

УДК 528.93

© М.В. Телегина

М.В. Телегина

АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ СТРУКТУР ЦВЕТНЫХ ГРАФИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ – КАРТ

Из всего класса графических изображений можно выделить изображения, построение которых производится из набора элементов (примитивов) по некоторому заранее определенному плану. К ним относятся различные чертежи, планы, рисунки, схемы, карты и т.д. Для автоматизированной обработки такой информации существует специализированное программное обеспечение, поддерживающее соответствующие формы цифрового представления информации и позволяющее оперировать ею в целях решения разнообразных задач анализа структуры представленных изображений [1, 4, 10].

Географические информационные системы (ГИС), предназначенные для анализа территориальных структур земной поверхности, содержат данные о пространственных объектах в виде их цифровых представлений, объединённых в набор слоев. Для создания информационной модели предметной области – территории, необходимо представить данные о модели территории в векторной форме, оцифровать модель местности. Актуальность представления в электронной форме географических данных обусловлена, тем, что значительная часть географических данных быстро меняется с течением времени и поэтому неприемлемым становится использование бумажных карт. Быстроту получения информации, её актуальность может гарантировать только автоматизированная система. В рамках создания цифровых карт существует проблема адекватного перевода карт с бумажного носителя в цифровое представление [5, 6, 8]. Результатом сканирования, которое применяют для перевода изображения в электронный вид, является растровое цветное изображение. Наиболее часто для полученных цветных изображений используется трехкомпонентная система RGB, в которой цвет изображения в каждом пикселе представляется вектором значений компонент R (красный цвет), G (зеленый цвет), B (синий цвет) [3, 7, 9, 10]. Анализ пространственной структуры отображаемого участка местности проводится с использованием процедуры векторизации, которая позволяет обнаружить и распознать линейные и планарные структурные элементы, установить их местоположение на поле изображения. Одной из про-

блем, возникающих при векторизации цветных изображений, является необходимость учета пространственных различий для каждой цветовой компоненты изображения, а также взаимосвязей этих компонент. Однако не все известные методы решают задачи пространственного анализа структуры изображений, пространственный анализ структуры изображений в каждом отдельном цветовом слое (R, G, B) позволяет выявить определенные структурные элементы (границы, линии), но результат совместного анализа всех цветовых слоев будет выглядеть различным образом [1, 4, 10].

Решением задачи структурного анализа цветного изображения можно считать создание и анализ производного монохромного изображения (или изображения с различными уровнями серого тона). При стандартном цветотонном преобразовании цветного изображения в монохромное, реализованном почти во всех системах машинной графики, с увеличением значений составляющих цветовых компонент различимость уровней тона в полученном монохромном изображении снижается. Обратное тоноцветовое преобразование не только не восстановит исходные цвета, но и данные о них будут потеряны безвозвратно [3, 7, 8]. Предлагаемое адаптивное цветотонное преобразование (АЦТП) позволяет создать монохромную копию, а затем восстановить цветное изображение по этой копии. АЦТП основано на определении цвета того или иного пикселя изображения. Для этого необходимо установить сходство или различие координат цветовых компонент в цветовом пространстве. Если известны точные характеристики каждого цвета палитры и изображения, задача определения цвета каждого пикселя идеальных изображений, становится решаемой. Среди работ отечественных авторов наиболее близки работы по цветовой сегментации, то есть преобразованию сложного цветного изображения в отдельные цветовые компоненты (слои), которые могут быть распознаны как дискретные знаки и т.п. [2]. В работе [9] в качестве количественной меры различия между цветами использован цветовой контраст, определяемый как расстояние между точками, соответствующими цветам в пространстве цветовых

компонент. Однако реальные изображения, в частности, полученные со сканера, подвергаются воздействию искажающих факторов, таких как ограничение пространственного разрешения и воздействие шумов и помех, обусловленных процессами формирования и передачи изображения. В отличие от идеальных реальные изображения всегда имеют некоторый разброс значений цветовых компонент или значение среднеквадратичного отклонения отличное от нуля (рис. 1) [3, 7]. Необходимо учесть, что большинство цветов исходного изображения представляет собой текстуру, образованную полиграфическими растрами. Это объясняется тем, что на многоцветных полиграфических копиях графических изображений некоторая часть цветов в них образуется за счет комбинации нескольких полиграфических растров основных цветов, соответствующих нескольким краскам, используемым для печати, причем количество этих красок обычно невелико. Значит, реальные графические изображения всегда в какой-то мере текстурированы, и в силу своего случайного характера по существу шум и помехи могут представлять собой также реализации текстуры [3, 7, 10].



