



Томский государственный университет

НПО «Сибгеоинформатика»



# «Геоинформатика-2000»:

Труды

Международной  
научно-практической  
конференции

Издательство Томского университета

2000

УДК 681.518  
ББК 32.965  
Г357

«Геоинформатика-2000»: Труды Международной научно-практической конференции / Под ред. А.И. Рюмкина, Ю.Л. Костюка, А.В. Скворцова. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2000. – 368 с.

ISBN 5-7511-1253-9

Выпуск содержит 103 доклада, представленных на секции «Теория геоинформатики и дистанционного зондирования», «Геоинформационные технологии и системы», «Недропользование», «Гидрология и экология», «Инженерная инфраструктура», «Региональные и муниципальные приложения» и «ГИС в образовании и научных исследованиях».

Книга может быть полезна ученым, ведущим исследования в области ГИС-технологий, программистам, разрабатывающим геоинформационные системы, а также студентам соответствующих специальностей.

“Geoinformatics-2000”: International scientific applied conference proceedings / Editors A.I. Rumkin, U.L. Kostuk, A.V. Skvortsov. – Tomsk, Russia, 2000. – 368 p.

Book contains 103 articles submitted for sections: “Geoinformatics and remote sensing theory”, “Geoinformation technologies and systems”, “Oil and gas applications, geology”, “Hydrology and ecology”, “Engineering infrastructure”, “Regional and municipal applications” and “GIS in education and scientific research”.

Can be useful for geoinformation scientists, GIS-programmers and students.

*Научные редакторы:*

к.т.н., директор НПО «Сибгеоинформатика», зав. лабораторией информационных систем Томского государственного университета **А.И. Рюмкин**;

к.т.н., доцент, зав. кафедрой теоретических основ информатики Томского государственного университета **Ю.Л. Костюк**;

к.т.н., доцент кафедры теоретических основ информатики Томского государственного университета **А.В. Скворцов**

ISBN 5-7511-1253-9

© НПО «Сибгеоинформатика», 2000  
© А.В. Скворцов, оформление, верстка, обложка, 2000

# СОДЕРЖАНИЕ

## Раздел 1. Теория геоинформатики и дистанционного зондирования

Трофимова С.Ф. Проблемы концептуального моделирования в ГИС ©.....	7
Костюк Ю.Л. Представление рельефа земной поверхности в геоинформационных системах ©.....	12
Белов В.В., Афонин С.В., Гриднев Ю.В. Мониторинг лесных пожаров по данным дистанционного зондирования ©.....	17
Бычков И.В., Васильев С.Н., Черкашин А.К., Черкашин Е.А., Жерлов А.К. Применение автоматического логического вывода для решения ГИС-задач ©.....	22
Кейко Т.В., Черкашин А.К. Теория представления геоизображений для решения задач геоиндикации ©.....	26
Чуб А.Н., Шахворостов Н.Н., Алтын-Баш А.Г. О различных алгоритмах формирования цифровых моделей полей признаков, изменяющихся во времени ©.....	29
Ковалевская Н.М. Интерпретация изображений земной поверхности на основе моделей машинного зрения ©.....	32
Костюк Ю.Л., Фукс А.Л. Гладкая аппроксимация изолиний однозначной поверхности, заданной нерегулярным набором точек ©.....	37
Костюк Ю.Л., Фукс А.Л. Визуально гладкая аппроксимация однозначной поверхности, заданной нерегулярным набором точек ©.....	41
Фукс А.Л. Быстрый алгоритм триангуляции Делоне, основанный на предварительной обработке набора точек ©.....	45
Новиков Ю.Л. Полигонально-линейные графовые модели растровых изображений ©.....	50
Костюк Ю.Л., Новиков Ю.Л. Векторизация растровых изображений с использованием триангуляции ©.....	55
Новиков Ю.Л. Эффективная скелетизация бинарных изображений ©.....	58
Пушкарева Т.Г., Протасов К.Т. Спутниковый мониторинг пожаров непараметрическим алгоритмом распознавания образов с оценкой информативности признаков ©.....	64
Артамонов Е.С., Протасов К.Т. Нормализация изображений прибора AVHRR спутников NOAA для ГИС ресурсно-экологического мониторинга ©.....	70

## Раздел 2. Геоинформационные технологии и системы

Бычков И.В., Кухаренко Е.Л., Федоров Р.К. Принципы построения и программное обеспечение корпоративных ГИС на основе технологий распределенных вычислений ©.....	76
Мурашкин С.Л. Некоторые требования к программному обеспечению геоинформационных проектов ©.....	78
Котельников Е.И., Котельников М.И. Компьютерная технология использования данных дистанционного зондирования Земли при геологических исследованиях ©.....	81
Макунин А.А., Шилов В.В. Применение модульной технологии разработки автоматизированных рабочих мест в ГИС-приложениях ©.....	84
Магвайер Д. ArcGIS – новое семейство программных продуктов ESRI ©.....	88
Скворцов А.В. Инструментальная геоинформационная система ГрафИн: новая версия ©.....	90
Ковин Р.В., Марков Н.Г. Цифровые модели рельефов в среде ГИС MapInfo Professional ©.....	96
Гафуров О.М., Горбачев С.В. Геоинформационная система «ИнформГео»: Алгоритмы и технологии ©.....	102
Гершензон В.Е. Построение системы оперативного мониторинга Земли из космоса ©.....	107
Калантаев П.А., Пяткин В.П. Интранет-архитектура как модель региональной информационной системы для обработки аэрокосмических изображений ©.....	114
Берхин Б.Ю. Перспективы мобильных ГИС в Интернете ©.....	116
Конкин А.В. К вопросу о точности данных в ГИС ©.....	120
Тэбырца М.Г. Принципы отбора, подготовки и использования пространственных данных ©.....	121
Бычков И.В., Кухаренко Е.Л. Формализм описания корпоративных геоданных ©.....	123

