

ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ НАХОДОК И НАХОЖДЕНИЯ СВЯЗЕЙ МЕЖДУ НИМИ

К.А. Сокольский

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН
Россия, 117997, Москва, Профсоюзная ул., 65
E-mail: kirill.sokolski3007@gmail.com

А.В. Кузнецов

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН
Россия, 117997, Москва, Профсоюзная ул., 65
E-mail: avkuz@bk.ru

Ключевые слова: свёрточные нейронные сети, археология, археологические геоинформационные системы, археологические базы данных.

Аннотация: работа посвящена изучению возможности применения математических методов в археологии. Предлагается разработка единой платформы идентификации, учета и географической привязки археологических находок. Такая платформа упростит сохранение объектов культурного наследия, облегчит планирование строительства и позволит дать ученым страны доступ к материалам для дальнейших исследований.

1. Введение

Археология, как наука, посвященная изучению истории человечества через вещественных источников, находится на стыке гуманитарных наук и современных технологических достижений. В последние десятилетия роль математических методов, таких, как применение компьютерного зрения, геоинформационных систем и баз данных в археологических исследованиях значительно возросла, предоставляя уникальные возможности для автоматизации процессов анализа археологических находок.

В настоящее время перед тем, как возвести здание застройщиком, необходимо провести археологические изыскания. Однако, на этом этапе возникает множество проблем. Так, в интервью [1] директор «Межрегионального центра археологических исследований» Егор Китов рассказывает о проблемах археологических исследований, таких как нехватка самих археологов и нарушение регламента проведения изыскания в связи с потребностями застройщиков (ускорение работ, уменьшение области исследования и т. д.).

Помимо основных проблем проведения археологических изысканий, в России 1 мая 2022 года вступил в силу федеральный закон № 124-ФЗ «О внесении изменений в Градостроительный кодекс Российской Федерации и отдельные законодательные акты Российской Федерации». На основе этого закона появился проект постановления правительства [2], который вызвал ажиотаж среди археологического сообщества.

Данное постановление предполагает не обязательное проведение раскопок, а лишь по желанию застройщика.

В докладе рассматривается применение методов компьютерного зрения, а именно сверточных нейронных сетей (CNN), для идентификации и классификации археологических находок и выявления связей между ними, археологических геоинформационных систем и археологических баз данных для создания единой платформы для совместной работы археологов и других историков, а также представителей строительной отрасли. Применение математических методов и информационных технологий поможет ускорить и удешевить процесс археологических исследований и обеспечить сохранность объектов культурного наследия. Помимо этого, собранные массивы данных помогут строить модели развития тех или иных древних сообществ.

2. Обзор

2.1. Применение машинного обучения

В настоящее время область машинного обучения и обучения глубоких сетей распространяется на все большее количество областей человеческой деятельности. Затронута была и область археологии, в которой применение машинного обучения началось еще с 1970-х гг. [3]. Тогда специалисты начали использовать математические модели для решения задачи кластеризации и продемонстрировали возможность кластеризовать ряд обсидиановых артефактов по их происхождению, используя в качестве входного набора данных относительное количество химических элементов, измеренное с помощью рентгеновской спектроскопии. При классификации учитывалась концентрация элементов посредством весовых коэффициентов. Несмотря на полученный результат, авторы статьи сомневались в релевантности метода, так как такую же работу мог бы осуществить археолог «за несколько часов утомительно работы [3] без использования помощи компьютера». Тогда помощь такого моделирования была не оценена.

С развитием области машинного обучения, задачи становились все более разнообразными и решались быстрее, качественнее. В 1990 г. машинное обучение применялось не только для кластеризации, но также и анализа созданных кластеров, используя обучения без учителя [4]. Позже для классификации керамических черепков начал использоваться метод обучения с учителем, первым из которых был метод *k*-ближайших соседей (KNN) [5].

В последнее время активно набирает рост использования глубоких нейронных сетей. Так, в 2018 г. была применена CNN модель для обнаружения археологических объектов с помощью цифровых моделей местности, полученных в результате воздушного лазерного сканирования [6].

2.2. Археологические базы данных

Археологические базы данных служат для хранения, обработки и анализа найденных ископаемых артефактов. Такие базы можно поделить на два типа: территориальные (информация о расположении объектов) и проблемные (информация о самих объектах). Некоторые примеры таких баз являются:

- *Agachne* – центральная база данных объектов Немецкого археологического института (DAI) и Кёльнской лаборатории цифровой археологии (CoDArchLab). Содержит в себе всевозможную информацию об археологических находках, включая оцифрованные данные, местоположение, историческую справку, классификацию и т.д.;

- Archaeology Data Service (ADS) – расположенная в Йоркском университете служба археологических данных и представляющая собой цифровой архив с открытым доступом, содержащий результаты археологических исследований. Хранит в себе цифровые материалы археологических исследований, а также архивные материалы и информацию об объектах сектора коммерческой археологии;
- Archaeological Recording Kit (ARK) — онлайн-платформа с открытым доступом для реализации собственной базы данных археологических ископаемых. В первую очередь предназначен для записи раскопок, но также может использоваться для археологических исследований, палеоэкологических исследований и управления коллекциями.

2.3. Археологические ГИС

ГИС (геоинформационные системы) используются повсеместно для задач сбора, хранения, анализа и графической визуализации пространственных данных и связанной с ними информации [7]. Помимо ГИС общего назначения, таких как ArcGIS, QGIS, применяются специализированные ГИС, например:

- ГИС «Археограф» – разрабатываемый в Институт истории материальной культуры РАН с 2003 г. программный комплекс, главная задача которого – сбор сведений о проведенных полевых обследованиях ИИМК РАН на территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области;
- археологогеографическая информационная система «Кисловодск» Института археологии РАН, для сбора сведений о памятниках археологии от эпохи энеолита до позднего средневековья и нового времени Кисловодской котловины.

