

УДК 658.5

Автоматизация векторизации 2D-чертежей

Девятков Даниил Андреевич

divatov_daniil1999@mail.ru

Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова, Ижевск, Россия

Аннотация. Представлена методика автоматического анализа и обработки инженерных чертежей с использованием нейронных сетей и алгоритмов компьютерного зрения. Основное внимание уделено распознаванию контуров деталей, векторизации геометрии и классификации конструктивных элементов для последующего автоматизированного проектирования технологических процессов. Предложены такие решения как распознавание контура детали с применением нейронных сетей и векторизация геометрии. Разработанный подход позволяет автоматизировать процесс перевода растровых чертежей в векторное представление, обеспечивает точное выделение геометрических элементов и их классификацию для дальнейшего использования в технологической подготовке производства.

Ключевые слова: нейронные сети, компьютерное зрение, векторизация чертежей, распознавание контуров, классификация геометрических элементов, автоматизация проектирования

Automation of vectorization of 2D drawings

Devyatov Daniil Andreevich

divatov_daniil1999@mail.ru

Izhevsk State Technical University named after M.T. Kalashnikov, Izhevsk, Russia

Abstract. The paper presents a technique for automatic analysis and processing of engineering drawings using neural networks and computer vision algorithms. The main focus is on recognizing the contours of parts, vectoring geometry, and classifying structural elements for subsequent computer-aided design of technological processes. Solutions such as recognition of the contour of a part using neural networks, vectorization of geometry and template classification of elements are proposed. The developed approach makes it possible to automate the process of converting raster drawings into a vector representation, provides accurate selection of geometric elements and their classification for further use in the technological preparation of production.

Keywords: neural networks, computer vision, vectorization of drawings, contour recognition, classification of geometric elements, design automation

Введение. Современные промышленные производства сталкиваются с необходимостью быстрого освоения новых изделий, реинжиниринга (включая обратный) и оперативного развертывания производственных процессов [1]. Эти задачи невозможно решить без комплексной автоматизации, в том числе — автоматизации технологической подготовки производства. Однако существующие системы автоматизации [2] зачастую ориентированы на серийное

и крупносерийное производство, что существенно ограничивает их применение в условиях наукоемких, полиноменклатурных и специализированных производств.

Как показано в работах [3, 4] алгоритмы автоматизации технологической подготовки могут быть адаптированы для единичного и мелкосерийного производства [5]. Ключевой проблемой в этом случае становится автоматическая подготовка исходных данных, поскольку именно анализ конструкторской документации является критически важным «входным» этапом процесса [6]. В частности, особую актуальность приобретает автоматизация обработки 2D-чертежей — задача, особенно востребованная в условиях мелкосерийного производства, где требуется оперативный реинжиниринг и адаптация технологических процессов.

Для решения этой проблемы в данной работе предлагается метод автоматического распознавания геометрических элементов из чертежей, основанный на применении компьютерного зрения и векторного анализа. Такой подход позволяет не только ускорить процесс подготовки производственных данных, но и обеспечить необходимую гибкость для работы с разнородной номенклатурой изделий.

Методология.

Распознавание контура детали с использованием нейронных сетей. Для автоматического выделения геометрических элементов чертежа применяется следующий алгоритм обработки изображений, показанный на рис. 1.

Процесс автоматической обработки машиностроительных чертежей начинается с предварительной подготовки изображения, включающей нормализацию графических параметров (яркости, контраста) и адаптивное устранение возможных искажений. На этом этапе осуществляется подготовка исходных данных для последующего анализа.

Далее выполняется ключевой этап — анализ разбитого на подобласти (ячейки 3×3 или 5×5) чертежа с применением нейросети. Специально обученная модель последовательно классифицирует содержимое каждого сегмента, идентифицируя линии, штриховки и другие графические элементы. Особенность подхода заключается в контекстно-зависимом анализе, позволяющем учитывать, как геометрию текущего блока, так и его взаимосвязи (в том числе геометрические) с соседними блоками, что значительно повышает точность распознавания.

Результатом этой обработки становится формирование бинарной маски [7], где четко разделяются области детали (значения «1») и фона («0»), а также формируется и уточняется прямоугольная рамка, ограничивающая рабочую область. Для повышения точности выделения применяется морфологическая постобработка (замыкание/размыкание), устраняющая артефакты размером менее заданного порога. Особое внимание уделяется корректному разделению внешнего контура детали и внутренних элементов (отверстий, пазов, вырезов), для чего предусмотрено дополнительное уточнение топологии полученной маски.