Андрианов В. Ситуационный анализ с помощью программных продуктов фирм ESRI и ERDAS ©.....	125
Патренина М.А., Койнов Е.А. Вопросы применения технологий ГИС/Интернет на примере справочно-информационной системы «Весь Академгородок» ©.....	127
Аржаниникова Е.В., Трофимова С.Ф. Проект геоинформационной системы для ведения адресного плана ©.....	132

### **Раздел 3. Недропользование**

Голдаев Ю.С., Лобанова Л.В. Автоматическое оформление карт природных ресурсов ©.....	135
Льготин В.А., Макушин Ю.В. Разработка и использование информационно-компьютерных систем при организации и ведении мониторинга геологической среды ©.....	136
Льготин В.А., Макушин Ю.В., Глущенко Н.Г., Глущенко Н.И., Панаева Е.К. Картографическое обеспечение цифровой геоэкологической карты Западной Сибири масштаба 1:1 000 000 ©.....	138
Макушин Ю.В., Глущенко Н.Г., Глущенко Н.И., Панаева Е.К. Создание электронной версии карты четвертичных отложений Томской области масштаба 1:500 000 ©.....	142
Крутовский А.О., Льготин В.А., Егоров Б.А., Бабыкина Е.В. Опыт применения цифровой аэровидео-фотосъемки объектов геологической среды Томской области ©.....	144
Андреева И.В., Осенняя Е.Д. Математическое моделирование процесса выветривания с использованием геоинформационных систем ©.....	146
Красавчиков В.О. Комплексная интерпретация плохо согласованных геолого-геофизических данных при формировании региональных цифровых моделей рельефов глубокопогруженных геологических поверхностей (на примере осадочного чехла Западно-Сибирской плиты) ©.....	147
Михаилиди И.М., Барчан Г.Н. ГИС для управления фондом недр Алтайского края ©.....	153
Кушнарева Т.К. Государственный кадастр месторождений и проявлений в системе ГИС ©.....	154
Галушин А.А., Логинов В.Т., Кравченко Г.Г., Никифоров А.Ю. Информационная система для управления природными ресурсами Республики Алтай ©.....	156
Назаров И.В., Тетенев Е.В. Геоинформационная система в моделях открытой геотехнологии ©.....	159
Кравченко Г.Г., Паровинчак М.С., Рюмки А.И. Геоинформационные технологии – инструмент реализации концепции ОАО «Востокгазпром» по развитию восточных регионов страны ©.....	161
Кудинов А.В., Марков Н.Г., Шерстнев В.С. ГИС «Магистраль» для управления сетями магистральных газопроводов ©.....	163
Шурыгин Ю.А., Комагоров В.П., Абрамов С.Н. Технология автоматизированного проектирования генерального плана обустройства нефтяных и газовых месторождений на основе ГИС ©.....	167
Шурыгин Ю.А., Комагоров В.П., Даниленко А.В. Информационная технология разработки и оптимизации системы сбора и транспортировки нефти и газа на основе ГИС-технологий ©.....	170
Туренков Н.А., Лаптев А.А., Набоков Ю.Н. Применение ArcView для создания базы геолого-геофизических данных по месторождениям ОАО «Газпром» в Западной Сибири ©.....	171
Фатеев А.В. Подходы к реализации компьютерной технологии оценки ресурсов углеводородов с использованием геоинформационной программы ArcView ©.....	174
Монастырев В.А., Сергеев В.Л. Использование ГИС-технологий в системах управления разработкой нефтегазовых месторождений ©.....	175

### **Раздел 4. Гидрология и экология**

Абрамова А.В., Козин В.В., Московченко Д.В., Тигеев А.А. Принципы построения обзорной региональной геоинформационной системы для анализа экологической ситуации в Тюменской области ©.....	177
Марков Н.Г., Ермашова Н.А., Захарова А.А. ГИС-технология для хранения, обработки и визуализации данных гидрогеологических исследований ©.....	180
Парфенова Е.И. Применение электронных климатических карт в решении природоохранных задач ©.....	185
Богуславский А.Е., Вишневская Е.А. Использование ГИС-технологий для оценки влияния ландшафтных обстановок на распределение радиоактивных элементов (на примере типовых районов юга Западной Сибири) ©.....	187

Козин Е.С., Полищук Ю.М. Моделирование процессов переноса в речной сети с применением ГИС © .....	190
Яковченко С.Г., Михайлов С.А. Применение ГИС для оценки нагрузки на водный объект от неточечных источников © .....	195
Берестнева О.Г., Муратова Е.А., Рихванов Л.П., Шатилов А.Ю., Янковская А.Е. Математическая обработка геохимических данных при оценке состояния окружающей среды (на примере мониторинга загрязнения снегового покрова) © .....	199
Калинин В.Г., Дьяков М.В., Гареев Р.Р. Использование геоинформационных технологий для определения морфометрических характеристик водохранилищ (на примере Камских) © .....	204
Постнова И.С., Воробьев К.В., Яковченко С.Г. Оценка среднегодового загрязнения атмосферы, обусловленного работой автотранспорта города, с использованием ГИС © .....	205
Иванов Б.Н. Геоинформационная система «АВИА» обеспечения безопасности полетов, оценки состояния и прогноза погоды © .....	208
Серов Д.И., Усольцев И.В. Перспектива разработки автоматизированного комплекса для управления и проектирования деятельности Государственной противопожарной службы © .....	210
Базанов В.А., Льготин В.А., Макушин Ю.В., Янкович Е.П. Оценка особенностей озераобразования на верховых болотах Западной Сибири с применением геоинформационных технологий (на примере Томской области) © .....	211
Хуторянский А.В. Система автоматизации мониторинга гидрогеологических ресурсов Новосибирской области © .....	212
Соколов С.В. Информационная система «Комплексный территориальный экологический мониторинг» © .....	214

