

УДК 004.8

DOI 10.47928/1726-9946-2021-21-3-34-42

Анализ современных подходов к автоматизированной оцифровке растровых чертежей

Дюкарева В.М.

Представлено академиком АМАН З.М. Шибзуховым

В настоящее время в мире заметна тенденция к отказу от бумажных носителей в пользу электронных, поскольку их удобнее тиражировать, хранить, передавать и изменять. Но вместе с системами и документацией на предприятиях также существуют масштабные архивы, оцифровка которых оценивается в тысячи человеко-часов. Поэтому автоматизация переноса растровых чертежей в электронный вид в настоящее время является актуальной и востребованной задачей.

В рамках данного исследования рассматривались существующие индустриальные системы, а также опубликованные исследования научных групп по проблеме распознавания растровых чертежей и преобразование их в векторные модели. Для их сравнения было введено несколько критериев: используемые технологии и алгоритмы, функциональность (например, распознавание текста, частей или всего чертежа, преобразование растрового изображения в векторное), получение двумерной или трехмерной модели на выходе, а также дополнительные ограничения. Целью работы является исследование вопроса: существует ли алгоритм или реализованное программное обеспечение для перевода чертежа некоторой детали с бумажного носителя в 2D модель, пригодную для дальнейшей работы с помощью систем автоматического проектирования. В рамках исследования был выполнен анализ научной литературы по данной тематике, а также изучение коммерческих систем. Для поиска научной литературы использовался Google Scholar с ключевыми словами: «drawings», «recognition», «automatization». Статьи должны были описывать алгоритмы, методологии или, по крайней мере, концепции, позволяющие ответить на обозначенную выше проблему. Также внимание было уделено ссылкам на литературу в рассмотренных статьях. После этого были изучены существующие и доступные для широкого круга пользователей коммерческие системы. Такое программное обеспечение должно не только поддерживать базовые операции с растровыми изображениями, которые получались после сканирования бумажного чертежа, но и учитывать их специфику. Например, распознавать обозначения или отделять рамки и таблицы от основного рисунка.

В работе [1] приводится сравнение методов для преобразования САД-моделей чертежей в САМ. Были рассмотрены как алгоритмы нейронных сетей, так и другие, например, основанные на теории графов. Кроме того, приведена точность распознавания, рассчитанная на ста чертежах.

Авторы работы [2] концентрируются на проблеме сравнения САД-моделей и поиска похожих чертежей среди уже существующих в базе данных. Используя алгоритм Opitz code авторы предложили кодировать исходные данные для дальнейшего их сопоставления.

Среди русскоязычных исследовательских групп выделяется серия статей [3, 4], посвященных преобразованию чертежей в цифровую 3D модель, созданная учеными из Нижегородского государственного архитектурно-строительного университета. В ней наиболее полно описывается процесс от распознавания чертежа до построения его 3D-модели, с применением теории графов, концепции полей недостающей поверхности и мостов.

Работа [5] исследует применение нейронных сетей для извлечения и разделение элементов бумажных чертежей, таких как линии и пересечения. Кроме того, описываемая система способна проводить векторизацию растровых исходных данных.

Другое исследование [6] продолжает тему алгоритмов нейронных сетей и рассматривает два их типа: YOLO и MFC-GAN. Отмечается также проблема неоднородности исходных данных. Так, первый названный алгоритм применяется для распознавания символов, а второй для компенсации редко встречаемых элементов. Обучение моделей проводилось на чертежах труб.

В таблице 1 приведено сравнение статей по нескольким критериям: описываемые в статье технологии и алгоритмы, перечень задач, которые можно решить с помощью предлагаемых подходов (столбец «Доступные функции»), тип исходного изображения – растрер или вектор, рассматривается ли распознавание текста, тип выходной модели («Генерация 2D или 3D модели»). Таким образом можно сделать вывод, что большинство существующих научных исследований рассматривают смежные или части обозначенной проблемы. Например, распознавание отдельных элементов на чертежах труб или распознавание текста, а также построение 3D-модели по уже оцифрованному или изначально созданному при помощи программного обеспечения векторному изображению, восстановление ошибок в моделях. Можно сказать, что основной повесткой в этой области является преобразование моделей чертежей в форматы, доступные для «понимания» оборудованием в дальнейшем производстве (так называемые САМ-системы). Алгоритмы и технологии, представляющие наибольший интерес, будут рассмотрены ниже.

