

Проблемы искусственного интеллекта. 2026. N 2 (41). С. 14-25

Problems of Artificial Intelligence. 2026;2(41):14-25.

Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Научная статья

УДК 004.942

DOI 10.24412/2413-7383-2026-2-41-14-25

В. В. Карабчевский, М. П. Руденко, Ю. А. Якубовская

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего

образования «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк

283001, г. Донецк, ул. Артёма, 58

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ ГРАНИЦ И РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ В ЗАДАЧАХ СИНТЕЗА МОДЕЛЕЙ ТРЕХМЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ ПО ИХ ИЗОБРАЖЕНИЮ

V. V. Karabchevskii, M. P. Rudenko, Y. A. Yakubovskaja

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education

"Donetsk National Technical University"

283048, Donetsk, Artema str, 118-b

NEURAL NETWORK-BASED BOUNDARY DETECTION AND PATTERN RECOGNITION FOR 3D MODEL RECONSTRUCTION FROM IMAGES

В статье рассматривается проблема предварительной обработки изображений для последующей трехмерной реконструкции архитектурных объектов по ограниченному набору данных. Проведенный анализ современного ПО выявил зависимость от большого количества исходных изображений и низкую эффективность при работе с единственным снимком. Предлагается вычислительный алгоритм предварительной обработки изображений, объединяющий нейросетевую сегментацию на основе архитектуры U-Net и контурно-ориентированный поиск особых точек с использованием модифицированного алгоритма CE-ORB.

Ключевые слова: нейросетевое моделирование, сегментация изображений, выделение границ, особые точки, CE-ORB, U-Net, фотограмметрия, обработка изображений, цифровое наследие.

The article addresses the problem of image preprocessing for subsequent three-dimensional reconstruction of architectural objects from a limited dataset. Analysis of modern photogrammetric systems has revealed their fundamental reliance on a large number of source images and low efficiency when processing a single photograph. To overcome these limitations, a computational image preprocessing algorithm is proposed that integrates neural network segmentation based on the U-Net architecture with contour-oriented feature point detection using a modified CE-ORB algorithm.

Key words neural network modeling, image segmentation, edge detection, feature points, CE-ORB, U-Net, photogrammetry, image preprocessing, digital heritage.

Введение

В архитектуре и археологии трёхмерная реконструкция является ключевым инструментом виртуального восстановления утраченных объектов, где фотографии часто выступают единственным источником данных. Внедрение нейросетевых технологий существенно ускоряет и упрощает процесс генерации цифровых моделей.

Целью настоящего исследования является разработка и программная реализация вычислительного алгоритма предварительной обработки изображений, объединяющего нейросетевую сегментацию и контурно-ориентированный поиск особых точек, для повышения качества исходных данных, используемых на этапе трехмерной реконструкции архитектурных объектов по малому количеству изображений.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Анализ существующих фотограмметрических систем и выявление их ограничений при работе с малым количеством изображений.
2. Разработка модифицированного алгоритма поиска особых точек, сфокусированного на контурах объектов.
3. Создание программной реализации комплексного подхода к предварительной обработке изображений.
4. Проведение экспериментальных исследований и оценка эффективности предложенного метода.

Научная новизна исследования заключается в разработке гибридного алгоритма предобработки изображений, интегрирующего нейросетевую сегментацию с контурно-ориентированным поиском особых точек на основе модифицированного алгоритма CE-ORB. Ключевое отличие – программное ограничение поиска ключевых точек исключительно контурными областями (выделенными детектором Кэнни). Это минимизирует количество структурно нерелевантных точек и повышает геометрическую точность последующей 3D-реконструкции архитектурных объектов по ограниченному набору исходных данных.

Анализ наиболее популярных фотограмметрических систем

Общая постановка задачи реконструкции трехмерных моделей по их изображению, а также описание работы фотограмметрических систем рассмотрены в [1-13]. В данной статье анализируется сравнение классических фотограмметрических редакторов с редакторами, использующими нейронные сети для генерации изображений.

На основе проведенного исследования были сделаны следующие выводы:

1. Нейросетевые решения (Rodin, IMGto3D, Tripo Studio, MeshyAi) в соответствии с рисунком 1 показывают высокую скорость работы (1–4 мин), и требуют меньшее количество фото (1–10 шт.), однако в результате часто генерируют модели с неточной геометрией, особенно для криволинейных поверхностей, искажением пропорций, артефактами и изменением формы.
2. Традиционные алгоритмы (Agisoft Metashape, 3DF Zephyr) требуют не менее 15-25 изображений, но дают более контролируемый результат. При работе с ограниченными данными также возникает большое количество артефактов, в соответствии с рисунком 2.

3. Мобильные приложения (MagiScan, Polycam) удобны для полевой съёмки, но имеют ограниченные возможности редактирования. Desktopные решения (Metashape, 3DF Zephyr) предоставляют расширенные инструменты постобработки.