а) идеального цвета б) реального цвета

Рис. 1. Гистограмма по цветовой компоненте

При представлении цвета в трехмерном пространстве цветовых компонент, учитывая среднеквадратичные отклонения по каждому из параметров, можно сказать, что значения цветов группируются в определенном объеме пространства RGB. Исходя из этого, ограничим объемы распределения значений в пространстве цветовых компонент некоторыми размерами. Так как распределения характеристик близки к нормальным распределениям, а значения нормально распределенной величины группируются около ее среднего значения с разбросом, пропорциональным стандартному отклонению; большая часть полезного сигнала находится в пределах, не превышающих три среднеквадратичных отклонения (СКО) [4, 10]. Можно нормировать значения по количеству СКО или ограничить пространство распределения значений размерами СКО. Эти ограниченные объемы образуют кластеры цветовых компонент в пространстве RGB. Таким образом, кластер представляет собой своеобразный параллелепипед в цветовом пространстве RGB, в объеме кото-

рого распределены значения цветовых компонент одного цвета изображения. Расположение кластеров *i*-го цвета в пространстве цветовых компонент зависит от средних значений цветовой компоненты R_i , G_i и B_i (координаты центра кластера), а размеры определены величинами среднеквадратических отклонений y_{Ri} , y_{Gi} , y_{Bi} . Пример расположения кластеров в пространстве цветовых компонент R, G, B показан на рис. 2.

Однако чтобы однозначно определить какому цвету принадлежит той или иной пиксель изображения, необходимо задаться условием не пересечения этих кластеров в пространстве RGB. Проанализировать различное расположение кластеров в цветовом пространстве R, G, B позволяют диаграммы цветоразличения, на которых по оси ординат размещены условные размеры кластеров (число среднеквадратичных отклонений), по абсциссе – средние значения цветовых компонент RGB (математическое ожидание) (рис. 3). Диаграммы имеют форму равнобедренных треугольников с вершиной, в которой математическое ожидание равняется среднему значению цветовой компоненты опорного фрагмента, а значение СКО равно нулю.

На основании проведенного анализа характеристик изображений с различным количеством цветов по диаграммам цветоразличения видно, что кластеры многих цветов изображения, ограниченные размерами 3 СКО, пересекаются, поэтому сходство или различие цветовых координат в цветовом пространстве на уровне 3 СКО определить невозможно. Кластеры многих цветов, ограниченные размером 1-2 СКО, будут достаточно далеки друг от друга, и у пикселей изображения, имеющих цвет со значениями, не принадлежащими ни одному из кластеров, трудно определить цвет. Предлагаемая методика адаптивного цветотонного преобразования основана на распознавании цветов при произвольных распределениях цветовых компонент за счет определения близости их значений к центрам цветовых кластеров, нормированных по значениям СКО.

Аналитическим описанием характеристик распределения для опорного фрагмента *j*-го цвета являются средние значения цветовых компонент изображений (математическое ожидание) и СКО. Опорные фрагменты представляют собой фрагменты каждого основного цвета исходного изображения, максимальной величины, необходимой для прямого измерения их характеристик. Решающее правило распознавания цвета имеет следующий вид:

$$r(R, G, B) = \arg \min_{i=1, N} \min \left(\frac{R - R_i}{\sigma_{R_i}}, \frac{G - G_i}{\sigma_{G_i}}, \frac{B - B_i}{\sigma_{B_i}} \right), (1)$$