3. Археологические данные

Для обучения нейронных сетей на начальном этапе преципирования системы автоматической идентификации объектов материальной культуры, возможно использовать готовые датасеты, например, предоставленные The National Treasures Department of the Israel Antiquities Authority (IAA).

Набор археологических данных находится в свободном доступе на официальном веб-сайте IAA [8]. Он включает 12 364 фотографии 6770 артефактов, происходящих со всего южного Леванта и охватывающих периоды нижнего палеолита и поздней исламской эпохи (четырнадцатый век нашей эры). К ним относятся каменные орудия (например, лезвия, отщепы, бифасы), костяные орудия (например, шила, бусы и подвески), металлические предметы (например, наконечники копий, монеты), керамические сосуды и предметы изобразительного искусства. Большинство представленных артефактов являются целыми, и каждый предмет обозначен в соответствии с его местом и периодом происхождения. Атрибуция периодов была предоставлена археологами, работающими в IAA или в его составе, и доступна на их веб-сайте.

Классификация артефактов по месту и периоду позволила выделить в общей сложности 555 классов (например, Ранняя бронза II Иерихон, Железо II Ахзив) различного размера. Однако, для статистических манипуляций, набор данных является суженным до 200 крупнейших классов, охватывающих в общей сложности 9909 изображений 5450 артефактов, что составляет 80,1% фотографий и 80,5% артефактов.

Набор данных разделен на две части: один для обучения, содержащий 8031 изображение (81%) из 4428 артефактов, и другой для проверки, содержащий 1878 изображений (19%) из 1020 артефактов.

Стандартная классификация изображений основана на визуальном сходстве (собаки, кошки, автомобили или лица разных личностей). Однако в этом случае сходные артефакты могут принадлежать к разным классам, а визуально различные артефакты могут принадлежать к одному и тому же классу. Кроме того, смежные во времени периоды, вероятно, будут включать визуально схожие артефакты (например, раннеримские и римские амфоры).

Однако, финальная стадия разработки системы автоматической идентификации объектов материальной культуры потребует подготовки наборов данных на основе коллекций российских музеев.

4. Основные направления работы

В планируемой работе имеется три основных направления:

- распознавание образов находок, их классификация и идентификация с использованием математической модели для решения задач идентификации и классификации;
- проектирование базы данных с находками, реализация функционала ее пополнения в полевых условиях;
- интеграция базы данных находок с картами QGIS.

Схема метода изображена на рис. 1. Необходимо будет провести сравнение таких архитектур сверточных нейронных сетей, как YOLO (v8), DenseNet, ResNet, GoogLeNet, EfficientNet, а также разработать архитектуру CNN, специализированную под решаемую задачу.



Рис. 1. Схема используемого метода.

Для хранения информации о раскопках и находках необходимо иметь определенное хранилище, базу данных с возможностью удаленного доступа через мобильное приложение. Существует ряд специализированных баз данных для хранения подобной информации, например, ARK. Она включает в себя инструменты редактирования, создания, просмотра и обмена данными, причем все они предоставляются с использованием веб-интерфейса. ARK является проектом в свободном доступе, что позволяет пользоваться им без ограничения функционала.

Последним направлением работы является интеграция базы данных с геоинформационной системой по типу QGIS для прототипирования карт местами раскопок и найденными ископаемыми.

Полученный массив данных может использоваться как входная информация для многоагентных моделей развития древних сообществ, моделей миграции, для проверки гипотез клиодинамики и т.п.

5. Заключение

Применение компьютерного зрения в археологических исследованиях представляет собой перспективный подход, способный значительно повысить скорость проведения археологических исследований, увеличить качество анализа и интерпретации археологических находок. Развитие методов компьютерного зрения, особенно использование сверточных нейронных сетей предоставляет потенциальные возможности для автоматизации процессов идентификации, классификации и анализа археологических артефактов.

Создание единой платформы идентификации, учета и географической привязки археологических находок упростит сохранение объектов культурного наследия, облегчит планирование строительства и позволит дать ученым страны доступ к материалам для дальнейших исследований.

Список литературы

1. Пономаренко П., Китов Е. Археология — это очень сложный, но благородный бизнес // Деловой портал DK.RU. 17.01.2024. <https://chel.dk.ru/news/237185561>.
2. Корбат И. История историей, а стройка по расписанию. Почему отмена археологических разведок — плохая идея // Фонтанка.ру. 17.01.2024. <https://www.fontanka.ru/2022/06/22/71430626/>.
3. Kowalski B.R. Classification of archaeological artifacts by applying pattern recognition to trace element data // Analytical Chemistry. 1972. Vol. 44, No. 13. P. 2176-2180.
4. Kaufman L., Rousseeuw P.J.. Finding groups in data: an introduction to cluster analysis. Wiley series in probability and mathematical statistics. Hoboken, 1990. Wiley.
5. Makridis M., Daras P., Automatic classification of archaeological pottery sherds // Journal on Computing and Cultural Heritage. 2013. Vol. 5 (4). No. 15. P. 1-15.
6. Kazimi B., Thiemann F., Malek K., Sester M., Khoshelham K., Deep learning for archaeological object detection in airborne laser scanning data // Proceedings of 2nd workshop on computing techniques for spatio-temporal data in archaeology and cultural heritage. 2018. Vol. 2230. P. 21-35.
7. Коробов Д.С. Основы геоинформатики в археологии. М.: Издательство Московского университета, 2011. 224 с.
8. Israel Antiquities Authority. <http://www.antiquities.org.il/>.