4. Высокое качество достигается при: достаточном количестве фото (≥ 25), использовании традиционных алгоритмов (3DF Zephyr, Reality Scan), а также при наличии ручной коррекции артефактов.

Ключевые недостатки систем, работающих по принципу фотограмметрии:

- зависимость от объема входных данных: традиционные алгоритмы требуют обработки большого количества снимков для достижения приемлемой геометрической точности, что делает невозможной реконструкцию по одиночному изображению;
- редакторы, в которых возможна генерация модели по одному изображению, на выходе предлагают не совсем корректную модель с точки зрения полной реконструкции;
- не всегда понятный и удобный интерфейс фотограмметрических редакторов, инструкции только на английском языке;
- необходимость постобработки полученной трехмерной модели, так как результат содержит множество артефактов, шумов и искажений.

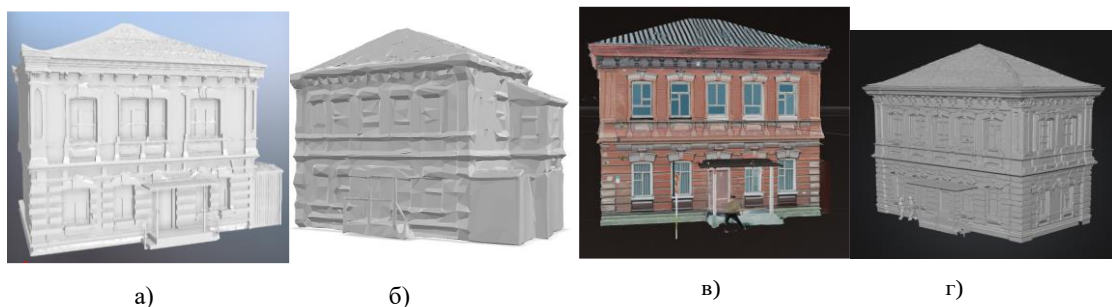


Рисунок 1 – Сравнение сгенерированной модели в фотограмметрических редакторах: а) Rodin; б) IMGto3D; в) Tripo Studio; г) MeshyAi

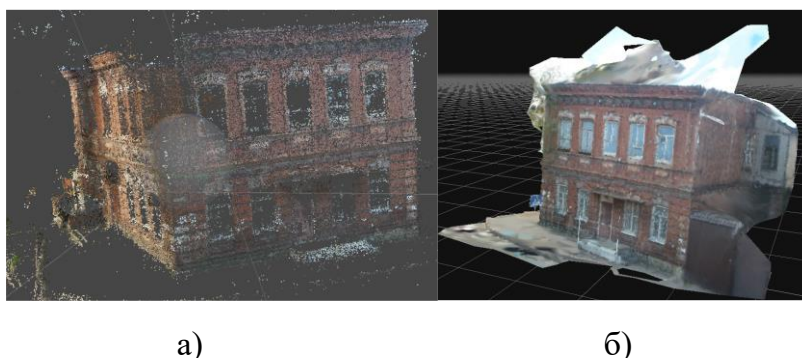


Рисунок 2 – Сравнение сгенерированной модели в фотограмметрических редакторах: а) Agisoft Metashape; б) 3DF Zephyr

Результаты анализа представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнение популярных фотограмметрических редакторов

Фотограмметрические редакторы	Удобный интерфейс	Платформа	Использует ИИ	Время создания трехмерной модели (мин)	Необходимость предобработки фото	Тип полученной модели	Возможность редактирования	Наличие артефактов	Количество фотографий
Agisoft Metashape	+	десктопное	-	6	-	низкополигональная	+	+	25
MagiScan	+	мобильное	+	10	-	высокополигональная	-	+	5
Meshroom	+	десктопное	-	6	-	низкополигональная	-	+	25
MeshyAi	+	десктопное	+	10	-	высокополигональная	+	-	10
3DF Zephyr	-	десктопное	-	8	-	низкополигональная	+	+	25
Tripo Studio	+	десктопное	+	20	-	высокополигональная	+	-	10
Polycam	+	мобильное	-	15	-	низкополигональная	-	+	25
Rodin	+	десктопное	+	4	-	высокополигональная	-	-	3
IMGto3D	+	десктопное	+	3	-	низкополигональная	-	+	1
Kiri Engine	+	мобильное	-	10	-	низкополигональная	-	+	25
Xone AI 3D Scanner	+	мобильное	-	5	-	высокополигональная	-	+	25
Realty Scan	-	десктопное	-	15	-	высокополигональная	+	+	25

Таким образом, несмотря на ряд недостатков, системы, использующие фотограмметрию, благодаря применению нейронных сетей, намного лучше и быстрее справляются с задачей реконструкции объекта по его изображению. Однако, можно сделать вывод, что качество полученной модели напрямую зависит от точного распознавания и выделения контуров изображения этой модели на фотографии.