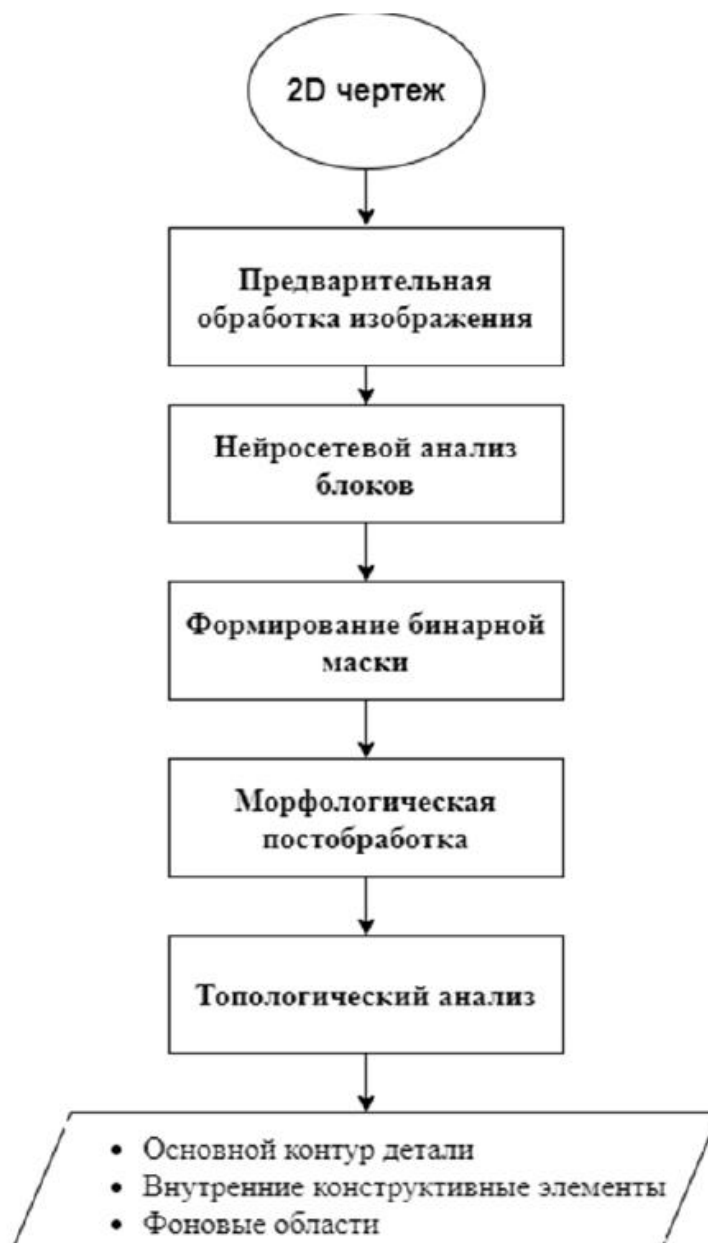


Рис. 1. Алгоритм обработки изображений

Завершающий этап — топологический анализ, который позволяет разделить основной контур детали, внутренние конструктивные элементы (отверстия, пазы, вырезы), а также фоновые области.

Такой поэтапный подход обеспечивает точное преобразование растрового чертежа в структурированный набор параметров, готовый для использования в системе автоматизированной технологической подготовки производства.

Векторизация геометрии и построение системы координат. После выделения контурных областей выполняется процедура точной векторизации геометрических элементов. В качестве базовой точки отсчета принимается нижний левый угол прямоугольной рамки (рис. 2), которой присваиваются координаты (0,0). Что обеспечивает переход к локальной независимой системе координат, учитывающей масштаб исходного чертежа.

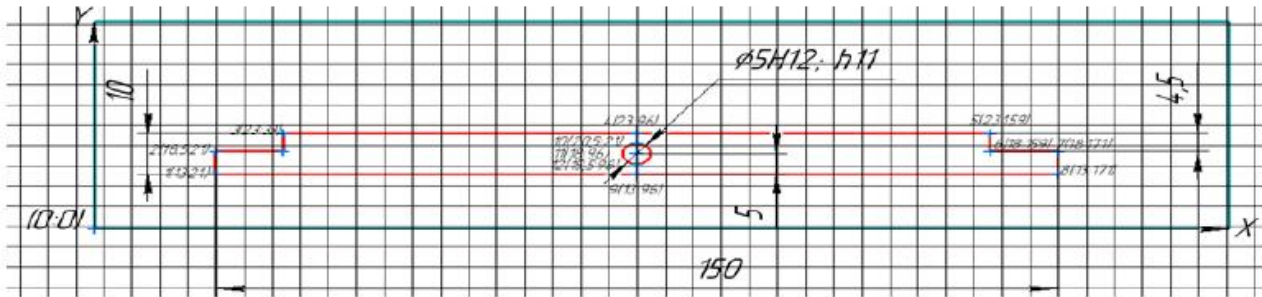


Рис. 2. Выделенная область векторизации

Для преобразования растрового контура в векторное представление применяется модифицированный алгоритм (рис. 3) с адаптивным порогом аппроксимации.