Также были изучены 6 индустриальных систем, предназначенных для работы с растровой графикой или поддерживающих ее: AutoCAD Raster Design Tool [7], AutoDWG PDF to DWG [8], Scan2CAD [9], inkscape [10], PlanTracer [11], Bentley Descartess [12]. Системы оценивались по следующим критериям:

1. возможность работать с отсканированными чертежами в формате pdf;
2. возможность векторизовать растровое изображение;
3. возможность распознавать текст на русском языке;
4. модель, получаемая в результате работы приложения: двухмерная или трехмерная.

AutoCAD Raster Design Tool является расширением для программ AutoCAD и предназначен для распознавания чертежей из растровой картинки. Согласно описанию, возможен импорт из файла в нужном формате pdf.

Таблица 1

Научные исследования в области распознавания чертежей

Источник	Описание	Технологии и алгоритмы	Доступные функции	Тип изображения на входе	Распознавание текста	Генерация 2D или 3D модели
[1]	Сравнение методов для преобразования САД в САМ	- алгоритм AUTOFEAT - feature recognition, - Graph Theory-Based Approach, - Part Recognition algorithm, - Intelligent Feature Recognition Methodology (IFEM)	Распознавание элементов чертежа, распознавание негеометрических данных (текст)	Вектор	Нет	2D
[2]	Сравнение САД моделей. Поиск похожих моделей по заданной. По двум чертежам строятся коды, и они сравниваются.	Optiz coding systemСвой алгоритм для поиска похожести между чертежами. Распознавание строится на основе rule-based system	Чтение и первичная обработка файла САД, распознавание и кодирование модели, поиск похожих на распознанную модель, работа с репозиторием/хранением моделей	Вектор	Нет	3D/2D
[3]	Построение трехмерной модели по двумерным векторным чертежам	Предложен алгоритм, в рамках которого чертеж представляется в виде графа. Если на нем размещено несколько проекций, то каждая будет представлять собой компонент связности. Выделяется ограничивающая область в виде прямоугольника. Затем каждая кривая или отрезок распределяются по компонентам связности.	Распознавание на поле чертежа всех содержащихся на нем проекционных видов	Вектор	Нет	2D/3D
[5]	Извлечение и разделение элементов чертежа, таких как линии и пересечения.	Многоуровневые нейронные сети. НС1 извлекает прямые и наклонные линии из источника, НС2 определяет оставшиеся части изображения.	Распознавание на чертежах основных элементов (линии, пересечения, углы), векторизация	Растр	Нет	2D
[6]	Предназначен для нахождения и распознавания элементов чертежа (обучение проводилось по чертежам труб)	Generative Adversarial Neural Networks. Распознавание символов - YOLO, классификация в неоднородном датасете - MFC-GAN	Предобработка изображения (разбиение изображения на более мелкие), выделение элементов на чертеже (кроме линий, стрелок и т.д.), классификация элементов	Растр	Да	2D
[4]	Рассмотрены проблемы устранения разрывов поверхности в САД моделях, полученных в результате обработки данных лазерного сканирования и фотограмметрии.	Поле недостающей поверхности, концевия мостов	Устранение разрывов на чертеже	Растр	Нет	2D

AutoDWG PDF to DWG используется для конвертации сканированных чертежей в DWG формат, а также способен распознавать текст. В ходе пробного тестирования на нескольких чертежах в pdf формате, значительных ошибок найдено не было. Однако, при распознавании русского языка возникают проблем с кодировкой.

Аналогичную задачу выполняет и система Scan2CAD, но она преобразовывает окружности в набор линий, что затрудняет дальнейшую работу с моделью.

Система Inkscape представляет собой приложение для работы с векторной графикой, позволяет преобразовывать растровое изображение и редактировать его. Однако, является неспециализированной системой, вследствие чего не может учитывать особенности работы с чертежами.

Система PlanTracer предназначен для создания технических и межевых планов на все виды объектов кадастрового учета, например, распознавания чертежей поэтажных планов. Позволяет выполнять подготовительные манипуляции с чертежами, например, удаление растрового мусора, выравнивание изображения, и преобразования в вектор. Из-за специфики исходных материалов, для работы с которыми предназначено приложение, его сложно применять для подобной документации других типов.