Анализ методов сегментации изображений

Объекты культурного наследия находятся под постоянной угрозой разрушения из-за различных факторов, а некоторые давно утрачены. Один из наиболее эффективных способов их сохранения – цифровая виртуальная реконструкция. Качество полученных 3D-моделей напрямую зависит от точности обработки исходных изображений. Традиционные фотограмметрические методы (SfM, MVS) часто сталкиваются с проблемами низкого контраста или неоднородного освещения, отсутствия текстуры, частичного разрушения объекта, ограниченного количества снимков. Преодолеть указанные ограничения позволяет интеграция методов компьютерного зрения на базе

глубокого обучения. Современные нейросетевые архитектуры демонстрируют высокую точность сегментации и устойчивую локализацию ключевых точек даже в сложных условиях съёмки, а алгоритмы выделения границ позволяют структурно идентифицировать элементы сцен, что делает их незаменимыми. Совместное использование этих методов создаёт основу для интеллектуального конвейера предобработки изображений необходимого для повышения точности последующей трёхмерной реконструкции.

Классические подходы (пороговые, градиентные, основанные на областях и кластеризации) сегментации опираются на локальные свойства пикселей и отличаются вычислительной простотой, однако чувствительны к шуму и требуют точной ручной настройки параметров [14-16]. Современные нейросетевые методы классифицируются по уровню детализации: семантическая сегментация (присвоение классов пикселям), экземплярная (выделение отдельных объектов одного класса) и паноптическая (объединение двух предыдущих подходов) [17-20]. Краткая сравнительная характеристика методов сегментации с выделением достоинств и недостатков представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Сравнительный анализ методов сегментации

	Метод	Основной принцип	Достоинства	Недостатки	Область применения
Классические методы	Пороговый	Делит пиксели по яркости.	Простота и скорость.	Работает только на контрастных изображениях.	Простые задачи (документы, конвейер).
	По границам	Ищет контуры по перепадам яркости.	Четко выделяет границы.	Чувствительность к шуму, разрывы в контурах.	Поиск объектов, медицина.
	По областям	Объединяет похожие пиксели в области.	Создает цельные, однородные области.	Требует точной настройки параметров.	Анализ текстур, спутниковые снимки.
	Кластеризация	Группирует пиксели по цвету.	Автоматически делит по цветам.	Игнорирует форму и расположение объектов.	Разделение по цветам, анализ палитры.
Глубокое обучение	Семантическая	Каждому пикселю присваивается класс.	Высокая точность, понимает контекст.	Не различает объекты одного класса.	Беспилотники, медицина.
	Экземплярная	Выделяет каждый отдельный объект	Различает и считает отдельные объекты.	Сложнее и медленнее семантической.	Робототехника, подсчет объектов.
	Паноптическая	Объединяет семантическую и экземплярную сегментацию.	Самое полное и детальное понимание сцены.	Максимальная сложность и ресурсоемкость.	Продвинутые беспилотники и роботы.

Для решения нейросетевых методов сегментации были разработаны специализированные архитектуры глубокого обучения. Одной из наиболее успешных и широко применяемых является U-Net. Эта полносверточная нейронная сеть имеет симметричную архитектуру, состоящую из сжимающего пути (энкодера) для извлечения признаков и расширяющегося пути (декодера) для построения точной карты сегментации. Ключевой особенностью U-Net являются пробрасываемые соединения, которые объединяют признаки из энкодера с картами признаков в декодере, что позволяет восстанавливать детали с высокой точностью и особенно эффективно для анализа архитектурных изображений.

Разработка программного комплекса для анализа изображений с использованием нейросетевой сегментации и контурно-ориентированного поиска особых точек

Для комплексного решения были выбраны следующие алгоритмы, зарекомендовавшие себя, как эффективные и производительные в своих областях [21-24].

Для сегментации изображения была выбрана архитектура U-Net. Это сверточная нейронная сеть, изначально разработанная для сегментации биомедицинских изображений. Ее U-образная архитектура, состоящая из энкодера для захвата контекста и декодера для точной локализации, позволяет достигать высокой точности даже при работе с небольшим количеством обучающих данных. Соединения между энкодером и декодером являются ключевой особенностью, позволяющей совмещать семантическую информацию с информацией о точном местоположении. При выделении границ использовался детектор границ Кэнни. Это многоэтапный алгоритм, который включает в себя сглаживание изображения для удаления шума, нахождение градиентов, подавление не максимумов для получения тонких границ и двойную пороговую фильтрацию для отсеивания слабых и несвязанных границ. В результате получаются четкие и непрерывные контуры объектов. Для нахождения ключевых точек использовался алгоритм ORB – это эффективная и быстрая альтернатива таким алгоритмам, как SIFT и SURF.

Проблема стандартного ORB заключается в том, что классический алгоритм использует детектор FAST для поиска ключевых точек по всему изображению. FAST эффективно находит углы, однако эти точки могут располагаться в областях с большим количеством текстур, но не несущих важной информации о контурах объектов. Это может приводить к появлению "шумных" особых точек, которые не всегда полезны для задач сопоставления объектов. Предлагается модифицировать алгоритм ORB, интегрировав в него предварительный этап выделения границ с помощью детектора Кэнни. Это позволит сфокусировать поиск особых точек исключительно на значимых контурах объектов.

