

Комбинаторно–геометрические задачи интеллектуальных информационных технологий обработки графических документов со слабо-формализованным описанием объектов различной физической природы

Д.Ю. Васин¹, С.И. Ротков²

¹ Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского" (ННГУ), пр. Гагарина, 23, Нижний Новгород, 603022, Россия

² Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, ул. Ильинская, 65, Нижний Новгород, 603950, Россия

Аннотация

В статье рассматриваются комбинаторно–геометрические современные подходы к созданию и использованию автоматических / автоматизированных информационных технологий обработки сложноструктурированных растровых графических документов со слабо-формализованным описанием объектов. В основе используемого комбинаторно–геометрического подхода анализ видеоданных рассматривается с единой точки зрения построения иерархии взаимосвязанных моделей описания, представления структур данных и принятия решений, а также узкоспециализированных алгоритмов обработки. На нижнем уровне иерархии обрабатывается растровая информация с цифрового устройства ввода (сканеры, цифровые видеокамеры, различные датчики), а верхний уровень иерархии соответствует описанию графического документа в терминах соответствующей предметной области. Определены особенности технологий обработки указанного класса документов. Базовые задачи анализа графических документов со слабо–формализованным описанием изображенных объектов сформулированы как задачи вычислительной геометрии на многоугольниках (контурах), ломаных линиях и точках. Рассмотрены комбинаторно–геометрические задачи ввода изображений. Приведены оценки временной сложности основных комбинаторно–геометрических алгоритмов. Рассмотрены вопросы развития методологической, алгоритмической и программной базы с целью дальнейшего повышения эффективности разрабатываемых программно–аппаратных комплексов и автоматических технологий обработки указанного класса документов.

Ключевые слова

Комбинаторно–геометрические задачи, структуры данных и алгоритмы; информационные технологии обработки растровых, графических документов; пространственно-распределенные данные; модели представления растровых и векторных изображений; геометрическое моделирование; комбинаторно–геометрический подход к обработке пространственно-распределенных данных; оценка эффективности алгоритма.

Combinatorial-geometric Problems of Intelligent Information Technologies for Processing Graphic Documents with a Weakly Formalized Description of Objects of Various Physical Nature

D. Ju. Vasin¹, S.I. Rotkov²

¹ National Research Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Prospekt Gagarina, 23, Nizhny Novgorod, 603950, Russia

ГрафиКон 2022: 32-я Международная конференция по компьютерной графике и машинному зрению, 19-22 сентября 2022 г., Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина, Рязань, Россия

EMAIL: dm04@list.ru (Д.Ю.Васин); gotkovs@mail.ru (С.И.Ротков)
ORCID: 0000-0002-4341-2457 (Д.Ю.Васин); 0000-0002-0662-7619 (С.И.Ротков)



© 2022 Copyright for this paper by its authors.
Use permitted under Creative Commons License Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).

² Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering, Ilyinskaya street, 65, Nizhny Novgorod, 603952, Russia

Abstract

The article deals with combinatorial-geometric modern approaches to the creation and use of automatic / automated information technologies for processing complexly structured raster graphic documents with a poorly formalized description of objects. At the heart of the used combinatorial-geometric approach, the analysis of video data is considered from a unified point of view of building a hierarchy of interrelated models of description, representation of data structures and decision making, as well as highly specialized processing algorithms. At the lower level of the hierarchy, raster information is processed from a digital input device (scanners, digital video cameras, various sensors), and the upper level of the hierarchy corresponds to the description of a graphic document in terms of the corresponding subject area. The features of technologies for processing the specified class of documents are determined. The basic problems of analyzing graphic documents with a weakly formalized description of the depicted objects are formulated as problems of computational geometry on polygons (contours), broken lines and points. Combinatorial-geometric problems of image input are considered. Estimates of the time complexity of the main combinatorial-geometric algorithms are given. The issues of development of the methodological, algorithmic and software base are considered in order to further increase the efficiency of the developed software and hardware systems and automatic technologies for processing the specified class of documents.

Keywords

Combinatorial geometric problems, data structures and algorithms; information technologies for processing raster, graphic documents; spatially distributed data; representation models of raster and vector images; geometric modeling; combinatorial-geometric approach to the processing of spatially distributed data; estimation of algorithm efficiency.

1. Введение

В целях защиты национальных интересов, устойчивого развития экономики, укрепления обороноспособности РФ, определены национальные цели развития России до 2030 года, обозначенные в Указе Президента РФ № 474 от 21.07.20г. [1], одной из которых является цифровая трансформация народного хозяйства. Указанная цель неразрывно связанная с другим реализуемым в стране масштабным проектом по импортозамещению в сфере информационно-коммуникационных технологий.

Актуальность разработки отечественного ПО и формируемых на этой основе IT-технологий различной направленности применительно к госорганам и компаниям с государственным участием обусловлена действующим на основании Постановления Правительства РФ № 1236 от 16.11.15г. [2] запретом с 01.01.16 г. на приобретение программ для ЭВМ и баз данных иностранного происхождения и прав на них в рамках закупок для обеспечения государственных и муниципальных нужд, если в едином реестре российских программ для ЭВМ и баз данных есть аналоги того же класса, что и планируемое к приобретению ПО.

