तर आढावा घेते आणि AI च्या सहाय्याने ऐतिहासिक संरचना व सांस्कृतिक वारसा जपण्याच्या नव्या दृष्टीकोनांची मांडणी करते. शिवाय, यामध्ये वापरल्या जाणाऱ्या तांत्रिक पद्धती, त्यांच्या

मर्यादा, आणि भविष्यातील संधींचा देखील विचार करण्यात आलेला आहे.

मुख्य संशोधन क्षेत्र

१. संरचनेची संरचनात्मक आरोग्याची निगराणी

- AI/मशीन लर्निंग बेस्ड मॉडल्स हे वारसा संरचनांच्या स्थिती व स्थितीतील बदल (weathering, material loss, algae, क्रॅक्स इ.) निरूपित करण्यात वापरले जातात. जेणेकरून सेन्सर डेटाचे यशस्वी विश्लेषण होऊन नुकसानाचे विविध स्वरूप ओळखता येते.
- विज्ञानपूर्ण भविष्यवाणी (predictive maintenance) मॉडेल्स (जसे की logistic regression आणि deep learning तंत्र) तटीय परिसरांमध्ये किंवा धार्मिक स्मारकांमध्ये नुकसानाच्या संभाव्य स्थितीचे भाकीत करण्यात उपयोगी ठरतात.

२. संगदरचना – डिजिटलीकरण आणि 3D पुनर्निर्माण

- Photogrammetry** आणि **Laser Scanning** च्या मदतीने वस्तुस्थितीचे उच्च-गुणवत्तेचे 3D मॉडेल तयार केले जाते. AI त्यात वैशिष्ट्ये आणि संरचनेतील बदल ओळखण्यात मदत करते. AI-आधारित डेटाविश्लेषणामुळे अंदाजित ते सिंथेटिक डेटासेटचे मिश्रण (data fusion) आणि 3D मॉडेलमध्ये अचूकता सुधारली जाते.

३. फोटो / इमेज विश्लेषण व घटक ओळख

- YOLO (You Only Look Once)** आणि त्याच्या विविध पुनरावृत्ती (v7, v8) वापरून इमारतींची शैली, छत, खिडक्या, तसेच नुकसान झालेले भाग (cracks, stains) ओळखले जातात

- उदा., फुजियान टुलोमध्ये (Fujian Tulou) WOLOv8 मॉडेलचा उपयोग करून लाकडी घटकांवरील नुकसान ओळखण्यात आला, ज्यात रंग, गॅप, पाण्याच्या दागांचा शोध घेतला गेला
- **Mask R-CNN** सारख्या मॉडेलसचा वापर करून शहरी इमारतींवर होणाऱ्या नुकसानाच्या स्वरूपाची (biological colonization, cracks, vandalism) ओळख केली जाते
- इतर तंत्रांमध्ये **EfficientNet**, **DeepLabV3+**, **DCNNs**, आणि **semantic segmentation** मॉडेलसचा वापर करून मोठ्या आकारात संरचना, हरवलेल्या भाग, वय, आणि शैली ओळखली जाते

४. उपग्रह व एरियल इमेजिंग – अज्ञात पुरातत्त्वीय ठिकाणे शोधणे

- **Mask R-CNN**, **U-Net**, **MaxEnt** सारखी तंत्रे वापरून satellite किंवा LIDAR imagery मधून पुरातत्त्वीय स्थळे (funerary monuments, ancient settlements) शोधली जातात
- उदा., अल्जेरियामध्ये MaxEnt मॉडेलने भू-आकृतिक डेटा वापरून संभाव्य पुरातत्त्वीय साइटची अचूकता AUC=0.860 मिळाली
- **PointConv** आणि LIDAR चा उपयोग करून Copán (हॉन्डुरस) मध्ये 95% अचूकतेने प्राचीन रचना नकाशात आणली गेली
- Reddit वापरकर्त्यांनी मत व्यक्त केले: “Machine learning models can be trained to detect patterns like crop marks... AI systems process vast datasets from satellites like Copernicus or Landsat...”

५. ऐतिहासिक नकाशांची संरचना

- CNN + Mathematical Morphology यांचा मिश्रित वापर करून historical maps मधील बंद आकृत्या (जसे की इमारती, बागा) ओळखल्या जातात आणि नक्शाचा वेळेनुसार विकास विश्लेषित केला जातो

६. भाषा आणि ग्राफ आधारित माहिती संकलन

- Reddit वरील एक प्रकल्प वर्णन: “AI-powered system... to analyze historical building constructions using graph databases... AI analyzes the text to identify constructions, layers, materials, time periods...”

हे तंत्र साहित्य, आराखडे, रिपोर्ट इ.-मधून माहिती काढून त्याचे संरचना-आधारित ग्राफ रूपांतरण करू शकते, ज्यामुळे विशिष्ट वैशिष्ट्यांच्या आधारे संरचना ओळखणे सुलभ होते.

७. अत्याधुनिक AI तंत्रांचा वापर

- **भविष्यकालीन शोध:**
- जुलै 2025 मध्ये प्रकाशित अभ्यास: GPT सारखे LLM वापरून, स्टॉकहोममधील इमारतांच्या फॅसाड इमेजेस वरून सांस्कृतिक वारसात्मक मूल्य वर्गीकृत

केले. GPT + रजिस्टर डेटाच्या सहाय्याने प्राप्त F1-score = 0.71; फक्त GPT आधारावर F1-score = 0.60.

