

**Б.А. Бакиров^{1,2}, С.Е. Кичанов¹,
В.С. Смирнова^{1,2}, И.А. Сапрыкина^{1,2}**

¹Дубна, Объединенный институт ядерных исследований

²Москва, Институт археологии РАН

Свёрточные нейронные сети для реконструкции и анализа томографических данных археологических объектов*

* Работа выполнена при поддержке гранта РНФ №23-18-00196

Томографические методы всё шире применяются в археологии для неразрушающего исследования внутренней структуры объектов. Однако практическое использование таких методов связано с рядом ограничений. Одним из наиболее существенных является необходимость получения большого числа проекций для построения качественной реконструкции. В условиях археологических исследований это не всегда возможно: время эксперимента может быть ограничено, а высокая суммарная доза излучения нежелательна для некоторых типов объектов. В таких случаях реконструкция выполняется по неполным данным, что приводит к появлению артефактов и потере структурной информации. В последние годы для решения подобных задач активно развиваются методы компьютерного зрения, прежде всего свёрточные нейронные сети (СНС), которые позволяют использовать статистические закономерности изображений для улучшения качества реконструкции и анализа томографических данных.

В представленной работе рассматривается применение СНС для реконструкции томографических изображений по неполным наборам проекций. Предложенный подход основан на обучении СНС модели, которая восстанавливает трёхмерную структуру объекта из существенно меньшего числа угловых проекций. В отличие от традиционных алгоритмов реконструкции, чувствительных к пропущенной информации в проекционном пространстве, СНС модель использует характерные пространственные закономерности структуры материала и позволяет подавлять артефакты, возникающие при sparse-view томографии. Проведённые исследования на модельных археологических объектах показывают, что применение такого подхода позволяет получать данные, сохраняющие основные структурные детали при значительно меньшем числе исходных проекций. Это особенно важно для археологических исследований, где уменьшение времени измерения и снижение требований к объёму экспериментальных данных может существенно расширить возможности томографического анализа.

Отдельной задачей является сегментация структурных элементов в реконструированных томографических данных. Для её решения также использовались

СНС, обученные на модельных трёхмерных объектах. Было показано, что СНС методы сегментации более устойчиво выделяют структурные компоненты по сравнению с традиционными алгоритмами, основанными на пороговой обработке и морфологических операциях, особенно при наличии шума и артефактов реконструкции. Полученные сегментированные трёхмерные модели позволяют перейти от визуального анализа изображений к количественному исследованию структуры объектов. На их основе можно определять объёмные доли различных компонентов, анализировать пористость, распределение размеров структурных элементов, их форму и пространственную ориентацию. Такие параметры непосредственно характеризуют внутреннюю организацию материала и могут использоваться для сравнения различных объектов, выявления структурных особенностей и оценки степени изменения материала. Таким образом, автоматическая сегментация превращает томографические данные в набор количественных характеристик, пригодных для дальнейшего археометрического анализа.

В целом проведённое исследование показывает, что методы компьютерного зрения могут существенно расширить возможности анализа томографических данных в археологии. Использование СНС позволяет одновременно решать задачи реконструкции и сегментации изображений, обеспечивая более устойчивое извлечение структурной информации даже при ограниченных экспериментальных данных. Такой подход делает возможным более эффективное использование томографических методов при исследовании археологических материалов и открывает перспективы для дальнейшего развития автоматизированного анализа трёхмерных изображений в археологических исследованиях.