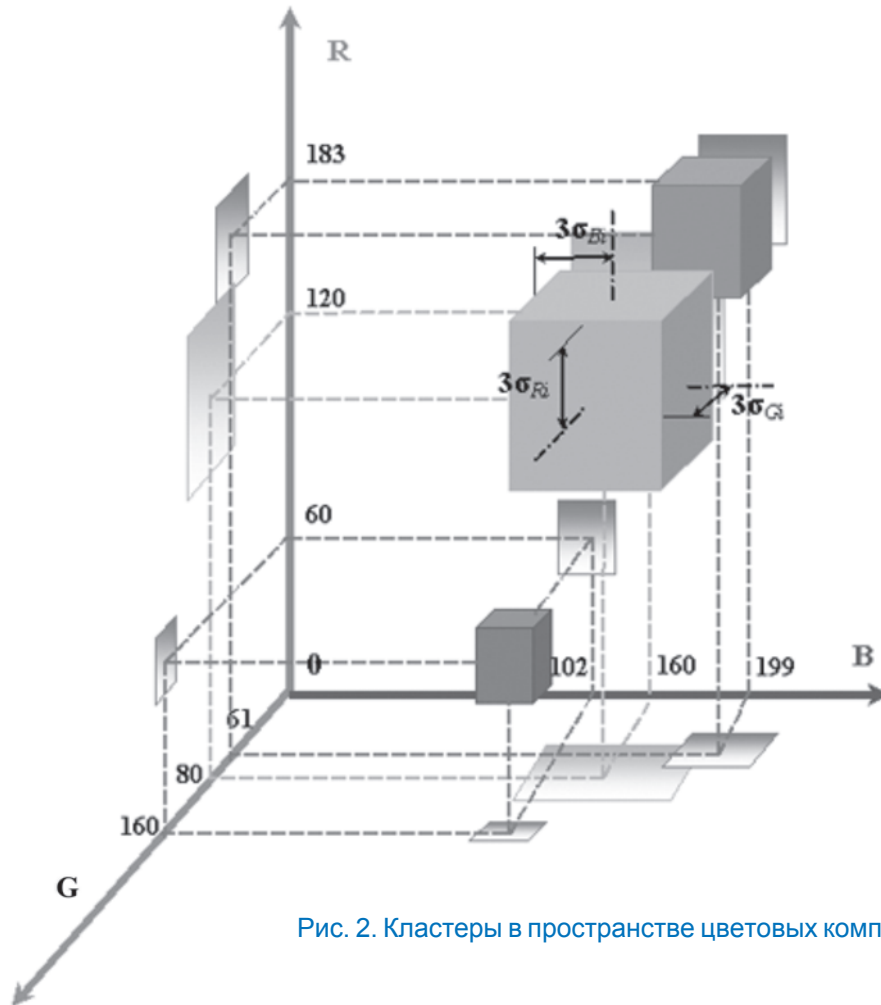


Рис. 2. Кластеры в пространстве цветных компонент R, G, B

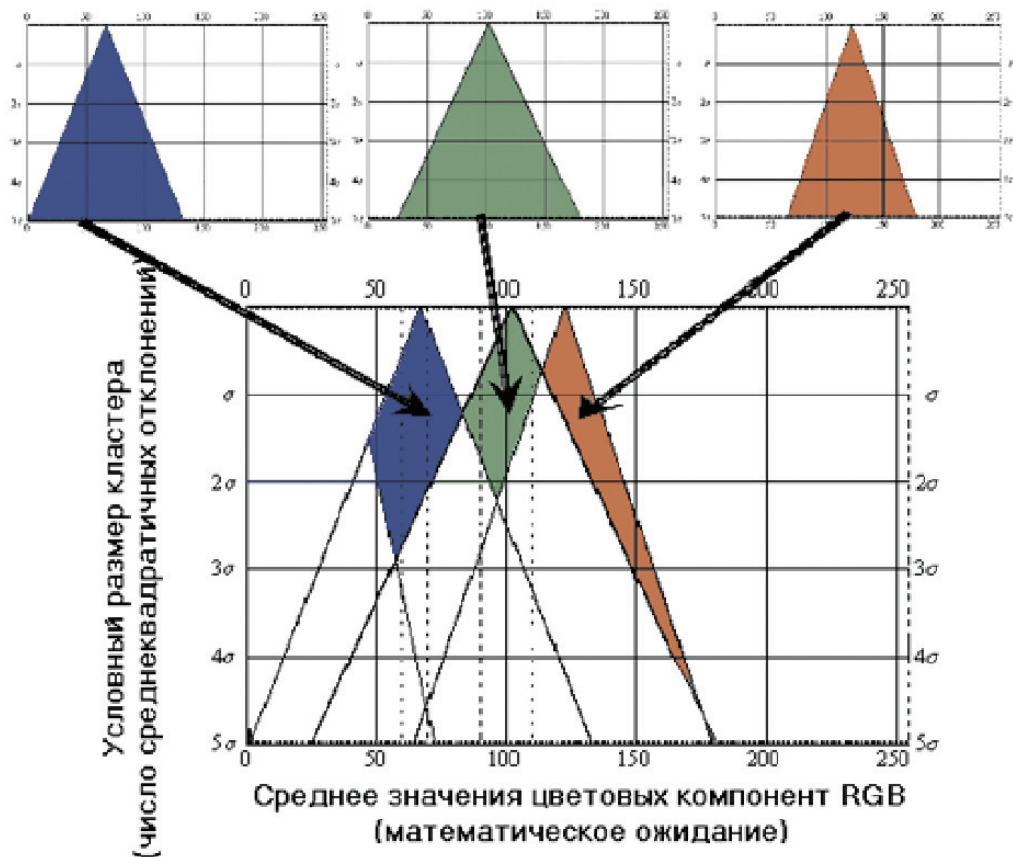


Рис. 3. Диаграммы цветоразличения трех цветов по компоненте R

где i – индекс цвета; N – количество цветов, присутствующих в изображении; R, G, B – цветовые компоненты текущего пикселя на растре; R_i, G_i, B_i – средние значений цветовых компонент; $\sigma_{Ri}, \sigma_{Gi}, \sigma_{Bi}$ – среднеквадратические отклонения значений цветовых компонент.

По характеристикам этих цветных фрагментов происходит формирование взаимозависимых тоновой и цветовой шкал и в процессе анализа оценивается принадлежность значений цветовых компонент каждого пикселя изображения определенному опорному фрагменту цвета изображения. При анализе цветов не присутствующих на опорных фрагментах, он относится к цвету, чей нормированный по количеству СКО кластер наиболее близок в цветовом пространстве.