Дополнительным стимулом развития отечественного ПО явился запрет с 31.03.22г отдельным юридическим лицам, перечисленным в ФЗ №223-ФЗ от 18.07.11 [3], осуществлять закупки иностранного ПО, используемого на значимых объектах/субъектах критической информационной инфраструктуры (КИИ) без согласования с уполномоченным Правительством РФ федеральным органом исполнительной власти (Указ Президента РФ №166 от 30.03.22 г. [4]). А с 01.01.25 г. таким заказчикам и органам власти в принципе нельзя будет использовать иностранное ПО на значимых объектах/субъектах КИИ. К ним относятся: информационные системы, информационно-телекоммуникационные сети, автоматизированные системы управления органов государственной власти (АСУ ОГВ), государственных учреждений, функционирующих в сферах здравоохранения, науки, транспорта, связи, энергетики, включая атомную, топливно-энергетического комплекса, финансово-банковской сфере, оборонной, ракетно-космической, горнодобывающей, металлургической и химической промышленности, российские юридические и/или физические лица, обеспечивающие взаимодействие указанных систем/сетей.

Весной 2022г. по политическим мотивам многие иностранные IT-компании (Adobe, Alphabet, Amazon, AMD, Apple, Autodesk, Buypass, Cisco, Dell Technologies, Ericsson, Fortinet, GitLab, HPE, IBM, Intel, JetBrains, Microsoft, NetApp, Oracle, Red Hat, SAP, TeamViewer, VMware и др.) приостановили или полностью прекратили деятельность в РФ, что делает невозможным или существенно ограничивает не только покупку их программных и аппаратных продуктов российскими пользователями, но и обновление и техподдержку ранее приобретенных, что само по себе должно послужить серьезным стимулом для перехода на отечественные аналоги.

В «Стратегии научно–технологического развития РФ» [5], утвержденной Указом Президента РФ №642 от 01.12.16г в разделе «Приоритеты и перспективы научно–технологического развития РФ» указано, что «в ближайшие 10–15 лет приоритетами научно–технологического развития РФ следует считать те направления, которые позволят получить научные и научно–технические результаты и создать технологии, являющиеся основой инновационного развития внутреннего рынка продуктов и услуг, устойчивого положения РФ на внешнем рынке, и обеспечат переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам, новым материалам и способам конструирования, создание систем обработки больших объемов данных, машинного обучения и искусственного интеллекта, при этом отмечается ведущая роль технологий хранения и обработки больших объемов пространственно-распределенных данных (ПРД), технологий поиска и распознавания.

ПРД широко применяются в различных научных исследованиях, в эффективном управлении территориями, мониторинге опасных техногенных и природных объектов, организации различных спасательных работ при чрезвычайных природных и техногенных катастрофах, строительстве, картографическом производстве, медицине, в разработке и создании новых видов высокоточного оружия, системах навигации нового поколения и т.д.

Начиная с 2000–х годов, практикой выдвинута проблема автоматической обработки графических документов со слабо формализованным описанием объектов (СФГД). К этому классу относятся документы, выполненные с нарушениями правил номенклатурного описания объектов: растровые данные, получаемые с космических летательных аппаратов, топографические (ТНК) и морские навигационные (МНК) карты и планы, промерные планшеты гидрографической съемки (ПГС), различные конструкторские чертежи, планы, схемы и пр., т.е. относящиеся к документам массового типа. Получаемые в результате обработки таких документов векторные модели, как основа для применения в дальнейшем различных алгоритмов автоматического распознавания, как правило, не соответствуют эталонному формату представления данных и обладают специфичностью как по объектовому составу, так и по способам их задания, но обладают некоторой стилизованной формой представления. Это позволяет все сходные по форме объекты относить к одному классу эквивалентности, но, в целом, в ходе автоматической обработки, неизбежно увеличивается процент неверно распознанных объектов и, как следствие, накладные временные расходы, связанные с интерактивным контролем и исправлением ошибок.

В настоящее время наблюдается повышение активности в области обработки данных дистанционного зондирования Земли: разрабатываются новые и совершенствуются существующие методы анализа данных, получаемых с космических летательных аппаратов, включая новейшие гиперспектральные данные, создаются новые программные комплексы, модернизируются методы обработки изображений высокого разрешения, совершенствуется оборудование космических аппаратов и наземных станций управления, наблюдается стабильный рост их количества, расширение функциональных возможностей и спектра выполняемых задач. В сферу применения искусственных спутников Земли входят мониторинг лесных, сельскохозяйственных и арктических зон, анализ природных катаклизмов, охрана окружающей среды, планирование и развитие городской инфраструктуры, государственная безопасность и др. В последние десятилетия развиваются и совершенствуются программные комплексы, ориентированные на обработку визуальных космических данных [6].

При этом сейчас не создана единая информационная и вычислительная сеть для обмена космическими графическими данными. Это негативно сказывается на развитии научных и прикладных исследований, тормозит интеграцию разнородной информации по большим территориям.

Автоматический ввод графических данных, получаемых с космических летательных аппаратов, еще более расширил и усложнил круг рассматриваемых проблем. В первую очередь это связано с огромными объемами поступающих космических данных. По оценкам на территорию Российской Федерации общий объем получаемых слабоструктурированных данных дистанционного зондирования Земли превышает 500 терабайт в год. Это диктует необходимость дальнейшего развития, разработки и внедрения новых высокопроизводительных систем обработки с применением параллельных методов, суперкомпьютеров, облачных технологий и высокочастотных средств коммуникации [6, 7].