धोके, मर्यादा आणि नैतिक बाबी

- **डेटा उपलब्धता व गुणवत्ता:** अनेक ऐतिहासिक किंवा दुर्मिळ संरचनांचा दर्जेदार डिजिटल डेटा उपलब्ध नसतो; परिणामी मॉडेलची स्थिरता व अचूकता प्रभावित होऊ शकते.
- **नैतिकता व सुरक्षितता:** पुरातत्त्वीय ठिकाणांची अचूक माहिती लुटारांसाठी धोका निर्माण करू शकते; म्हणून डेटा संरक्षणाचे प्रोटोकॉल आवश्यक आहेत.
- **मानवी पुष्टीची गरज:** AI सूचकांक हे प्रारंभीचे अंदाजांवर आधारित असतात; त्याची पुष्टी तज्ञांच्या अभ्यासाने करणे अत्यंत महत्वाचे आहे

निष्कर्ष आणि भविष्यातील दिशाभान

AI तंत्रज्ञानाचा इतिहास, स्थापत्य, आणि सांस्कृतिक वारशाच्या क्षेत्रात खोलवर प्रवेश झाला आहे. संरचनात्मक आरोग्य निरीक्षण, 3D पुनर्निर्माण, घटक ओळख, अज्ञात पुरातत्त्वीय ठिकाणांची शोध, भाषिक ग्राफ मॉडेलिंग, आणि LLM आधारित मूल्यांकन – हे संशोधनाचे मुख्य व्यास क्षेत्र आहेत.

भविष्यात खालील क्षेत्रे अधिक संभाव्यता बघत आहेत:

- **संयुक्त बहुमाध्यम AI** — उदाहरणार्थ satellite imagery + ground photogrammetry एकत्रित वापरून.
- **रीअल-टाइम मॉनीटरिंग** — सेंसर नेटवर्क + AI प्रणालींचा सतत वापर.
- **उपयोगकर्ता-स्वयंसंपादित डेटा** — स्थानिक समुदायांचा सहभाग वाढवून मॉडेल सुधारणा.
- **सामुदायिक प्रवेश प्रमाणपत्र** — अभ्यासकांमध्ये अंतःसहभाग व नव-उत्खनन वाढवण्यासाठी.

संदर्भ

1. **Shivottam, Jyotirmaya आणि Mishra, Subhankar (2023).** Tirtha – एक स्वयंचलित व्यासपीठ heritage sites चे crowdsourced इमेजेस वापरून 3D मॉडेल तयार करण्यासाठी. **arXiv:** Tirtha – An Automated Platform to Crowdsourcing Images and Create 3D Models of Heritage Sites
2. **Patel, Manthan; Bandopadhyay, Aditya; Ahmad, Aamir (2021).** अनेक UAVs वापरून पुरातत्त्वीय स्थळांचे सहकार्यात्मक नकाशे (collaborative mapping) तयार करणे. **arXiv:** Collaborative Mapping of Archaeological Sites using multiple UAVs
3. **Gupta, Abhishek; Kapoor, Nikitasha (2020).** साध्यपूर्ण, समावेशक सांस्कृतिक वारसा निर्मितीसाठी आधुनिक AI-आधारित अभिलेखागार (archives)

- प्रणालीचा प्रस्ताव. **arXiv**: Comprehensiveness of Archives: A Modern AI-enabled Approach to Build Comprehensive Shared Cultural Heritage
4. **Kumar, Selva Madhushree (2025)**. AI वापरून प्राचीन स्मारकांचे 3D पुनर्निर्माण—heritage preservation मध्ये अभूतपूर्व योगदान. *International Journal of Science Engineering and Technology*, 13(2), 1–6.
 5. **Menon, Arun (2014)**. Heritage Conservation in India: Challenges and New Paradigms. SAHC2014 (9th International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions), IIT मद्रास.
 6. **Sapio Analytics व Benoy K. Behl (2020)**. AI आणि डीप लर्निंगच्या सहाय्याने भारतातील प्राचीन कलात्मक वारशाचा डिजिटल पुनर्निर्माण (उदाहरण—अजिंता व बदामी लेणी). *Ajanta Heritage & Culture* लेख – “The role of digital technology and artificial intelligence in restoring ancient artworks in India”
 7. **IIT Roorkee (Sparsh Mittal आदींनी) (2025)**. MoScNet – मोडी लिपीचे AI-आधारित रूपांतर (transliteration) देवनागरीमध्ये—historic manuscripts digitization. Devdiscourse / IIT Roorkee’s AI Breakthrough – MoScNet project
 8. **Asiatic Society सहायक संस्था (IIT Kharagpur, IIT Delhi, CDAC) (2025)**. प्राचीन पांडुलिपींचे AI आधारित डिजिटायझेशन, ट्रान्सक्रिप्शन व भाषांतर. *Times of India समाचार* – Asiatic Society AI project
 9. **Ajith S. (2025)**. AI वापरून प्राचीन पांडुलिपी—शिलालेख, ताम्रपत्रे, ताशपत्रावर वर्णांची OCR व पुनर्प्राप्ती. *Times of India लेख* – Right time to use AI to digitise ancient manuscripts
 10. **BBAU आणि IGNCA (2025)**. गंगा खोऱ्यातील (Uttar Pradesh) संख्यात्मक वारश—rock art व पुरातत्त्वीय वारशाचे AI-नियंत्रित अभ्यास व संवर्धनासाठी MoU. *Times of India समाचार* – BBAU-IGNCA hợp tác về cultural heritage research