Алгоритм Canny-Enhanced ORB (CE-ORB):

1. Выделение границ: к исходному изображению применяется детектор границ Кэнни. На выходе получается бинарная маска (карта границ), где белыми пикселями отмечены только четкие контуры объектов.

$$B = \text{Canny}(I, \sigma, T_{low}, T_{high}), \quad (1)$$

где I – исходное изображение, σ – параметр размытия Гаусса, T_{low} и T_{high} – низкий и высокий пороги гистерезисной фильтрации.

2. Маскированный поиск точек: детектор особых точек FAST применяется не ко всему изображению, а только к тем областям, которые соответствуют белым пикселям на карте границ, полученной на первом шаге. Таким образом, поиск ключевых точек ограничивается исключительно контурами объектов.

$$K = \text{FAST}(I \otimes B, \tau), \quad (2)$$

где FAST – детектор углов, τ – порог детектирования, $\otimes$ – операция маскирования, оставляющая для анализа только пиксели контуров.

3. Вычисление ориентации и дескрипторов: для найденных на контурах точек стандартными методами ORB вычисляется их ориентация и генерируются дескрипторы.

Преимущества модифицированного алгоритма:

- повышение релевантности – ключевые точки обнаруживаются только на структурно важных частях изображения (границах объектов), что повышает их значимость и надежность при сопоставлении;

- снижение шума – исключается обнаружение точек в текстурных, но малоинформативных областях, что уменьшает количество ложных срабатываний;
- потенциальное ускорение – хотя добавляется шаг детекции границ, сам поиск ключевых точек выполняется на значительно меньшем подмножестве пикселей, что может ускорить работу алгоритма на изображениях с несложной структурой.

На основе описанного выше подхода реализован программный продукт, результаты работы которого представлены на рисунке 3. Для сегментации используется предварительно обученная модель U-Net из библиотеки torchvision, а для остальных задач – библиотека OpenCV.

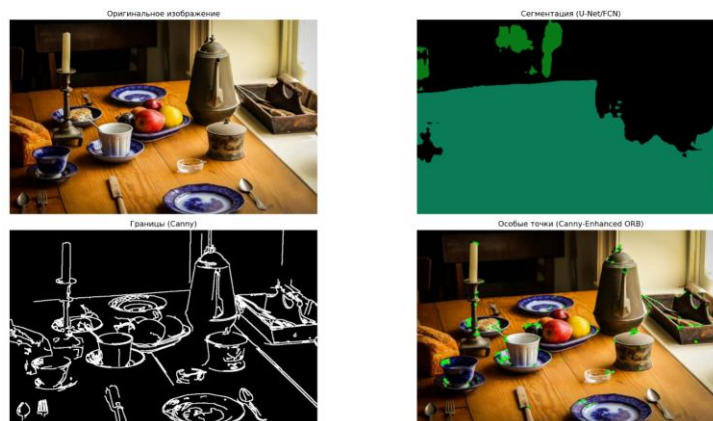


Рисунок 3 – Результат работы программы

Очевидно, что алгоритм работает адекватно – ключевые точки сосредоточены на структурно значимых контурах объекта, а не хаотично распределены по всему изображению. Алгоритм показывает хорошие результаты на различных наборах входных данных, однако имеются некоторые артефакты и неточности, что задает вектор для дальнейшей работы. Полученные данные формируют качественную основу для последующего этапа трехмерной реконструкции.

Заключение

В результате проведенного исследования разработан и программно реализован гибридный алгоритм предварительной обработки изображений для задач трехмерной реконструкции, объединяющий нейросетевую сегментацию (U-Net) и контурно-ориентированный поиск особых точек (модифицированный CE-ORB). Экспериментально подтверждена эффективность предложенного подхода при работе с ограниченным набором исходных данных: снижение количества структурно нерелевантных точек повышает качество входных данных для последующей фотограмметрической реконструкции архитектурных объектов.

Практическая значимость работы состоит в минимизации вычислительных затрат на этапе сопоставления изображений и повышении геометрической точности 3D-моделей, генерируемых по малым выборкам фотографий. Перспективы дальнейших исследований включают интеграцию разработанного подхода с методами структурно-ориентированной реконструкции и адаптацией алгоритма под различные классы объектов культурного наследия.