Указанные причины выдвигают повышенные требования к временной и емкостной сложности алгоритмов предобработки, поиска, хранения и комплексного анализа разнородной тематической графической и семантической информации ПРД, представленной на цифровых СФГД. Требуется дальнейшее развитие существующих, а также разработка эффективных новых моделей, методов, алгоритмов и внедрение инновационных высокопроизводительных интеллектуальных технологий и ПО обработки и анализа разнородной информации.

Отметим, что рост сложных задач, решение которых связано с применением современных ИТ-технологий, ведет к необходимости использования параллельных вычислений. Параллельные вычисления носят междисциплинарный характер. Они затрагивают, в частности, такие области, как численные методы, структуры и алгоритмы обработки данных, аппаратное и программное обеспечение, системный анализ. Это позволяет применять знания, полученные при изучении параллельных вычислений, в различных сферах научно-практической деятельности [7].

Разнообразные исследования по указанной проблематике проводятся во многих научных организациях как в РФ, так и за рубежом, однако внедрение в производственную эксплуатацию отечественного ПО для решения широкого спектра задач обработки и анализа ПРД практически отсутствует. По оценкам, в настоящее время до 90% отечественных потребителей используют зарубежные технологии и ПО оцифровки, обработки, анализа и хранения ПРД.

Отмеченные сложные задачи, многие из которых имеют системный характер, требуют создания новейших отечественных конкурентоспособных, импортозамещающих информационных технологий и базовых программно-аппаратных комплексов (ПАК) для решения задач обработки, хранения, передачи и анализа ПРД, разрабатываемых на основе некоторой единой методологической базы.

Возможность использования рассматриваемых технологий в ГИС и САПР накладывают дополнительные ограничения, связанные с необходимостью решения задач в режиме реального времени и при ограниченных ресурсах вычислительных систем, а также естественным желанием иметь возможность встраивать вновь появляющиеся технологии (отдельные этапы технологии) в уже существующие решения.

2. Комбинаторно-геометрический подход в технологиях обработки сложноструктурированной графической информации

В качестве единой методологической базы может использоваться предложенный в 80-х годах группой Нижегородских ученых (Ю.Г. Васин, О.А. Башкиров, Б.М. Чудинович) комбинаторно-геометрический подход (КГП) для решения задач анализа видеоданных [8]. В его основе анализ видеоданных рассматривается с единой точки зрения построения иерархии взаимосвязанных моделей описания, представления структур данных и принятия решений, а также узкоспециализированных алгоритмов обработки. На нижнем уровне иерархии обрабатывается растровая информация с цифрового устройства ввода (сканеры, цифровые видеокамеры, различные датчики), а верхний уровень иерархии соответствует описанию графического документа в терминах соответствующей предметной области. Реализация заявленного подхода потребовала создания иерархии взаимосвязанных моделей описания, начиная с нижнего растрового, с переходом на промежуточный векторный и, наконец, выходом на верхний – предметно-ориентированный уровень принятия решений. Изначально были предложены растровая штриховая, являющаяся развитием классической пиксельной модели, а также

формируемые на основе штриховой модели векторные контурная и линейно–контурная модели. Данные модели допускали взаимно–обратные переходы из одной в другую [9].

Автоматизация обработки документов со слабо–формализованным описанием объектов потребовала расширения состава моделей как растрового, так и векторного уровней. На растровом уровне были предложены модели растровых простых (РПО) и растровых составных (РСО) объектов, на векторном – линейная, сегментно–узловая и сегментно–контурная модели. Были разработаны эффективные структуры представления (форматы хранения), допускающие относительно простую взаимно –обратную конвертацию в современные реляционные структуры [10].

В рассматриваемом геометрическом аспекте задачи анализа СФГД могут быть сформулированы как задачи вычислительной геометрии на многоугольниках (контурах), ломаных линиях и точках. Ввод относительно простых объектов (неразрушенные помехами цифры, буквы, дискретные знаки) может быть выполнен как на растровом так и на векторном уровнях описания СФГД. При структурном подходе на векторном уровне это задачи разбиения контуров (многоугольников) на выпуклые части, нахождение дефектов выпуклости, триангуляции. Ввод объектов, состоящих из совокупностей простых (сложноструктурированные подписи, разрушенные помехами дискретные и/или линейные объекты, разрывные условные знаки и др.), сводится к решению задач поиска ближайших соседей, кластеризации. Ввод сложных объектов, состоящих из границ и заполнения внутренней области границы другими, как правило, дискретными объектами требует массового решения задач вложенности. Установление топологических отношений (формирование топологических векторных описаний СФГД) полностью опирается на решение задач вычислительной геометрии (различные пересечения ломаных, многоугольников, задачи близости объектов, нахождение примыкания объектов) [11]. Аналогичные задачи массово решаются в системах компьютерной графики и автоматизированных графических редакторах: выделение кадра, поиск объектов по критерию метрической близости, выделение произвольной области на экране и др) [12- 14].

Огромные объемы обрабатываемых векторных данных (среднезагруженный документ имеет десятки тысяч различных линий, контуров, дискретных объектов, метрическое описание которых содержит $10^6 - 10^{10}$ точек) определяют повышенные требования по объему используемой оперативной памяти, а эффективность по времени может быть достигнута распараллеливанием вычислительного процесса.