## **Раздел 5. Инженерная инфраструктура**

Слюсаренко С.Г., Рожков В.П., Субботин С.А., Скворцов А.В. Современные информационные технологии в эксплуатации инженерных сетей © .....	219
Кудинов А.В. Геоинформационные технологии в задачах управления пространственными сетями © .....	224
Новиков Ю.Л., Слюсаренко С.Г., Скворцов А.В., Сарычев Д.С. Совместное использование данных кадастров инженерных коммуникаций многими пользователями © .....	229
Слюсаренко С.Г., Новиков Ю.Л., Сарычев Д.С., Скворцов А.В. Особенности реализации подсистем информационных запросов к кадастровым информационным системам © .....	231
Слюсаренко С.Г., Заповодников К.И., Субботин С.А., Скворцов А.В. Применение ГИС-технологий в электроэнергетических системах © .....	234
Брюханцев В.Н., Гриценко Ю.Б., Ехлаков Ю.П., Жуковский О.И. Автоматизация производственно-технологической деятельности предприятий эксплуатирующих водопроводные сети © .....	236
Ехлаков Ю.П., Гриценко Ю.Б., Жуковский О.И., Петров Ю.В. Программная система гидравлических расчетов в водопроводных сетях «Гидро_Про» © .....	240
Гриценко Ю.Б., Еськин Д.М. Организация электронного плана металлургического комбината (ОАО «КМК») © .....	243
Немтинов В.А. Решение задач проектирования и эксплуатации многоассортиментных химических производств с использованием ГИС-технологий © .....	247
Казаков А.Г., Конкин А.В., Щербаков В.В. Паспортизация автомобильных дорог и обработка информации – новые подходы к решению задач © .....	248
Четверикова С.Г., Колупаева С.Н., Катцын П.А. Информационно-поисковая система «Искусственные сооружения на автомобильных дорогах» © .....	252
Поспелов П.И., Котов А.А. Создание информационной системы автомобильных дорог на основе опыта внедрения ГИС-проектов «Инвентаризация» и «Паспортизация» © .....	256
Волошина В.Н. Информационные ресурсы в управлении дорожной отраслью Приморского края © .....	260

## **Раздел 6. Региональные и муниципальные приложения**

Макаров А.С., Авсейков А.С., Рюмкин А.И. Геоинформационное обеспечение задач градорегулирования © .....	266
---	-----

Каленицкий А.И., Кравченко Ю.А., Рюмкин А.И. Геоинформационное обеспечение внешних инвестиций для регионов Сибири © .....	270
Догерти К., Смит Л.К. Земля как капитал: аренда, налогообложение, оценка и кадастр © .....	273
Лютых Ю.А., Сальников С.П., Поляков В.И., Рюмкин А.И. О построении информационной системы земельного кадастра субъекта Федерации © .....	276
Браташов В.А. Концепция создания «Единой системы ведения комплексного территориального кадастра» г. Сургута © .....	283
Бычков И.В., Кухаренко Е.Л., Хмельнов А.Е., Моисеев А.Н., Оглоблин В.А., Ружников Г.М. ГИС органов власти и управления Иркутской области (этап 1) © .....	291
Саватеева Г.Я. Экономическая оценка городских земельных участков © .....	293
Радченко В.А., Воробьев С.А., Рюмкин А.И., Кравченко Г.Г., Субботин С.А., Скворцов А.В., Танзыбаев М.Г. Геоинформационные технологии и дистанционное зондирование в задачах создания земельного кадастра Хакасии © .....	297
Вотяков М.В., Рюмкин А.И. Система поддержки принятия решений в сфере градорегулирования © .....	306
Петренко А.В. Опыт разработки автоматизированной системы ведения земельного кадастра в администрации г. Северска © .....	308
Поляков В.И. Разработка справочников для АИС земельного кадастра на основе существующей статистической отчетности © .....	310
Киштеев П.И., Рюмкин А.И., Тябаев Е.С. Мониторинг в системе взаиморасчетов населения за жилищно-коммунальные услуги с использованием ГИС-технологий © .....	316
Алсынбаев К.С., Ситников А.В. Разработка системы ведения пространственно-привязанной информации о зданиях с использованием клиент-серверных и Internet/Intranet технологий © .....	318
Esposito I., Antonietta M., Perdigão I., Vanda, Biagi U., Lenzini L., Libertà G. GIS-analysis to show lacoast data base on european union coastal zones © .....	320
Campagna M. Spatial information technology and urban planning and management: which perspective? © .....	326

## **Раздел 7. ГИС в образовании и научных исследованиях**

Марков Н.Г., Захарова А.А., Ковин Р.В., Шерстнев В.С. Подготовка разработчиков геоинформационных систем и технологий © .....	331
Трофимова С.Ф. Преподавание геоинформатики на факультете информатики ТГУ © .....	335
Коротеева Л.И. К вопросу о профессиональной переподготовке в области кадастровых систем и приложений ГИС © .....	337
Пьянков С.В., Калинин В.Г. Использование ГИС-технологий в учебном курсе «Гидрография» © .....	338
Горелов С.В., Давыденко А.Ю., Мироманов А.В., Сметанин О.А. Геоинформационное обеспечение регионального межвузовского Байкальского полигона учебных геологических практик © .....	340
Ким П.А. MapBasic-макетирование DOS-графики © .....	342
Владимиров В.Н., Силина И.Г. Географические информационные системы в историко-демографических и историко-географических исследованиях: теория и практика © .....	345
Рюмкин А.И., Топчий А.Т., Чиндина Л.А., Черняк Э.И., Шандровский В.В., Яковлев Я.А. Археологическая геоинформационная система Томской области © .....	349
Балахчин В.П., Боковенко Н.А., Грачев И.А., Рюмкин А.И., Шандровский В.В. Геоинформационная система по археологическим памятникам Хакасии © .....	352
Шитов А.В., Эбель А.В., Ван Хюле В. Первый опыт создания кадастра археологических памятников Горного Алтая при помощи GPS-приемников и ГИС-картирования © .....	356
Шитов А.В., Малков Ю.П., Каранин А.В., Исов А.В. Изучение биоразнообразия, археологических и культурных памятников (Международный биосферный заповедник «Алтай») © .....	357
Авторский указатель .....	360