Bentley Descartess – это система для моделирования местности и инфраструктуры, предоставляет возможности для конвертирования растровых документов в векторные чертежи, а также их редактирования. Основным недостатком является географическое ограничение распространения программного обеспечения границами США.

В таблице 2 представлено сравнение перечисленных систем по ряду критериев. Кроме названия и краткого описания (столбцы «Название» и «Описание»), также приводится перечень доступных функций, которые можно применить для решения поставленного вопроса (столбец «Доступные функции»). «Применимость к задаче исследования» указывает на то, подходит ли рассматриваемое программное обеспечение для оцифровки чертежа или нет. При заполнения этой графы было важно, чтобы система также учитывала специфику работ с чертежами деталей или, по крайней мере, была способна построить модель по растровому изображению. Также в таблицы приведены поддерживаемые типы исходных файлов (графа «Расширения файлов»). «Генерация 2D или 3D модели» — вид модели, которую можно получить в результате работы приложения. «Распознавание теста» необходимая графа, так как чертеж, кроме непосредственно рисунка детали, имеет важную информацию, например, о масштабе, назначении или размерах частей изделия. «Ограничения» описывают основные недостатки или иные затруднения, которые необходимо учитывать при использовании того или иного программного обеспечения. Например, территориальная ограниченность или некорректное векторное преобразование.

В проблеме нахождения похожих деталей [2] применяют подход, базирующийся на наборе правил и системе кодирования Optiz и позволяющий их классифицировать. Каждому элементу чертежа присваивается последовательность из 14 цифр, разделенных по трем секциям. Первые две описывают геометрию, размеры, материал и другие параметры. Последняя предназначена для самостоятельного расширения под уникальные требования. Система правил, анализирующая, например, форму детали на чертеже позволяет однозначно и с возможностью воспроизведения кодировать исходные данные. Сравнивая полученные коды у разных исходных данных можно выявить похожие модели.

Таблица 2

Современные коммерческие системы по оцифровке чертежей

Название	Описание	Доступные функции	Расширения файлов	Распознавание теста	Генерация 2D или 3D модели	Ограничения	Приемимость к задаче исследования
AutoCAD Raster Design Tool	Распознавание чертежа из растровой картинки	Импорт из файлов PDF: импорт геометрии (включая файлы шрифтов SHX, заливки, растровых изображений и текста TrueType) в чертеж из файла PDF. Преобразование в вектор.	PDF	Нет информации	Нет информации	Нет информации	
Scan2CAD	Преобразование растровых элементов в соответствующие векторы	Преобразование растра в вектор, распознавание текста, очистка текста	AI, BMP, DWG, DXF, EMF, GIF, IMG, JPE, JPEG, JPG, JPT, MIP, PDF, PLT, PNG, SVG, TAP, TIF, TIFF, WMF и другие	+ (Scan2CAD's Optical Character Recognition)	2D	Круги распознает как набор линий, плохо преобразовывает pdf в растр и вектор	
Inkscape	Работа с векторной графикой	Редактирование изображения	SVG, AI, EPS, PDF, PS и PNG	-	2D	Несподвижный графический редактор	
PlanTracer	Предназначен для создания технических и межевых планов на все виды объектов кадастрового учета, например, распознавания чертежей поэтажных планов	Выравнивание изображения, удаление растрового мусора, преобразование в вектор	.dwg, *.dxf, *.dwt, *.dwg-файлов AutoCAD	+	2D	-	Применим для поэтажных планов, но не для чертежей деталей
Bentley Descartess	ПО для моделирования местности и инфраструктуры.	Конвертирование растровых документов в векторные чертежи, растровое и векторное редактирование	ECW, PDF, IMG, JPEG 2000, BIL, DOC, TIFF, GEOTIFF, COT, JPEG, RLC, RS, HMR, BMP и другие	+ (Optical character recognition (OCR))	3D	Доступ к ПО только из США	
AutoDWG PDF to DWG	Приложение для конвертации сканированных чертежей в DWG формат	Распознавание текста, распознавание рукописных чертежей, импорт в DWG и DXF, векторизация	PDF	+	2D	Не поддерживает распознавание русского языка (вместо него белые квадраты)	Да

В работе [4] ставится задача автоматического восстановления недостающих частей чертежа. Так как исходное изображение является растровым, то оно состоит из точек. Если их набор не связан с другими точками (изолирован), то его называют островом точек.