Существующие алгоритмы имеют временную сложность порядка $O(n)$, $O(n \log n)$ [11, 13, 15, 16].

Таким образом, основу КГП к обработке РИСФГД составляют [8]:

- иерархия моделей описания изображений;
- иерархия структур представления (хранения) изображений;
- разработанный на этой базе набор эффективных по времени и используемой памяти алгоритмов решения комбинаторно–геометрических задач;
- разработанный набор иных специализированных алгоритмов автоматической обработки РИСФГД.

3. Постановка проблемы

В настоящее время в задачах анализа видеоданных все большее значение приобретают два аспекта. С одной стороны, объемы обрабатываемых видеоданных и сложность решаемых задач их анализа постоянно возрастают, а с другой – изменилась и конечная цель самой обработки: если раньше графические данные обрабатывались главным образом для последующего визуального контроля и выработки тех или иных решений исключительно человеком, то в современном мире преобладают системы автоматического принятия решений. В связи с этим важнейшая цель этапа обработки и анализа видеоданных – извлечение необходимой информации и предоставление ее системе более высокого уровня для выбора соответствующей реакции.

Несмотря на то, что конечная цель обработки графических данных в современных системах состоит в построении тех или иных объектов для последующего автоматического принятия

решений, сами правила построения таких объектов не всегда достаточно формализованы, что является определенной сложностью при разработке соответствующих алгоритмов автоматического ввода данных.

Отметим, что на современном этапе проблемы, связанные с получением формализованных представлений, по-прежнему решаются путем декомпозиции исходной системы на более простые подсистемы для дальнейшего анализа внутреннего строения, структуры и содержания объектов более простой природы.

При этом очевидно, что эффективная обработка СФГД невозможна, без создания новых, адекватных сложности решаемых задач, иерархических моделей представления графических документов и математических методов построения структурированного описания исходной графической информации. На этой основе необходимо разрабатывать новые математические методы построения формализованного структурированного описания входных видеоданных и высокопроизводительные информационные технологии обработки графических документов различной природы. Теоретическим базисом тут может выступать аппарат вычислительной геометрии, как основа создания высокоэффективных алгоритмов геометрического моделирования и распознавания.

В общем виде задача автоматического ввода в контексте КГП сводится к построению объектов некоторой предметной области (ПрО), представленных на конкретном СФГД, в формате, соответствующем структуре хранения на верхнем (пользовательском) уровне, по информации нижнего уровня, получаемой от входных устройств первичного ввода (сканеры, фоторегистраторы, иные датчики).

Примерами объектов служат: машиностроительные детали, строительные конструкции, изделия в САПР различной тематической направленности, объекты картографии и различные условные знаки, объекты космической съемки и пр.

Размещаемые на СФГД объекты в основном достаточно сложны, имеют иерархическую структуру и сложные взаимосвязи, при достаточно низком качестве самих СФГД, особенно взятых из различных архивов (архивные чертежи, планы, схемы, текстовые документы).

Так, в [17] машиностроительная деталь представлена иерархией графов: граф общих сведений о детали, поверхностей, контуров, графы отношений поверхностей и контуров и т.д. Другим примером задания ПрО может служить некоторая базовая структура и классификатор, как часть информационно-терминологического обеспечения (ИТО) системы ввода.

При этом непосредственно ВВОД рассматриваем как формирование структурированного информационного массива, содержащего метрическую (координаты точек) и семантическую (различные подписи, уточняющие характеристики) информацию. Для этого необходимо выполнение ряда комбинаторно–геометрических процедур:

- автоматическое чтение объектов интереса (линии, буквы, цифры, условные знаки);
- формирование из букв, цифр, условных знаков характеристик и подписей;
- установление связей между объектами;
- формирование выходного информационного массива.

Основная трудность реализации автоматического ввода СФГД состоит в том, что вариабельность входных данных приводит к плохо формализованным описаниям объектов, которых обычно недостаточно для формирования автоматических процедур обработки СФГД.

3.1. Особенности технологии автоматизированной обработки РИСФГД

В ходе анализа успешности и эффективности различных технологических этапов обработки РИСФГД, установлено, что значительная вариабельность, присущая изображаемым на таких документах объектам, диктует необходимость при обработке конкретного набора слабо формализованных документов обязательного выполнения следующих технологических шагов:

1. тщательного подбора моделей представления, максимально коррелирующих с объектовым наполнением конкретного типа рассматриваемых графических документов. Для этого необходимо иметь набор эффективных моделей и структур хранения, особенно на растровом уровне, где объемы обрабатываемых данных весьма значительны, что обеспечит снижение временной сложности специализированных алгоритмов обработки. Сами модели

представления и алгоритмы обработки должны обеспечивать возможность распараллеливания вычислительного процесса как на уровне отдельных вычислительных процедур, так и на уровне создания сети узкоспециализированных спецпроцессоров, каждый из которых выполняет обработку различных по геометрическим характеристикам объектов (линейные, площадные, дискретные);

2. возможности гибкой коррекции параметров алгоритмов как на группы обрабатываемых документов, получаемые путем кластеризации отдельных документов по какому-либо функциональному признаку, так и на отдельные обрабатываемые документы;

3. проведения замены (дополнения) базового набора эталонов распознавания, совокупностью эталонов, порожденных объектами конкретного документа, основанными на работе в том числе и с низкоуровневыми растровыми моделями графических изображений, максимально адаптированными для данного класса графических документов, с учетом сильной зависимости эффективности признаков классификации от различных искажений входных данных;

4. гибкого распределения заданий между автоматическим и автоматизированным режимами ввода данных;

5. наращивания степени автоматизации и контроля и исправления ошибок автоматической системы;

6. крайне важно обеспечить обмен информацией между автоматическим и автоматизированным режимами работы.