Ясно, что множества  $V_l$  и  $V_b$ , так же как и множества  $R_l$  и  $R_b$ , не пересекаются. Таким образом, мы имеем два изолированных друг от друга планарных графа линий. Однако для сохранения информации о связности соединяющихся на исходном изображении линейных и площадных объектах проведем третий шаг процедуры построения «векторного скелета» – связывание графов  $G_l$  и  $G_b$ . Для этого находим все треугольники, имеющие внутри себя точку – вершину графа  $G_l$  – и ребро графа  $G_b$  как одной из сторон. Все такие треугольники преобразуем так, как показано на рис. 2.

На этом рисунке буквами обозначены:  $D$  – вершина графа  $G_l$ , перенесенная в точку  $D'$  и включенная в множество вершин графа  $G_b$ ;  $BC$  – ребро графа  $G_b$ , преобразованное в два ребра  $BD'$  и  $D'C$ ;  $ED$  – ребро графа  $G_l$ , преобразованное в ребро  $ED'$  перенесением точки  $D$  в точку  $D'$ . Если в графе  $G_l$  существуют другие ребра, инцидентные вершине  $D$ , например  $DF$ , то они преобразуются аналогично, как показано на рисунке.

В результате этого преобразования графы  $G_l$  и  $G_b$  будут объединены в общий граф  $G_{lb}$ , имеющий множество вершин  $V_{lb}$  и множество ребер  $R_{lb}$ . Множество  $V_{lb}$  состоит из трех множеств:  $V_l'$  – множества преобразованных вершин графа  $G_l$ ,  $V_b'$  – множества не преобразованных вершин графа  $G_b$  и  $V_{обтц}$  – множество вершин, полученных в результате преобразования; множество  $R_{lb}$  состоит из двух множеств:  $R_l'$  – множества преобразованных ребер графа  $G_l$ ,  $R_b'$  – множества преобразованных ребер графа  $G_b$  с добавлением ребер, полученных в результате преобразования. Элементы множеств полигонов  $P$  и «дыр»  $H$  также подвергаются простым преобразованиям, соответствующим преобразованиям ребер графа  $G_b$  и добавляются к структуре  $G_{lb}$ . Содержательно граф  $G_{lb}$  представляет собой векторную модель всех линейных объектов в виде ломаных и границ площадных объектов в виде многоугольников. В этой модели сохраняется информация о топологической связности объектов, представленная в виде графа.

Полученный в результате вышеописанного четырехэтапного алгоритма граф  $G_{lb}$  со структурой  $(P, H)$  является расширенной графовой моделью исходного растрового изображения. Данная модель может быть базовой для применения дополнительных преобразований, например построения триангулированной расширенной графовой модели, построения иерархии вложенности полигонов и «дыр» и т.п., как предлагается в работе [1]. Оценки вычислительной сложности операций, необходимых для построения РГМ вышеописанным алгоритмом, показывают, что трудоемкость в среднем данного алгоритма не превышает  $O(MN)$ , где  $M, N$  – габариты растра.

#### 4. Обработка $n$ -цветного растра

В п. 2-3 данной работы нами был предложен алгоритм построения РГМ только для бинарных исходных растров. Однако данный алгоритм допускает обобщение для  $n$ -цветных растров, получающее на выходе обобщение расширенной графовой модели, а именно  $n$ -цветную графовую модель растрового изображения, предлагаемую в работе [3]. При этом имеется одно существенное различие в алгоритмах. Оно заключается в том, что при векторизации  $n$ -цветного растра мы предполагаем, что нет разделения на «объектные» и «фоновые» точки растра, а все точки имеют один из  $n$  базовых объектных цветов. Поэтому вместо построения множеств «полигонов» и «дыр» для описания площадных объектов конструируется единое множество полигонов, каждый из которых задается списком граничных ребер в порядке их обхода по границе этого полигона, и имеет атрибут – цвет на исходном растре. Аналогичная процедура конструирования множества полигонов с использованием триангуляции предложена в работе [3].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Костюк Ю.Л., Новиков Ю.Л. Графовые модели растровых изображений в задаче векторизации // Межд. конф. «Дискретный анализ и исследование операций»: Мат. конф. (Новосибирск, 26 июня – 1 июля 2000). – Новосибирск: Изд-во Института математики, 2000, с. 212.
2. Методы обработки и формирования растровых изображений: Сб. ст. – Минск: ИТК АН БССР, 1986. – 96 с.
3. Новиков Ю.Л. Полигонально-линейные графовые модели растровых изображений // Наст. сб.
4. Сворцов А.В., Костюк Ю.Л. Применение триангуляции для решения задач вычислительной геометрии // Геоинформатика: Теория и практика. Вып. 1. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 1999, с.127-138.