Список литературы

1. Руденко М. П. Эффективные вычислительные методы и алгоритмы трехмерной реконструкции объектов культурного наследия / М. П. Руденко // Информатика и кибернетика. 2023. № 3(33). С. 43-49.
2. Якубовская Ю. А. Обзор методов трехмерной реконструкции объектов по изображениям / Ю. А. Якубовская // Информатика и кибернетика. 2023. № 1(31). С. 36-41. EDN PUBKNJ.
3. Hartley R. Multiple View Geometry in Computer Vision / R. Hartley, A. Zisserman // Cambridge University Press, 2004. 672 p.
4. Сюткина Т. А. Цифровые копии для антропологических исследований: виртуальные модели и базы данных / Т. А. Сюткина, Р. М. Галеев // Вестник археологии, антропологии и этнографии. 2021. № 1(52). С. 105-117. DOI 10.20874/2071-0437-2021-52-1-10. EDN JJBUFM.
5. Новые возможности для публикационной презентации керамических сосудов пазырыкской культуры / А. А. Тишкин, С. Ю. Бондаренко, П. К. Дашковский, Ц. Му // Теория и практика археологических исследований. 2022. Т. 34, № 2. С. 9-24. DOI 10.14258/tpai(2022)34(2).-01. EDN LFIFLN.
6. Пачеко-Руис Р. 4D моделирование подводных археологических раскопок в условиях плохой видимости с помощью фотограмметрии / Р. Пачеко-Руис, Д. Адамс, Ф. Педротти // Геоинфо. 2022. № 10. С. 6-15. EDN GGILGP.
7. Хадиев М. Р. Анализ методов распознавания контурных изображений в реальном времени / М. Р. Хадиев, Н. Н. Перцев, Л. М. Шарнин // Вестник Технологического университета. 2023. Т. 26, № 5. С. 55-58. DOI 10.55421/1998-7072_2023_26_5_55. EDN VLFXPX.
8. Егорченко С. Е. Проблемы и перспективы создания «цифровых двойников» археологических памятников / С. Е. Егорченко // Развитие – 2023: Сборник трудов конференции, Кемерово, 11–13 мая 2023 года. Кемерово: ФИЦ УУХ СО РАН, 2023. С. 198-218. EDN SBNAKL.
9. Живица В. В. Принципы 3D реконструкции объектов культурного наследия античного периода на примере греко-скифского городища Калос Лимен в Республике Крым / В. В. Живица, А. А. Эрайзер // Строительство и техногенная безопасность. 2022. № 24(76). С. 7-18. EDN BCEHFI.
10. Гадасин Д. В. Трехмерная реконструкция объекта по одному изображению с использованием глубоких свёрточных нейронных сетей / Д. В. Гадасин, А. В. Шведов, И. А. Кузин // T-Comm. 2022. № 7. С. 56-62.
11. Langer, F. Leveraging Geometry for Shape Estimation from a Single RGB Image [Электронный ресурс] / F. Langer, I. Budvytis, R. Cipolla // Proceedings of the British Machine Vision Conference (BMVC). 2021. Article 284. DOI: 10.5244/C.35.75. Текст : электронный // BMVA Archive. URL: <https://www.bmva-archive.org.uk/bmvc/2021/assets/papers/0284.pdf> (дата обращения: 07.04.2026).
12. Total3DUnderstanding: Joint Layout, Object Pose and Mesh Reconstruction for Indoor Scenes from a Single Image / Y. Nie, X. Han, S. Guo, Y. Zheng, J. Chang, J. J. Zhang // arXiv preprint arXiv:2002.12212. 2020. DOI: 10.48550/arXiv.2002.12212. Текст : электронный // arXiv.org : электронный архив препринтов. URL: <https://arxiv.org/abs/2002.12212>
13. Chan, E. R. Efficient Geometry-aware 3D Generative Adversarial Networks [Электронный ресурс] / E. R. Chan, C. Z. Lin, M. A. Chan [et al.] // Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). 2022. P. 14282–14292. DOI: 10.1109/CVPR52688.2022.01391.
14. Лукашик Д. В. Анализ современных методов сегментации изображений / Д.В. Лукашик // Экономика и качество систем связи. 2022. № 2 (24). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-sovremennyh-metodov-segmentatsii-izobrazheniy?ysclid=mgoxrqdch7890803077> (дата обращения: 18.05.2026).
15. Семантическая сегментация: самый полный гайд 2024 // Хабр. 2024. URL: https://habr.com/ru/companies/data_light/articles/855336/?ysclid=mgoxs8zdnm640851339 (дата обращения: 18.05.2026)
16. Лихачев А. В. Выделение контуров изображения объекта интереса на переменном фоне / А. В. Лихачев // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии. 2022. № 1. С. 90-100. DOI 10.17308/sait.2022.1/9204. EDN GLUTCF.
17. Сравнительный анализ модификаций нейросетевых архитектур U-Net в задаче сегментации медицинских изображений / Достовалова А.М., Горшенин А.К., Старичкова Ю.В., Арзамасов К.М. // Digital Diagnostics. 2021. URL: <https://istina.msu.ru/publications/article/710520000/?ysclid=mgoxqpe0pb798580810> (дата обращения: 18.05.2026)