Рис. 3. Модифицированный алгоритм

Алгоритм преобразования растрового контура в векторный формат использует интеллектуальную аппроксимацию сегментов. Для прямых участков применяется взвешенный метод наименьших квадратов с проверкой коллинеарности ($R^2 > 0,98$). Криволинейные зоны, при отклонениях радиуса их дуг более чем на 1 %, обрабатываются итеративной круговой аппроксимацией, с автоматическим разбиением на дуги. Плотность контрольных точек динамически адаптируется по кривизне контура. Переходные участки анализируются через производные для точной классификации геометрических примитивов. Метод обеспечивает оптимальное соотношение точности и эффективности, сохраняя все конструктивные особенности детали.

Алгоритм включает комплексную валидацию результатов преобразования, обеспечивающую как топологическую корректность, так и геометрическую точность. На первом этапе выполняется проверка топологической целостности: анализируется отсутствие самопересечений контура, подтверждается замкнутость внешнего контура путем проверки совпадения начальной и конечной точек.

Полученные векторные данные сохраняются в структурированном формате, включающем систему координат и масштаб, координаты ключевых точек, типы сегментов (прямая/дуга), геометрические параметры элементов, топологические связи между контурами. Такое представление позволяет не только точно воспроизводить геометрию детали, но и автоматически вычислять все необходимые размеры, площади и другие параметры, требуемые для формирования технологического процесса. Для сложных контуров дополнительно применяется разбиение на элементарные геометрические

Выводы. В данной работе предложен комплексный метод автоматизированной обработки 2D-чертежей и их векторизации, сочетающий современные технологии компьютерного зрения и аналитической геометрии. Разработанный подход решает ключевую проблему автоматизации технологической подготовки производства для мелкосерийных и полиноменклатурных производств — быстрый и точный перевод конструкторской документации в машиночитаемый формат. Предложенное решение открывает новые возможности для цифровой трансформации машиностроительных предприятий, особенно в условиях динамично меняющейся номенклатуры изделий и требований к оперативному реинжинирингу.

Список источников

- [1] Девятков Д.А., Чернова А.А. Оценка возможности автоматизации формирования технологических процессов в мелкосерийном производстве. *Вестник ИжГТУ им. М.Т. Калашникова*, 2023, т. 26, № 3, с. 67–74.
- [2] Балашов А.И., Кошевой В.В., Савченко Е.А. *Управление жизненным циклом продукции*. Москва, Машиностроение, 2003.
- [3] Поляков Е.Ю., Кондусов Д.В., Кондусова В.Б. Унифицированная модель процесса автоматизации согласования документации технологической подготовки производства. *Автоматизация в промышленности*, 2023, № 6, с. 56–58. <https://doi.org/10.25728/avtprom.2023.06.13>

- [4] Попов В.Н., Батырева А.Б., Ковтун Л.И., Бояров И.П. Автоматизация накопления опыта оптимизации технологических процессов и минимизации рисков распределенного виртуального производства в ходе эксплуатации сервиса технологической подготовки производства. *Экономика. Право. Инновации*, 2019, № 1, с. 42–48.
- [5] Хрусталева И.Н., Любомудров С.А., Романов П.И. Автоматизация технологической подготовки единичного и мелкосерийного производства. *Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки*, 2018, т. 24, № 1, с. 113–121. <https://doi.org/10.18721/JEST.240111>
- [6] Кордюков А.В., Савченков М.И., Чернова А.А. Адаптация алгоритма работы системы автоматизированного проектирования технологического процесса для выполнения технологической подготовки в условиях мелкосерийного и единичного производства. *Вестник ИжГТУ им. М.Т. Калашникова*, 2023, т. 26, № 3, с. 26–32.
- [7] Hosang J.H., Benenson R., Schiele B. Learning Non-maximum Suppression. *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2017, pp. 6469–6477. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2017.685>