### ЭФФЕКТИВНАЯ СКЕЛЕТИЗАЦИЯ БИНАРНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Ю.Л. Новиков

Томский государственный университет, НПО «Сибгеоинформатика», г. Томск

#### 1. Введение

Для решения задач векторизации растровых изображений, распознавания печатного текста и гибридной графики в настоящее время иногда используется двухэтапная схема. Пример реализации такой схемы для автоматической векторизации растров изложен в [3, §2.1]. На первом этапе строится векторно-графовая модель исходного растра, являющаяся векторной моделью всех линий и границ площадных объектов, изображенных на

растре. Этот этап выполняется автоматически. На втором этапе с помощью процедур распознавания, работающих уже не с исходным растром, а с его векторной моделью, решаются указанные задачи. Этот алгоритм может выполняться в автоматическом или полуавтоматическом режиме, в зависимости от специфики задачи.

Для построения векторно-графовой модели раstra (как результата первого этапа) чаще всего используется двухшаговая процедура. На первом шаге строится «скелет» исходного изображения, то есть раstra, на котором все линии, имеющиеся на исходном растре, приведены к единичной толщине. Математическая идеализация скелета непрерывного изображения определяется в [1, §9.2]. На втором шаге строится векторно-графовая модель этого «скелетного» изображения, которая будет также векторно-графовой моделью исходного раstra. Алгоритмы построения векторно-графовой модели скелетного изображения приведены в [4, §2.6], [3, §2.1].

В данной работе рассматривается задача скелетизации бинарных растров. Характеризуются существующие алгоритмы ее решения и предлагается новый алгоритм скелетизации, в котором устранены недостатки, присущие существующим алгоритмам.

## 2. Итеративные методы скелетизации

Пусть исходное бинарное изображение задается матрицей  $F = (f_{ij})_{M \times N}$ , где

$$f_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{тогда } (i, j) - \text{ точка фона,} \\ 1, & \text{тогда } (i, j) - \text{ точка объекта.} \end{cases}$$

Первыми алгоритмами, решающими задачу скелетизации, были итеративные алгоритмы, строящие скелет исходного раstra по определению в [1, §9.2], то есть реализующие дискретный аналог метода «степного пожара». Такой алгоритм состоит из подготовительного этапа и последовательности итераций. На подготовительном этапе в рабочий растр записывается копия исходного раstra. На каждой из последующих итераций выполняется однократный последовательный просмотр рабочего раstra и стирание всех граничных точек на изображении при условии, что удаление точки не нарушает связности изображения объекта на растре. Можно считать, что на каждой итерации толщина всех линий на растре уменьшается на 2, если она - больше 2, на 1, если она равна 2, и не изменяется, если толщина линии равна 1.

В результате конечного числа таких итераций все линии на растре будут приведены к единичной толщине, причем можно сконструировать процедуру стирания граничных точек таким образом, чтобы результат - скелетное изображение - было строго 8- или 4-связно. Определение 8- и 4-связности можно найти в [3, §1.4].

Примером такого алгоритма является алгоритм Макарова, изложенный в статье [2]. Трудоемкость таких алгоритмов можно оценить величиной  $O(MNk)$ , где  $M, N$  - высота и ширина раstra соответственно,  $k$  - максимальная толщина линии на исходном растре. Затраты по памяти у этого алгоритма составляют  $O(MN)$ .

## 3. Алгоритмы скелетизации с линейной трудоемкостью

Здесь будут рассмотрены алгоритмы скелетизации, имеющие линейную трудоемкость относительно площади раstra.

В общем эти алгоритмы скелетизации состоят из двух этапов.

1. По исходному растру  $F = (f_{ij})_{M \times N}$  строится растр  $D = (d_{ij})_{M \times N}$  как результат действия оператора преобразования расстояния  $Dl: D = Dl(F)$ . По смыслу результат действия этого оператора выглядит так:

$$d_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{если } f_{ij} = 0 \\ s, & \text{если } f_{ij} = 1, \end{cases}$$

где  $s > 0$  - значение расстояния от точки  $(i, j)$  до ближайшей фоновой точки  $(i_b, j_b)$ , то есть  $f_{i_b, j_b} = 0$ .

Как правило, в качестве метрики (функции расстояния) на растре выбирается целочисленная метрика, например:

1) метрика по Манхэттену:  $\rho(a, b) = |i_a - i_b| + |j_a - j_b|$  - равна длине растровой линии, проведенной из  $a = (i_a, j_a)$  в  $b = (i_b, j_b)$  4-связным алгоритмом Брезенхема (растровой развертки отрезка), поэтому такое расстояние можно считать 4-связным расстоянием на растре;

2) метрика вида:  $\rho(a, b) = \max(|i_a - i_b|, |j_a - j_b|)$  - длина линии на растре, проведенной из  $a$  в  $b$  8-связным алгоритмом Брезенхема, поэтому такое расстояние можно назвать 8-связным расстоянием на растре. Существуют также целочисленные приближения евклидова расстояния.

Формальное определение оператора преобразования расстояния дано в [6, §1.2.1]. В [6, §2.1] приведены различные алгоритмы, реализующие этот оператор. Трудоемкость оптимальных алгоритмов преобразования расстояния -  $O(MN)$ .

2. К результату первого этапа применяется оператор скелетного преобразования, получающий искомое изображение скелета исходного раstra.

Операторы скелетизации решают задачу построения скелета изображения как подмножества точек объекта в виде набора строго 8-связных линий, отражающих структуру объекта и являющихся, по возможности, линиями минимальной длины. В [1, §9.2] оператор скелетизации определяется как результат последовательного стирания слоев граничных точек на изображениях объектов, приводящему к получению линий строго



единичной толщины, что получило название метода «степного пожара». Формальные определения данных операторов приведены в [6, §1.2], [5, §9.3].

Одним из первых алгоритмов скелетизации с линейной трудоемкостью был алгоритм Розенфельда, предложенный в работе [5, §9.3].