18. Ермоленко Т. В. Анализ эффективности архитектур глубоких нейросетей для классификации изображений товаров / Т. В. Ермоленко, И. Е. Самородский // Проблемы искусственного интеллекта. 2022, № 1(24). С. 54-64. EDN AHAZQ.
19. Исследование применения моделей Mask R-CNN и Segment Anything Model (SAM) для инстанс-сегментации мезенхимных стволовых клеток на микрофотографиях / М. В. Солопов, Е. С. Чечехина, А. Г. Попандопуло [и др.] // Проблемы искусственного интеллекта. 2025, № 2(37). С. 21-29. DOI 10.24412/2413-7383-2025-2-37-21-29. EDN ODOKND.
20. Назаров М. А. Исследование применимости нейронечеткого и нейросетевого моделирования для выделения и распознавания контуров на изображениях / М. А. Назаров, Л. Ю. Емалетдинова // Вестник Технологического университета. 2024. Т. 27, № 8. С. 120-124. DOI 10.55421/1998-7072_2024_27_8_120. EDN EIOOEL.
21. Краснобаев Е.А. Сравнение бинарных дескрипторов особых точек изображений в условиях искажений / Е.А. Краснобаев, Д.В. Чистобаев, А.Л. Малышев // Компьютерная оптика. 2019. Т. 43, № 3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sravnienie-binarnyh-deskriptorov-osobyh-tochek-izobrazheniy-v-usloviyah-iskazheniy?ysclid=mgoxshunbt285338305> (дата обращения: 18.05.2026)
22. Детекторы и дескрипторы особых точек FAST, BRIEF, ORB // Хабр. 2018. URL: <https://habr.com/ru/articles/414459/?ysclid=mgoxszfic050079200> (дата обращения: 18.05.2026)
23. Ханова А.А. Обзор методов выделения контуров на изображениях / А.А. Ханова, М.И. Озерова // Владимирский государственный университет. 2020. URL: https://iitr.vlsu.ru/images/sntk2020/ispi_3/ispi_3_5.pdf (дата обращения: 18.05.2026)
24. Rublee, E. ORB: An efficient alternative to SIFT or SURF (Comparative Analysis 2018-2023) / E. Rublee, V. Rabaud, K. Konolige, G. Bradski // IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV).

References

1. Rudenko M. P. Efficient computational methods and algorithms for three-dimensional reconstruction of cultural heritage objects / M. P. Rudenko // Informatics and Cybernetics. – 2023. – No. 3(33). – P. 43–49.
2. Yakubovskaya Y. A. Overview of methods for three-dimensional reconstruction of objects from images / Y. A. Yakubovskaya // Informatics and Cybernetics. – 2023. – No. 1(31). – P. 36–41. – EDN PUBKNJ.
3. Hartley R. Multiple View Geometry in Computer Vision / R. Hartley, A. Zisserman. – Cambridge: Cambridge University Press, 2004. – 672 p.
4. Syutkina T. A. Digital copies for anthropological research: virtual models and databases / T. A. Syutkina, R. M. Galeev // Bulletin of Archaeology, Anthropology and Ethnography. – 2021. – No. 1(52). – P. 105–117. – DOI 10.20874/2071-0437-2021-52-1-10. – EDN JJBUEM.
5. New opportunities for publication presentation of ceramic vessels of the Pazyryk culture / A. A. Tishkin, S. Yu. Bondarenko, P. K. Dashkovsky, Ts. Mu // Theory and Practice of Archaeological Research. – 2022. – Vol. 34, No. 2. – P. 9–24. – DOI 10.14258/tpai(2022)34(2).-01. – EDN LFIFLN.
6. Pacheco-Ruiz R. 4D modeling of underwater archaeological excavations in poor visibility conditions using photogrammetry / R. Pacheco-Ruiz, D. Adams, F. Pedrotti // Geoinfo. – 2022. – No. 10. – P. 6–15. – EDN GGILGP.
7. Khadiev M. R. Analysis of methods for recognition of contour images in real time / M. R. Khadiev, N. N. Pertsev, L. M. Sharnin // Bulletin of Technological University. – 2023. – Vol. 26, No. 5. – P. 55–58. – DOI 10.55421/1998-7072_2023_26_5_55. – EDN VLFXPX.
8. Egorchenko S. E. Problems and prospects of creating "digital twins" of archaeological monuments / S. E. Egorchenko // Development – 2023: Collection of conference proceedings, Kemerovo, May 11–13, 2023. – Kemerovo: FIC SSC SB RAS, 2023. – P. 198–218. – EDN SBNAKL.
9. Zhivitsa V. V. Principles of 3D reconstruction of cultural heritage objects of the antique period on the example of the Greco-Scythian settlement Kalos Limen in the Republic of Crimea / V. V. Zhivitsa, A. A. Eraizer // Construction and Technogenic Safety. – 2022. – No. 24(76). – P. 7–18. – EDN BCEHFI.
10. Gadasin D. V. Three-dimensional reconstruction of an object from a single image using deep convolutional neural networks / D. V. Gadasin, A. V. Shvedov, I. A. Kuzin // T-Comm. – 2022. – No. 7. – P. 56–62.
11. Langer F. Leveraging Geometry for Shape Estimation from a Single RGB Image [Electronic resource] / F. Langer, I. Budvytis, R. Cipolla // Proceedings of the British Machine Vision Conference (BMVC). – 2021. Article 284. - DOI: 10.5244/C.35.75. - URL: <https://www.bmvaarchive.org.uk/bmvc/2021/assets/papers/0284.pdf> (accessed: 07.04.2026).
12. Total3DUnderstanding: Joint Layout, Object Pose and Mesh Reconstruction for Indoor Scenes from a Single Image / Y. Nie, X. Han, S. Guo, Y. Zheng, J. Chang, J. J. Zhang // arXiv preprint