Кроме того, необходимо расширять набор базовых комбинаторных, геометрических и узкоспециализированных алгоритмов, на базе которых осуществляется синтез алгоритмов ввода конкретных тематических объектов различной сложности.

4. Комбинаторно–геометрические аспекты задачи ввода большеформатных, сложноструктурированных СФГД

Разработка эффективных по временной и емкостной сложности алгоритмов является центральной проблемой в решении комбинаторно–геометрических задач. Такие задачи могут быть решены прямыми переборными методами, но такие решения часто нельзя считать удовлетворительными во временном аспекте. Одним из фундаментальных приемов в разработке «быстрых» (оптимальных) алгоритмов является использование сводимости задач, когда решение одной задачи может быть полностью или частично использовано при решении другой. В этой связи особую важность приобретают наборы ранее решенных комбинаторно-вычислительных задач [11, 15, 16, 18, 19].

При автоматическом вводе документов типа географических топокарт, топопланов, машиностроительных чертежей, планов, схем на нижнем растровом уровне широко используются алгоритмы фильтрации, контрастирования, сегментации на линейные, площадные и дискретные связанные компоненты, выполнения бинарных логических операций, векторизации, распознавания. Это позволяет уже с растрового уровня осуществлять отдельную обработку принципиально различных в геометрическом плане линейных, площадных и дискретных объектов с последующим удалением обработанных растровых компонент. Сегментация по геометрическим признакам позволяет конструировать иерархический порядок использования алгоритмов распознавания, когда массово представленные на документах, но относительно простые в геометрическом смысле объекты, распознаются в первую очередь и исключаются из дальнейшей обработки. Использование узкоспециализированных алгоритмов обработки линейных, площадных и дискретных объектов приводит к повышению качества результатов автоматических процедур и снижению интерактивной работы по контролю и исправлению возникающих ошибок. С аппаратной стороны сегментация позволяет эффективно распределять ресурсы по памяти, особенно на нижних уровнях иерархии, когда объемы обрабатываемых данных наиболее значительны. Окончательный синтез объектов предметной области осуществляется на верхнем уровне, когда большинство исходных объектов кроме геометрических атрибутов имеют уже и семантические характеристики, пусть и не всегда до конца сформированные предшествующими автоматическими процедурами. Это упрощает и

дополнительно формализует правила сборки, сокращает количество исходных объектов для синтеза, что повышает качество и сокращает время как автоматической, так и интерактивной работы на верхнем уровне.

При геометрическом моделировании СФГД, благодаря использованию оригинальных растровых моделей представления данных (штриховая модель и создаваемые на ее основе модели РПО и РСО) [9], синтезированы алгоритмы со сходимостью не более $O(n \log n)$, где n – число штрихов растра. Переход от линейно–контурного представления объектов к контурному выполняется путем построения эквидистант к линиям. Алгоритм имеет сходимость $O(n)$. Формирование выпуклой оболочки набора из n точек выполняется за время $O(n \log n)$, выпуклая оболочка простого многоугольника с n ребрами строится за время $O(n)$, выпуклая оболочка двух многоугольников формируется за время $O(n)$, где n – общее число сторон в обоих многоугольниках, обнаружение пересечения многоугольников имеет сходимость $O(n \log n)$, скелетон (срединная ось) ищется за время $O(n^2)$, прямоугольник наименьшей площади, описанный вокруг простого многоугольника, строится за время $O(n)$ по выпуклой оболочке многоугольника. Использование отмеченных растровых моделей при разработке алгоритмов фильтрации позволило снизить их временную сложность до $O(n)$.

Введение расширенной системы моделей растрового уровня позволило разработать алгоритмы сегментации растровых изображений СФГД (РИСФГД). Это привело к созданию системы оригинальных дискриминантных признаков, получаемых непосредственно по РИСФГД и алгоритмов распознавания относительно простых объектов непосредственно на растре, минуя этап векторизации [20, 21]. На векторном уровне появилась возможность подбирать модель описания максимально коррелирующую с изображениями объектов интереса на данном графическом документе, что также снизило времена автоматической обработки СФГД при одновременном повышении качества (снижению числа различных ошибок) [22–25]. В итоге удалось снизить нагрузку на человека–оператора во время интерактивного редактирования документа, что еще более удешевило общую технологию автоматизированной обработки СФГД.

5. Результаты автоматической обработки СФГД различной природы

Результаты фильтрации на основе анализа геометрических характеристик связных растровых компонент (рисунк1).