Между такими островами строятся узкие полоски. Устремляя ширину такой полоски к 0, получаем кривую с определенным вдоль нее вектором нормали, соединяющую две граничных точки РП — это называется мостом. Затем алгоритм подбирает оптимальные мосты, которые позволят достроить недостающие элементы чертежа. Для этого анализируются следующие показатели: вектор, основанный на направлении моста (сила), вероятности прохождения моста через точку X , а не Y (потенциал), сумме длин векторов всех мостов в данной точке (показатель притяжения), вектор, показывающий наиболее вероятное направление вектора внешней нормали недостающей поверхности в точке (нормаль) X . Если потенциал равен 0, то сила, нормаль и показатель притяжения тоже равны 0. Подход может быть использован как для «сырых» данных (в этом случае модель будет построена без недостающей поверхности), так и на уже прошедших обработку другими алгоритмами.

Другие исследования используют уже реализованные технологии, например, нейросеть YOLO, предназначенная для распознавания объектов на изображении (в рамках [6]), используется для определения символов. Алгоритм делит исходные данные на ячейки $S \times S$, каждая из которых назначается ответственной за объект, центр которого в ней находится. Ее задача — предсказать границы объекта, определить его класс и вероятность присутствия на изображении. У одной такой ячейки может быть только один набор вероятностей, в результате анализа которого получаем оценку для конкретного класса. Согласно [6], точность распознавания достигает 92%. Другим примером является алгоритм Autofeat [1], являющийся библиотекой для языка программирования Python. Он позволяет классифицировать объекты на чертеже, основываясь на линейной регрессии.

Алгоритм Feature Recognition очень плохо справляется с данными, в который присутствует шум или с неполными данными. Он позволяет определить такие элементы чертежа как отверстия, выступы и другие, а затем передать их в систему автоматической технологической подготовки производства (САПП).

Основанный на теории графов подход позволяет построить модель чертежа. Является вторым по частоте использования в статьях [1, 3]. По данным [1] также устойчив к наличию шума в исходных данных (к сожалению, исследователи не объяснили результаты тестирования этого метода — 55 из 100 чертежей без шумов, 87 из 100 чертежей с шумами, предположительно, такой скачок можно объяснить особенностями исходных чертежей, необходимо более подробное исследование). Алгоритм Part Recognition [1] использует для распознавания экспертную систему и используется для преобразования модели САД в формат, доступный для понимания САМ-системам. Методология Intelligent Feature Recognition (IFRM) [1] используется для создания стандартной структуры для всех САД-пакетов, однако, не умеет распознавать и выделять 2D САД-данные, то есть не может решать проблему данного исследования.

В заключении можно сделать вывод, что среди существующих промышленных систем вышеописанная проблема решается в достаточном объеме, однако такие системы

обладают рядом недостатков, например, преобразованием растрового круга в набор векторных прямых, сложных для редактирования. Лучше всего себя показывает индустриальная система AutoDWG PDF to DWG, которая преобразует бумажные чертежи в двухмерные модели без заметных ошибок, а также распознает русский текст. В то же время научные исследования сосредотачиваются на решении проблемы преобразования уже оцифрованных чертежей в 3D-модели или в структуры, понятные исполняемому производственному оборудованию и прочим схожим по области применения задачам. Работы, относящиеся к автоматизации оцифровки растровых чертежей датируются, чаще всего, началом 21 века, и не могут учесть современные инструменты для распознавания. Это и представляет собой область для дальнейших исследований. Чаще всего применяются алгоритмы распознавания на основе нейронных сетей, а также теории графов. Наиболее результативными представляются первые, так как в них точность распознавания достигает 95%. Для решения проблемы распознавания чертежей из растровых исходных данных наибольший интерес представляют как эти алгоритмы, так и подход, использующий концепцию мостов и поля недостающей поверхности.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Mohamad Faizal Ab. Jabal, Mohd. Shafry Mohd. Rahim, Nur Zuraifah Syazrah Othman, Zahabidin Jupri* A comparative study on extraction and recognition method of CAD data from CAD drawings // International Conference on Information Management and Engineering, Kuala Lumpur, Malaysia: IEEE, 2009, pp. 709-713.
2. *Zehtaban L., Elazhary O., Roller D.* A framework for similarity recognition of CAD models // Journal of Computational Design and Engineering, 2016, no. 3, pp. 274-285.
3. *Жилина Н.Д., Мошкова Т.В., Роменский С.А., Ротков С.И., Тюрина В.А.* Распознавание компонент связности в задаче восстановления трехмерной модели по проекционным изображениям // Труды международной конференции по компьютерной графике и зрению "Графикон". 2019. № 29. С. 185-187.
4. *Астахов Ю.С., Емельянов А.И., Клименко С.В., Ротков С.И.* Восстановление не полностью реконструированных САД-моделей // Приволжский научный журнал. 2012. № 3(23). С. 94-99.
5. *Wanga Z., Tsumuraa K., Saitoa Y.* Recognition of hand-written mechanical drawing by multi-level neural network (MLNN) // Seventh International Conference on Production/Precision Engineering, 4th International Conference on High Technology. Chiba Japan: 1994, pp. 1-6.
6. *Elyan E., Jamieson L., Ali-Gombe A.* Deep learning for symbols detection and classification in engineering drawings // Neural Networks. September 2020, no. 129, pp. 91-102.
7. Инструментарий Raster Design входит в состав AutoCAD URL: <https://www.autodesk.ru/products/autocad/> (дата обращения: 09.01.2020)
8. PDF to DWG Converter URL: <https://www.autodwg.com/pdf-to-dwg-converter/> (дата обращения: 09.01.2020).
9. Scan2CAD | Raster to Vector Software | Convert Images to CAD URL: <https://www.scan2cad.com> (дата обращения: 09.01.2020).
10. INKSCAPE URL: <https://inkscape.org/ru/> (дата обращения: 13.11.2020).