При адаптивном цветотоновом преобразовании из цветного изображения получаем монохромное изображение с характеристиками приписанных распознанному цветам значений тонов T_i , размещенных равномерно во всем диапазоне их изменения от 0 до 255. При этом, учитывая, что единственное значение T_i придаем единственному опорному фрагменту или определенному цвету изображения, информация о значениях цветовых компонент сохраняется.

Схема была экспериментально опробована на цветных графических изображениях с различным количеством опорных фрагментов. Применение АЦТП для графических изображений карт и топографических планов обусловлено, прежде всего, присутствием вполне определенного конечного числа элементарных составляющих цветов обрабатываемого изображения, что является одним из факторов сокращения многовариантности решения. Обычно наилучшие возможности различения цвета достигаются при относительно небольшом числе опорных фрагментов изображения, а дальнейшее наращивание их количества не улучшает результаты распознавания цвета [3, 7, 10].

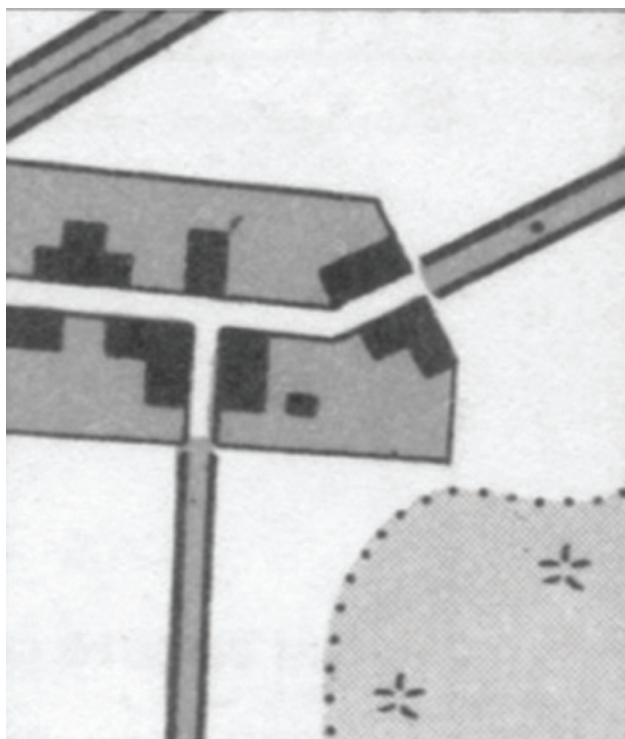
На рис. 4 приведен фрагмент исходного изображения топографической карты.