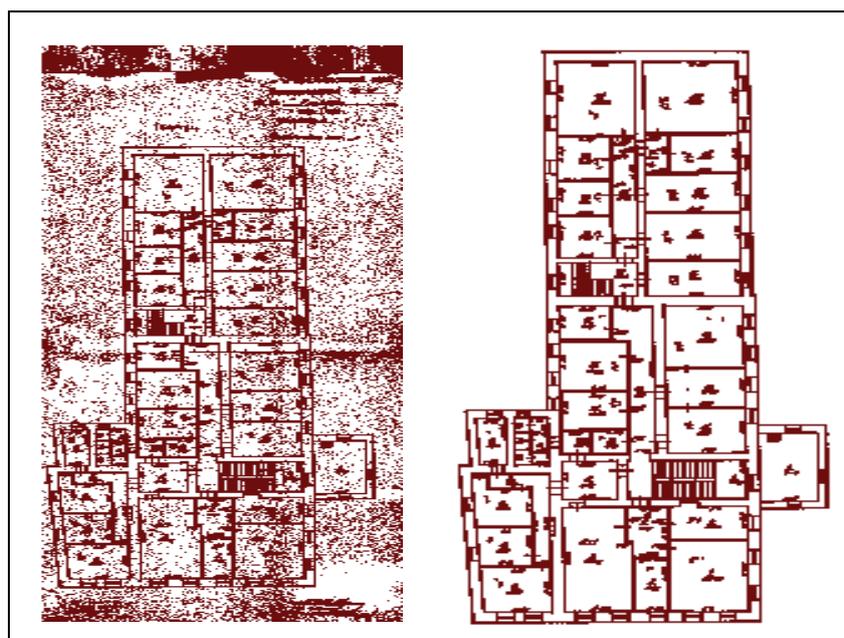


Рисунок 1 – СФГД типа «Поэтажный план». а) исходное б) фильтрованное изображение

Результат геометрического моделирования СФГД типа планшета ПГС. На рисунке 2а – фрагмент исходного изображения ПГС, 2б результат его обработки, 2в – увеличенный фрагмент обработанного изображения ПГС. Синим цветом представлены выделенные линейные, зеленым – площадные, красным – узлы стыковки линейных и площадных объектов

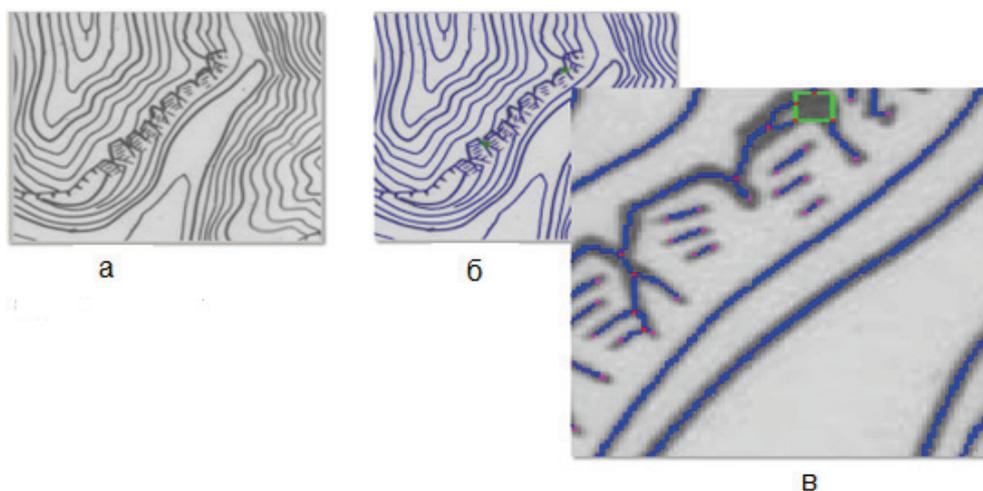


Рисунок 2 – Геометрическое моделирование СФГД типа планшет ПГС. 2а – фрагмент исходного изображения; 2б – результат автоматической обработки; 2в – увеличенное изображение участка фрагмента 2б

Результат автоматической сегментации СФГД типа топографическая карта на линейные и площадные компоненты (рисунок 3).

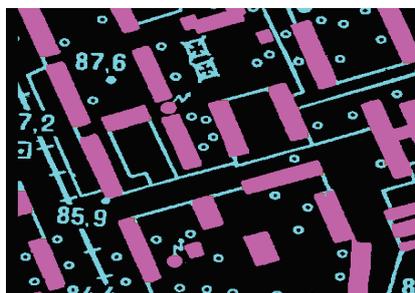


Рисунок 3 – Автоматическая сегментация РИСФГД типа Топографическая карта на линейные и площадные компоненты

Результат предобработки РИСФГД типа Космоснимок методом эквализации гистограммы (рисунок 4).

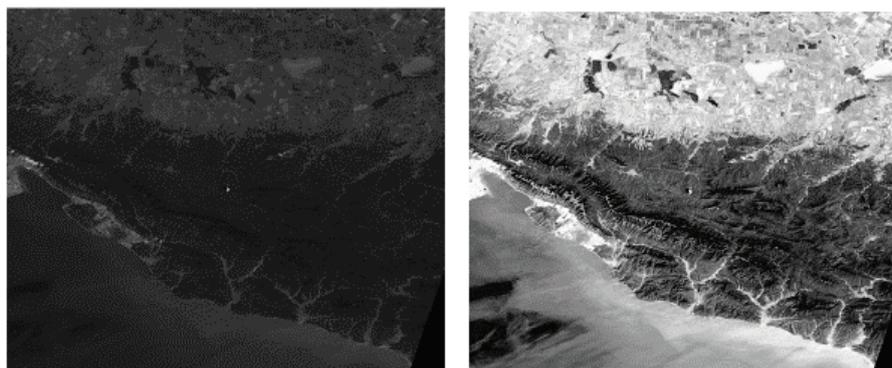


Рисунок 4 – Автоматическая фильтрация СФГД типа Космоснимок методом эквализации гистограммы