11. PlanTracer - серия программ для кадастровых инженеров URL: <https://www.plantracer.ru/> (дата обращения: 13.11.2020).
12. Усовершенствованная обработка данных для трехмерных изображений // Bentley Descartes URL: <https://www.bentley.com/ru/products/product-line/reality-modeling-software/bentley-descartes> (дата обращения: 7.12.2020).

ABSTRACT

Nowadays, manufacturers, as well as distributors, have a large amount of paper-based technical drawings. The development of information and communication technologies last year cause the task of such drawing digitalization. The task becomes popular 20 years ago in the research and development community (R&D) and now it is still opened since it has not been solved completely. Now there is a lot of scientific papers as well as a lot of commercial systems that have been created to support such a process. R&D community considers the following tasks: converting a raster drawing to vector, noise removing, etc. Some of them can recognize scanned drawings with good quality. The paper aims to analyze current research and developments for the raster drawings digitalization automation. We consider and analyze different approaches that allow supporting the digitalization process: neural networks (YOLO, MFC-gan, AUTOFEAT, intelligent feature recognition methodology), graph theory-based approach, an algorithm based on a set of rules and Opitz coding system, an algorithm based on field losses of the surface and the concept of bridges. There is commercial software that supports the digitalization process for the PDF that has been exported from the CAD software. However, scanned image recognition does not work fine.

Keywords: drawings, recognition, automatization.

*St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences,
St. Petersburg*

© V.M. Diukareva, 2021

АННОТАЦИЯ

В настоящее время производственные компании имеют большое количество технических чертежей на бумажной основе. При этом развитие информационных технологий обусловило задачу оцифровки чертежей. Она стала популярной 20 лет назад, но до сих пор не решена в полном объеме. На данный момент существует множество научных работ, а также коммерческих систем, которые были созданы для поддержки процесса оцифровки. Существующее программное обеспечение рассматривает следующие задачи: преобразование растрового рисунка в векторный, удаление шума и т.д. Некоторые из них могут распознавать отсканированные рисунки с хорошим качеством. Целью данной статьи является анализ текущих исследований и разработок в области автоматизации оцифровки растровых чертежей, а также различных подходов, позволяющих поддерживать процесс оцифровки с использованием современных технологий искусственного интеллекта: нейронные сети (YOLO, MFC-gan, AUTOFEAT, методология интеллектуального распознавания объектов); подходы, основанные на теории графов; алгоритмы, основанные на наборе правил и системе кодирования Opitz; алгоритмы, основанные на потерях поля поверхности и концепции мостов. Существует коммерческое программное обеспечение, которое поддерживает процесс оцифровки PDF - файла, экспортированного из программного обеспечения

САПР. Однако, распознавание отсканированных изображений на сегодняшний день является нерешенной задачей в общем виде.

Ключевые слова: чертежи, автоматизация, распознавание.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук, Санкт-Петербург

© В.М. Дюкарева, 2021