- arXiv:2002.12212. – 2020. – DOI: 10.48550/arXiv.2002.12212. – URL: <https://arxiv.org/abs/2002.12212> (accessed: 07.04.2026).
13. Chan E. R. Efficient Geometry-aware 3D Generative Adversarial Networks [Electronic resource] / E. R. Chan, C. Z. Lin, M. A. Chan [et al.] // Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). – 2022. – P. 14282–14292. – DOI: 10.1109/CVPR52688.2022.01391.
 14. Lukashik D. V. Analysis of modern image segmentation methods // Economics and Quality of Communication Systems. – 2022. – No. 2(24). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-sovremennyh-metodov-segmentatsii-izobrazheniy?ysclid=mgoxrqdch7890803077> (accessed: 18.05.2026).
 15. Semantic segmentation: the most complete guide 2024 // Habr. – 2024. – URL: https://habr.com/ru/companies/data_light/articles/855336/?ysclid=mgoxs8zdn640851339 (accessed: 18.05.2026).
 16. Likhachev A. V. Extraction of contour images of an object of interest on a variable background / A. V. Likhachev // Bulletin of Voronezh State University. Series: System Analysis and Information Technologies. – 2022. – No. 1. – P. 90–100. – DOI 10.17308/sait.2022.1/9204. – EDN GLUTCF.
 17. Comparative analysis of modifications of U-Net neural network architectures in the problem of medical image segmentation / A. M. Dostovalova, A. K. Gorshenin, Yu. V. Starichkova, K. M. Arzamasov // Digital Diagnostics. – 2021. – URL: <https://istina.msu.ru/publications/article/710520000/?ysclid=mgoxqpe0pb798580810> (accessed: 18.05.2026).
 18. Ermolenko T. V. Analysis of the efficiency of deep neural network architectures for image classification of goods / T. V. Ermolenko, I. E. Samorodsky // Problems of Artificial Intelligence. – 2022. – No. 1(24). – P. 54–64. – EDN AIHAZQ.
 19. Study of the application of Mask R-CNN and Segment Anything Model (SAM) for instance segmentation of mesenchymal stem cells in microphotographs / M. V. Solopov, E. S. Chechchina, A. G. Popandopulo [et al.] // Problems of Artificial Intelligence. – 2025. – No. 2(37). – P. 21–29. – DOI 10.24412/2413-7383-2025-2-37-21-29. – EDN ODOKND.
 20. Nazarov M. A. Study of the applicability of neuro-fuzzy and neural network modeling for highlighting and recognizing contours in images / M. A. Nazarov, L. Yu. Emaletdinova // Bulletin of Technological University. – 2024. – Vol. 27, No. 8. – P. 120–124. – DOI 10.55421/1998-7072_2024_27_8_120. – EDN EIOOEL.
 21. Krasnobaev E. A. Comparison of binary descriptors of image feature points under distortion conditions / E. A. Krasnobaev, D. V. Chistobaev, A. L. Malyshev // Computer Optics. – 2019. – Vol. 43, No. 3. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sravnenie-binarnykh-deskriptorov-osobykh-tochek-izobrazheniy-v-usloviyah-iskazheniy?ysclid=mgoxshunbt285338305> (accessed: 18.05.2026).
 22. Detectors and descriptors of feature points FAST, BRIEF, ORB // Habr. – 2018. – URL: <https://habr.com/ru/articles/414459/?ysclid=mgoxszfic050079200> (accessed: 18.05.2026).
 23. Khanova A. A. Overview of methods for extracting contours in images / A. A. Khanova, M. I. Ozerova. – Vladimir: Vladimir State University, 2020. – URL: https://iitr.vlsu.ru/images/sntk2020/ispi_3/ispi_3_5.pdf (accessed: 18.05.2026).
 24. Rublee E. ORB: An efficient alternative to SIFT or SURF / E. Rublee, V. Rabaud, K. Konolige, G. Bradski // IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV). – 2011. – P. 2564–2571. – DOI: 10.1109/ICCV.2011.6126544.

RESUME

V. V. Karabchevskii, M. P. Rudenko, Y. A. Yakubovskaja

Neural network based boundary detection and pattern recognition for 3d model reconstruction from images

Three-dimensional reconstruction of architectural objects from single photographs is critically important for digital heritage preservation; however, existing methods face significant limitations.