Выделение объектов интереса на СФГД типа Космоснимок методами кластерного анализа (рисунок 5)

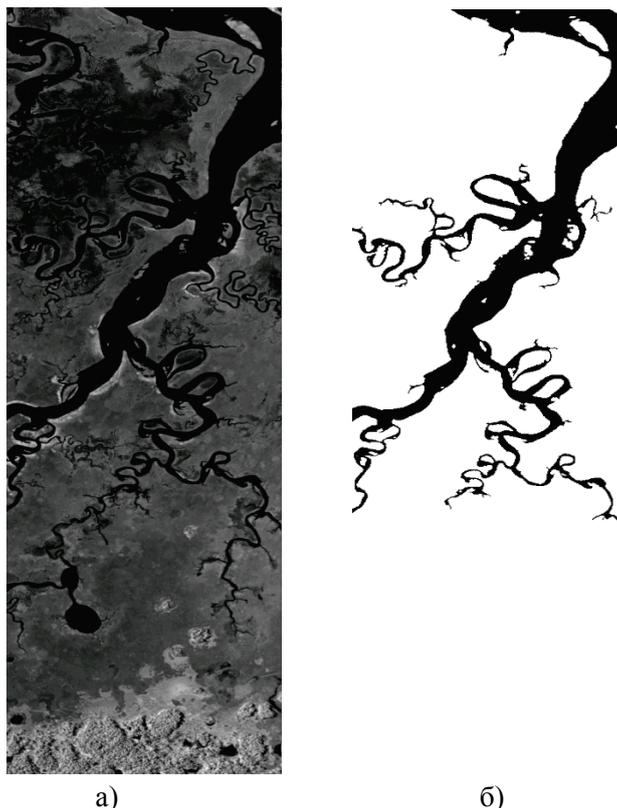


Рисунок 5 – Выделение объекта РЕКА на гиперспектральном изображении; а) исходное изображение частотного канала, б) выделенные объект интереса РЕКА

Приведенные примеры не исчерпывают полного перечня комбинаторно–геометрических алгоритмов, используемых для обработки РИСФГД.

6. Заключение

В статье рассмотрена возможность применения комбинаторно–геометрического подхода к обработке графических документов со слабо формализованным описанием объектов. Использование иерархии оригинальных моделей описания растрового уровня применительно к растровым изображениям графических документов со слабо формализованным описанием объектов позволяет осуществить:

- их структурирование;
- распараллеливание обработки растровых объектов, существенно различных по геометрическим характеристикам (линейные, площадные, дискретные);
- расширение класса используемых методов обработки;
- использование не только локальных, но и интегральных критериев обработки;
- распознавание линейных, площадных и дискретных растровых объектов растровых изображений на спецпроцессорах с адаптированным программным обеспечением, что существенно повышает качество распознавания при одновременном повышении временной эффективности;
- общее сокращение емкостной и вычислительной сложности алгоритмов обработки указанного класса документов.

Ожидается, что применение параллельных вычислительных схем при реализации алгоритмов позволят сократить временные затраты на вычисления, в зависимости от объёма исходных данных и используемых вычислительных ресурсов, как минимум на порядок. Исследования по данному направлению продолжаются.

7. СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- [1] О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года [Электронный ресурс]: Указ Президента Российской Федерации от 21.07.2020 № 474 // Официальный интернет-портал правовой информации : Гос. система прав. информ. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202007210012>. (дата обращения 13.06.2022).
- [2] Об установлении запрета на допуск программного обеспечения, происходящего из иностранных государств, для целей осуществления закупок для обеспечения государственных и муниципальных нужд [Электронный ресурс]: Постановление Правительства РФ от 16.11.2015г. №1236 // Официальный интернет-портал Правительства РФ. URL: <http://static.government.ru/media/files/ac872y0wqioFnrRUeTnpGjEavWCfgEAo.pdf> (дата обращения 13.06.2022).
- [3] О закупках товаров, работ, услуг отдельными видами юридических лиц [Электронный ресурс]: Федер. закон от 18.07.2011г. №223–ФЗ. // Официальный интернет-портал ГД РФ. URL: <http://www.duma.consultant.ru> (дата обращения 13.06.2022).
- [4] О мерах по обеспечению технологической независимости и безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации. [Электронный ресурс]: Указ Президента Российской Федерации от 30.03.2022 № 166// Официальный интернет-портал правовой информации : Гос. система прав. информ. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202203300001>. (дата обращения 13.06.2022).
- [5] О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации [Электронный ресурс]: Указ Президента Российской Федерации от 01.12.2016 № 642 // Официальный интернет-портал правовой информации : Гос. система прав. информ. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201612010007> (дата обращения 13.06.2022).
- [6] Перспективные информационные технологии дистанционного зондирования Земли: моногр./ под ред. В.А. Сойфера / В.А. Сойфер [и др.]. Самара, Новая техника, 2015. 256 с.
- [7] Гергель В.П., Стронгин Р.Г. Основы параллельных вычислений для многопроцессорных вычислительных систем. Учебное пособие. Н. Новгород: ННГУ, 2003, 184 с.
- [8] Васин Ю.Г., Башкиров О.А., Чудинович Б.М. Комбинаторно–геометрический подход в задачах обработки большеформатных графических изображений. // 2 Всеюз. конф. Автоматизированные системы обработки изображений АСОИЗ–86 (Львов, сентябрь 1986) / М.: Наука, 1986. С. 64–65.
- [9] Васин Ю.Г., Башкиров О.А., Рудометова С.Б. Математические модели структурированного описания графических изображений // Автоматизация обработки сложной графической информации. / Межвуз. сб. науч. тр. / Под ред. Ю.Г. Васина / Изд-во Горьк. гос. ун-та, 1984. С. 92-117.
- [10] Васин Д.Ю., Громов В.П., Ротков С.И. Модели представления растровых графических документов со слабо формализованным описанием объектов // 28-ая Международная конференция по компьютерной графике и машинному зрению «Графикон–2018» (Томск, 24–27 сент., 2018 г): сб.трудов междунар. конф. по компьютерной графике и машинному зрению. / Нац. исслед. Том. политех. ун-т. – Томск, 2018.С. 337–347.
- [11] Препарата Ф., Шеймос М. Вычислительная геометрия: Введение: пер. с англ. М.: Мир, 1989. 478с.
- [12] Роджерс Д. Алгоритмические основы машинной графики: пер. с англ. М.: Мир, 1989. 512с.: ил.
- [13] Павлидис Т. Алгоритмы машинной графики и обработки изображений: пер. с англ. М.: Радио и связь, 1986. 400с.: ил.
- [14] Боресков А.В. Программирование компьютерной графики. Современный OpenGL. М.: ДМК Пресс, 2019. 372 с.: ил.
- [15] Ахо А., Хопкрофт Дж., Ульман Дж. Построение и анализ вычислительных алгоритмов: пер. с англ. М.: Мир, 1979. 536с.

- [16] Ахо Альфред В., Хопкрофт Дж. Э, Ульман Дж. Д Структуры данных и алгоритмы: пер. с англ.: уч.пос. //М.: Издательский дом «Вильямс», 2007. 400 с.: ил.
- [17] Кучуганов В.Н. Распознавание деталей и фрагментов деталей общемашиностроительного применения // Автоматизация обработки сложной графической информации / Межвуз. сб. науч. тр. / Под ред. Ю.Г. Васина / Изд-во Горьк. гос. ун-та, 1984. С. 78-91.
- [18] Фокс А., Пратт М. Вычислительная геометрия. Применение в проектировании и на производстве: пер. с англ. М.: Мир, 1982. 304с.: ил.
- [19] Стародетко Е.А. Элементы вычислительной геометрии. Мн.: Наука и техника, 1986. 240с.: ил.
- [20] Vasin Yu.G., Vasin D.Yu. An intelligent information technology for symbol-extraction from weakly formalized graphic documents // Pattern Recognition and Image Analysis, 2019, Vol. 29, No. 1, pp. 51–57.
- [21] Васин Д.Ю. Редькин М.А. Распознавание символов на большеформатных растровых изображениях документов со слабо формализованным описанием объектов. // 27-ая Международная конференция по компьютерной графике и машинному зрению «Графикон–2017» (Пермь, 24–28 сентября 2017 года): сб.трудов междунар. конф. по компьютерной графике и машинному зрению. / Нац. исслед. Пермский гос. ун-т. – Пермь, 2017.С. 303–307.
- [22] Технология создания графических баз данных поэтажных планов зданий. / Ю.Г. Васин [и др.] // 6-ая Международная научная конференция «Физико–техническая информатика СРТ2018» (Отель Царьград, Пущино, Московская область, 28-31 мая 2018 года): сб.трудов междунар. науч. конф. СРТ2018. / Москва-Протвино 2018. С. 318–320.
- [23] Васин Ю.Г., Васин Д.Ю., Громов В.П., Ротков С.И. Робастная векторизация графических документов с выраженной ориентацией линейных объектов // 6-ая Международная научная конференция «Физико–техническая информатика СРТ2018» (Отель Царьград, Пущино, Московская область, 28-31 мая 2018 года): сб.трудов междунар. науч. конф. СРТ2018. / Москва-Протвино 2018. С. 313–317.
- [24] Васин Д.Ю., Громов В.П., Ротков С.И. Формирование сегментно-узловой модели графических документов с выраженной ориентацией линейных объектов // Международная научная конференция Московского физико-технического института (государственного университета), Института физико-технической информатики SCVRT2018. (ОТЕЛЬ ЦАРЬГРАД, МОСКОВСКАЯ ОБЛАСТЬ, РОССИЯ, 20-23 НОЯБРЯ 2018Г.): сб.трудов междунар. науч. конф. SCVRT2018 / Москва-Протвино 2018. С. 265–280.
- [25] Vasin D. Ju., Gromov V.P., Rotkov S.I. Geometric modeling f raster images of documents with weakly formalized description of objects // CEUR Workshop Proceedings ITNT 2019 - Proceedings of the 5th Information Technology and Nanotechnology 2019: Image Processing and Earth Remote Sensing. 2019. p. 358-365.