Розенфельд предложил в качестве скелета исходного изображения использовать точки локальных максимумов на изображении преобразования расстояния ( $Dt(F)$ ) или формально:

$$s_{ij} = \begin{cases} d_{ij}, & \text{если } d_{ij} \geq d_{rs} \text{ для любого } (r,s) \in N_{ij}^4 \\ 0, & \text{иначе.} \end{cases}$$

Ясно, что алгоритм, реализующий данный оператор, представляет собой однократный последовательный просмотр исходного растра, формирующий результат. На каждом шаге просмотра анализируется 4-окрестность текущей точки исходного  $D$ -растра и в результирующий  $S$ -растр записывается либо 0, либо значение  $Dt$  в текущей точке.

Трудоемкость этого алгоритма, очевидно,  $O(MN)$ , таковы же его требования к памяти. Поэтому этот алгоритм эффективен.

Однако существенным недостатком данного алгоритма является низкое качество получаемого скелета, выражаемое в:

- 1) разрывах скелетных линий, в то время как исходные линии на растре представляют собой связные области, то есть алгоритм не гарантирует связность скелета при условии связности исходного объекта;
- 2) удвоении скелетной линии при четной толщине исходной линии.

На рис. 1 показаны оба этих эффекта. На нём значком (•) обозначены объектные точки, значком (\*) обозначены полученные алгоритмом скелетные точки, пустые клетки соответствуют фоновым точкам.

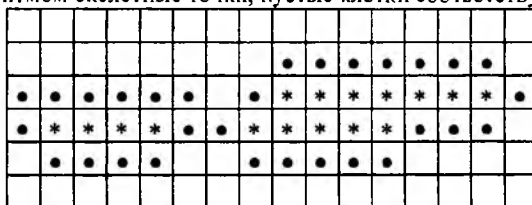


Рис. 1. Дефекты алгоритма Розенфельда

Рассмотрим предлагаемый нами алгоритм скелетизации, получающий связный скелет при условии связности элементов исходного изображения за линейное время.

Для этого нами предложена вычислительная процедура коррекции скелета по Розенфельду, работающая линейное время. Коррекция скелета по Розенфельду должна устранить необоснованные разрывы скелетных линий и удвоение скелетных линий.

Общая идея данного алгоритма заключается в следующем. Представив себе результат оператора преобразования расстояния исходного растра как целочисленную функцию двух аргументов (координат  $i$  и  $j$ ) в трехмерном пространстве, можно заметить, что скелет по Розенфельду состоит из точек, находящихся в «пиках» этой функции и на «ребрах ее хребтов». Если под необоснованными разрывами скелета понимать разрывы скелета, которым не соответствуют разрывы линий на исходном растре, то они (необоснованные разрывы) будут соответствовать подъемам и спускам «ребней хребтов» рассматриваемой функции с одной скелетной линии на другую. Следовательно, если представить себе логический спуск и подъем с одной скелетной линии на другую по «ребням хребтов», не включенных в скелет, и занесению пройденных точек в скелет, то можно получить скелет без нарушений связности, то есть на его изображении не будет разрывов, если на исходном растре изображение объекта не содержит разрывов.

Предлагаемый нами алгоритм реализует данную идею, выполняя связывание скелета за фиксированное число последовательных просмотров изображения  $Dt(F)$ .

Полученный таким образом скелет будет содержать тем не менее дефекты удвоения скелетных линий. Эти дефекты устраняются однократным последовательным просмотром скелетного изображения.

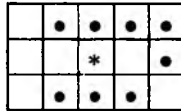
Рассмотрим более подробно процедуры устранения разрывов скелета (далее будем называть их процедурами устранения разрывов) в предлагаемом нами алгоритме. Эти процедуры разбиты нами на такие группы:

- 1) устранение разрывов в один элемент;
- 2) устранение разрывов на спуске и подъеме «ребней хребтов» рассматриваемой функции (изображения;  $Dt(F)$ );
- 3) устранение разрывов в два элемента;
- 4) устранение разрывов на спуске и подъеме линий толщиной в два элемента.

Устранение разрывов в один элемент – это последовательный просмотр исходного растра, на каждом шаге которого анализируется 8-окрестность текущей точки. Если текущая точка = 1, то идем к следующей точке. Иначе в текущей точке может быть разрыв скелетной линии, что можно установить, проанализировав конфигурацию значений  $s_{pq}$  в 8-окрестности текущей точки. Примеры разрывов в один элемент могут быть найдены в их полном перечне в приложении.

Для исправления таких разрывов достаточно заранее сформировать все возможные конфигурации скелетных точек в 8-окрестности, и при последовательном просмотре только проверять, удовлетворяют ли точки в 8-окрестности какой-либо из этих конфигураций. Для проверки можно применять кодирование окрестности восьмибитовым значением, и использовать его как индекс в таблице логических значений, где истинное значение соответствует точке разрыва скелетной линии, а ложное – неразрывной точке (то есть неизменяемой).

**Замечание.** Описанный выше алгоритм имеет недостаток – он может приводить к возникновению ложных скелетных структур вида, показанного на рис. 2, что обусловлено анализом 3x3-окрестности текущей точки, тогда как появление этой структуры может быть предотвращено анализом окрестности 5x5. Для устранения этого недостатка предлагается дополнительное условие, только при выполнении которого значение  $s_{ij}$  может измениться с 0 на 1 – это условие максимума в «не-скелетной» 8-окрестности, то есть значение  $d_y$  должно быть максимальным в своей 8-окрестности, за исключением значений в скелетных точках (то есть в тех, в которых  $s_{pq}$  равно 1).



**Рис. 2.** Ложная скелетная структура: (\*) – добавляемая точка, устраняющая разрыв в один элемент; (•) – точки, уже присутствующие в скелете

Устранение разрывов на спуске и подъеме – тоже фиксированный просмотр раstra. На каждом шаге этого просмотра также анализируется 8-окрестность текущей точки. Однако ее конфигурация, в которой значение скелетной функции изменится с 0 на 1, более сложна. Общая идея для конструирования таких конфигураций – продолжение скелетной линии не только от конечной точки «гребня хребта» с постоянным значением по «гребню хребта», который возрастает (или убывает). Полный перечень таких конфигураций приведен в приложении.