A comparative analysis of modern photogrammetric systems revealed that neural network-based solutions depend on a limited number of input images at the cost of reduced geometric accuracy, while traditional algorithms require processing of 25 or more photographs to achieve high-quality results.

To overcome these limitations, a hybrid algorithm is proposed that integrates U-Net-based neural network segmentation, Canny edge detection, and a modified Canny-Enhanced ORB (CE-ORB) algorithm for contour-oriented feature point detection, restricting keypoint search exclusively to object boundaries. The software implementation of the method demonstrates concentration of keypoints on structurally significant contours, reducing the number of noisy points and improving input data quality for subsequent 3D reconstruction.

The proposed approach establishes a robust foundation for single-image 3D model synthesis and can be integrated with structure-aware reconstruction methods to support digital preservation of cultural heritage.

РЕЗЮМЕ

Карабчевский В.В., Руденко М.П., Якубовская Ю.А.

Применение нейросетевого моделирования

для выделения границ и распознавания образов

в задачах синтеза моделей трёхмерных объектов по их изображению

Трёхмерная реконструкция архитектурных объектов по единичным снимкам критически важна для сохранения цифрового наследия, однако существующие методы имеют ограничения.

Сравнительный анализ современных фотограмметрических систем выявил зависимость нейросетевых решений от малого количества входных данных при снижении геометрической точности, а традиционных алгоритмов – от необходимости обработки 25 и более снимков для получения качественного результата.

Для преодоления этих ограничений предложен комбинированный алгоритм, объединяющий нейросетевую сегментацию на основе архитектуры U-Net, выделение границ детектором Кэнни и модифицированный алгоритм Canny-Enhanced ORB для поиска особых точек исключительно на контурах объектов. Программная реализация метода демонстрирует концентрацию ключевых точек на структурно значимых границах, что снижает количество «шумных» точек и улучшает входные данные для последующей 3D-реконструкции.

Предложенный подход формирует качественную основу для синтеза трёхмерных моделей по единичным изображениям и может быть интегрирован с методами структурно-ориентированной реконструкции для задач цифрового сохранения культурного наследия.

Карабчевский Виталий Владиславович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой компьютерного моделирования и дизайна ФГБОУ ВО «Донецкий национальный технический университет», 283001, г. Донецк, ул. Артема, д. 58, телефон +7(949) 435-2802, karabchevski@mail.ru. *Область научных интересов:* инновационные технологии преподавания графических дисциплин, математическое и геометрическое моделирование объектов и процессов, реконструкция объектов по их изображениям, генеративный дизайн. ORCID 0000-0003-2941-9916

Руденко Мария Павловна – кандидат технических наук, доцент кафедры компьютерного моделирования и дизайна ФГБОУ ВО «Донецкий национальный технический университет», 283001, г. Донецк, ул. Артема, д. 58, телефон +7(949) 332-1304, m.p.rudenko@mail.ru. *Область научных интересов:* трехмерное моделирование, виртуальная реконструкция, виртуальная и дополненная реальность, цифровые двойники. ORCID 0000-0002-4892-5315

Якубовская Юлия Алексеевна – аспирант, ассистент кафедры компьютерного моделирования и дизайна ФГБОУ ВО «Донецкий национальный технический университет», 283001, г. Донецк, ул. Артема, д. 58, телефон +7(949) 346-0105, iulia.yakubovskaja@yandex.ru. *Область научных интересов:* компьютерное зрение, фотограмметрические технологии, реконструкция объектов по их изображениям, нейросетевое моделирование, трехмерное моделирование, обработка изображений. ORCID 0009-0009-8648-8038

Karabchevskii Vitalii Vladislavovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Computer Modeling and Design, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Donetsk National Technical University", 283001, Donetsk, Artema str., 58, phone +7(949) 435-2802, karabchevski@mail.ru. Research interests: innovative technologies for teaching graphic disciplines, mathematical and geometric modeling of objects and processes, object reconstruction from images, generative design. ORCID 0000-0003-2941-9916

Rudenko Maria Pavlovna – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Computer Modeling and Design, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Donetsk National Technical University", 283001, Donetsk, Artema str., 58, phone +7(949) 332-1304, m.p.rudenko@mail.ru. Research interests: three-dimensional modeling, virtual reconstruction, virtual and augmented reality, digital twins. ORCID 0000-0002-4892-5315

Yakubovskaja Yulia Alekseevna – Postgraduate Student, Assistant of the Department of Computer Modeling and Design, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Donetsk National Technical University", 283001, Donetsk, Artema str., 58, phone +7(949) 346-0105, iulia.yakubovskaja@yandex.ru. Research interests: computer vision, photogrammetric technologies, object reconstruction from images, neural network modeling, three-dimensional modeling, image processing. ORCID 0009-0009-8648-8038

Статья поступила в редакцию 17.03.2026