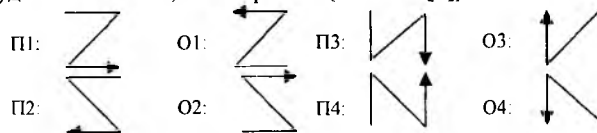
Необходимое условие для восстановления скелетной линии произвольной длины – использование в конфигурации анализа 8-окрестности не предыдущей, а текущей точки значений, полученных ранее в этой итерации. Такие алгоритмы называют последовательными операторами. Применяемый в данном случае последовательный просмотр раstra позволит воссоздать таким образом скелетные линии, проходящие в направлении, совпадающем с направлением просмотра. Например, если просмотр – сверху вниз и слева направо, то воссозданы будут скелетные линии, проходящие как вправо-вниз, так и влево-вниз. Для воссоздания остальных скелетных линий необходим еще один просмотр раstra, направленный снизу вверх и справа налево.

**Замечание.** Вообще на  $Dt$ -растре может встречаться конфигурация спуска, не сводимая к конфигурации подъема из-за наличия на скелетной линии, построенной поверх  $Dt(F)$ -раstra, седловых точек. Однако если перед устранением разрывов на подъеме применить простой оператор выделения седловых точек на  $Dt(F)$ -растре в скелетные точки, то можно исключить ситуации седловых точек и, таким образом, обойтись одной – более точной операцией устранения разрывов на подъеме. В приложении приведен полный список окрестностей седловых точек.

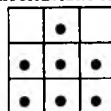
Устранение разрывов в два элемента необходимо, так как данная конфигурация не может быть обнаружена одноточечным устранением разрывов. Идея этой операции заключается в том, чтобы за один шаг последовательного просмотра раstra устранять разрыв скелетной линии длиной в 2 элемента. Ясно, что для упрощения конструирования вычислительной процедуры следует разрабатывать ее в предположении, что уже применена процедура устранения разрывов в один элемент. Ясно также, что минимальный размер окрестности текущей точки, анализируемой на каждом шаге последовательного просмотра, равен 4x4. Примеры окрестностей точек, в которых наблюдается разрыв скелета в два элемента, приведены в приложении.

Устранение разрывов на спуске и подъеме линий толщиной в два элемента по назначению аналогично операции устранения разрывов на спуске и подъеме линий толщиной в один элемент. Однако эксперименты показывают, что во многих случаях выполнение данной операции не необходимо для получения связанного скелета, а вместо нее можно еще раз применить операцию устранения разрывов на спуске и подъеме линий толщиной в один элемент и результат содержательно будет эквивалентен.

В заключение приведем точную последовательность шагов нашего алгоритма. Типы последовательных просмотров изображения будем обозначать, как на рис. 3. (взято из [6]).



**Рис. 3.** Типы последовательных просмотров изображения



**Рис. 4.** Единичный выброс на границе объекта

1. Коррекция исходного изображения – удаление единичных выбросов на границах объектов. Пример такого выброса приведен на рис. 4.  
Выполняется за один последовательный просмотр раstra (П1).
2. Применение преобразования расстояния к исходному изображению:  $D = Dt(F)$ . Выполняется за два последовательных просмотра раstra (П1 и О1).
3. Получение скелета по Розенфельду исходного изображения:  $S = St(F)$ . Один просмотр П1.
4. Поиск седловых точек на изображении D и добавление их в скелет. Один просмотр П1.
5. Связывание скелета, используя окрестность  $3 \times 3$ . Два последовательных просмотра П1 и О1. На каждом шаге выполняется одна из двух элементарных операций:
  - а) Если в текущей точке – единичный разрыв скелетной линии, то устранение его при условии локально-максимальной среди нескелетных точек (как описано выше).
  - б) Иначе проверяется, возможно ли применение 8-окрестности устранения разрыва на подъеме (как описано выше), и если да, то соответствующая окрестность применяется.
6. Связывание скелета, используя окрестность  $4 \times 4$ . Выполняется за один последовательный просмотр П1. На каждом шаге выполняется проверка применимости операции устранения разрыва в два элемента, и при положительном результате соответствующая операция применяется.
7. Связывание скелета, используя окрестность  $3 \times 3$ . Выполняется операция преобразования раstra, полностью аналогичная операции на шаге 5, за исключением того, что вместо условия локально-максимальной среди нескелетных точек используется условие необразования ложной скелетной структуры, показанной на рис. 5.

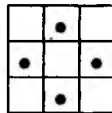


Рис. 5. Ложная скелетная структура

Для проверки этого условия используется анализ окрестности размера  $5 \times 5$  в текущей точке, если в этой точке имеется единичный разрыв скелетной линии.

Далее идут этапы коррекции полученного скелета.

8. Устранение удвоения скелетных линий. Один последовательный просмотр раstra П1.
9. Устранение единичных выбросов на скелете. Один последовательный просмотр П1.
10. Удаление ложных ветвей на скелете. Для этого используется один последовательный просмотр П1, реализующий операцию, предложенную в [6, §2.9.1].

Сделаем некоторые замечания по приведенному алгоритму скелетизации.

**Замечание 1.** Как можно заметить по приведенному описанию алгоритма, обоснование его правильности – не строгое, а основанное на эмпирически выделенных свойствах преобразования расстояния и скелета по Розенфельду исходного изображения. Кроме того, хорошее качество его работы подтверждается также многочисленными экспериментами с реальными растровыми образами картографических документов.

**Замечание 2.** Во всех приведенных выше алгоритмах не рассматривалась задача сохранения в результирующем скелете изображения информации о толщине линий на растре. Однако данная задача решается с применением алгоритма Розенфельда и предлагаемой нашей модификации этого алгоритма. Действительно, полученные значения  $s_{ij}$  скелетных линий являются значениями оператора преобразования расстояния ( $Dt(F)$ ) в точках, находящихся на средних линиях изображений исходных объектов. Так как значение преобразования расстояния в данной точке равно расстоянию на растре от нее до ближайшей точки фона, то значение толщины исходной линии в точке скелетной линии  $s_{ij}$  равно  $2s_{ij}$  с точностью до одного пиксела. Этот факт может использоваться для построения векторно-графовой модели растрового изображения, сохраняющей информацию о толщине растровых линий как атрибут – толщина ребер (векторов) графовой модели.

#### 4. Заключение

Таким образом, результатом данной работы является алгоритм скелетизации бинарного раstra, по построению получающий качественный результат с точки зрения пользователя результат, сопоставимый с результатами скелетизации итеративными алгоритмами, например, алгоритмом Макарова. Однако данный алгоритм по построению имеет линейную трудоемкость относительно площади раstra, что на практике эффективнее, чем трудоемкость итеративных алгоритмов. Требования этого алгоритма к памяти также линейны относительно площади раstra.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Дуда Р., Харт П. Распознавание образов и анализ сцен. – М.: Мир, 1976. – 511 с.
2. Макаров А.А. Модифицированный алгоритм утоньшения штриховых изображений // Вопросы радиоэлектроники. Сер. ЭВТ, 1984, вып.8.
3. Методы обработки и формирования растровых изображений. Сб. ст. – Минск: ИТК АН БССР, 1986. – 96 с.
4. Обработка и отображение информации в растровых графических системах. – Минск: ИТК АН БССР, 1989. – 180 с.

5. Розенфельд А. Распознавание и обработка изображений с помощью вычислительных машин. – М.:Мир, 1972. – 230 с.
6. Садыков С.С., Кан В.Н., Самандаров И.Р. Методы выделения структурных признаков изображений. – Ташкент: Фан, 1990. – 104 с.

**Приложение. Формальное задание окрестностей, используемых в алгоритме**

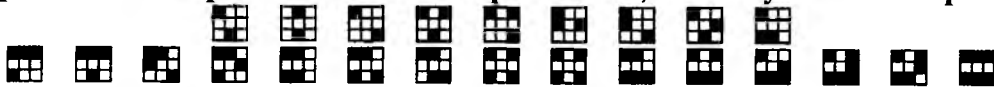


Рис. 6. Окрестности точек разрыва (Обозначения: ■ – скелетная точка; □ – не скелетная точка)

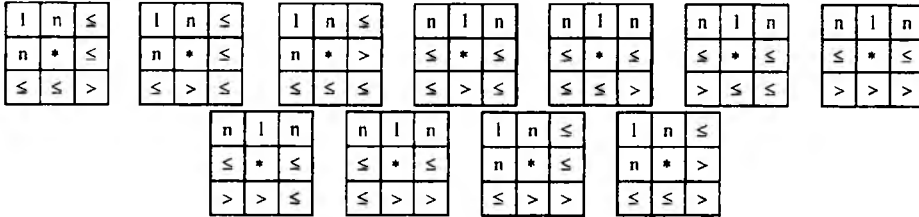


Рис. 7. Окрестности точек подъема.

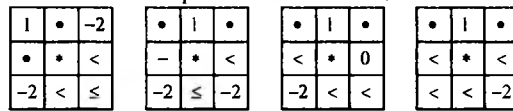


Рис. 8. Окрестности точек спуска.

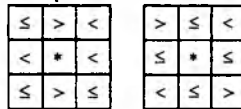


Рис. 9. Окрестности (3x3) седловых точек.

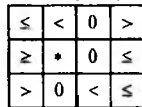


Рис. 10. Окрестность (3x4) седловой точки.

Обозначения на рис. 6-10:

- \* – рассматриваемая точка;
- l – скелетная точка; n – произвольная не скелетная точка;
- $\leq$  – не скелетная точка, значение  $Dt$  в которой равно значению  $Dt$  в точке (\*) или меньше на 1;
- $\geq$  – не скелетная точка, значение  $Dt$  в которой  $\geq$  значения  $Dt$  в точке (\*);
- $<$  – не скелетная точка, значение  $Dt$  в которой меньше значения  $Dt$  в точке (\*) на 1;
- $>$  – не скелетная точка, значение  $Dt$  в которой  $>$  значения  $Dt$  в точке (\*) на 1;
- $-2$  – не скелетная точка, значение  $Dt$  в которой меньше значения в точке (\*) на 2;
- 0 – не скелетная точка, значение  $Dt$  в которой равно значению  $Dt$  в точке (\*).

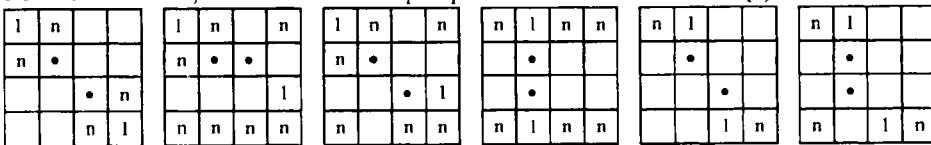


Рис. 11. Окрестности точек разрыва скелета в два элемента (l – скелетная точка;

n – произвольная точка; • – объектная не скелетная точка; ( ) – произвольная не скелетная точка)

**Замечание.** Для получения полных списков данных окрестностей в каждом из случаев необходимо для каждой из представленных здесь окрестностей добавить все повороты данной окрестности на 90, 180 и 270° относительно центральной точки, а также все отражения данной окрестности относительно вертикальной и горизонтальной осей в соответствующие множества окрестностей.