Проведено стандартное цветотоновое преобразование этого фрагмента путем отключения цветов (рис. 5а) и адаптивное цветотоновое преобразование (рис. 5б). Сравнение этих изображений показывает, что качество производного черно-белого изображения, получаемого с помощью адаптивного цветотонного преобразования, существенно лучше. Уменьшилась зернистость изображения, увеличился контраст и четкость, за счет того, что цветовые различия воспроизводятся более контрастными тоновыми переходами.

Обратное тоноцветовое преобразование, реализуемое с помощью программы восстановления

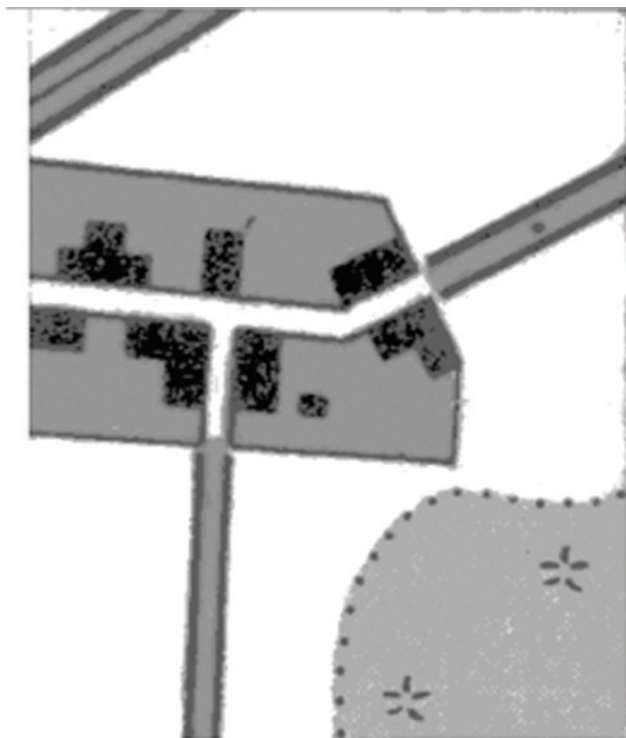


Рис. 4. Исходное изображение фрагмента топографической карты



а) изображение, полученное в результате стандартного цветотонного преобразования

Рис. 5а. Фрагмент после цветотонного преобразования (а)



б) изображение, полученное в результате адаптивного цветотонного преобразования

Рис. 5б. Фрагмент после цветотонного преобразования (б)

цветного изображения по значениям распознанных цветов исходного изображения, дает изображение, показанное на рис. 6.

Сравнение исходного и изображения, полученного после тоноцветового преобразования, наглядно показывает улучшение качества восстановленного цветного изображения по сравнению с исходным фрагментом. Значительно снижен уровень шумов и помех, которые неизбежно сопутствуют процессам формирования и регистрации реальных изображений и носят случайный характер.

При АЦТП в результате обработки программой восстановления цветов исходного изображения с небольшим количеством опорных фрагментов происходит также выравнивание текстуры, образованной полиграфическими растрами. При большом количестве цветов выравнивание текстуры изображений заключается в объединении близких кластеров.

Однако реальные изображения могут быть искажены в результате реализации физического процесса создания изображений, при котором действует нелинейное безынерционное преобразование тоноцветовых шкал. В этом случае цвета исходного и обработанного изображения не будут соответствовать стандартным цветам легенды карт. Возникает

задача коррекции искаженных цветов при восстановлении цветного изображения. Для решения этой задачи можно использовать адаптивное цветотонное преобразование. Под коррекцией цветов будем понимать придание цветовым компонентам RGB при восстановлении цветов изображения необходимых значений или координат в цветовом пространстве RGB.

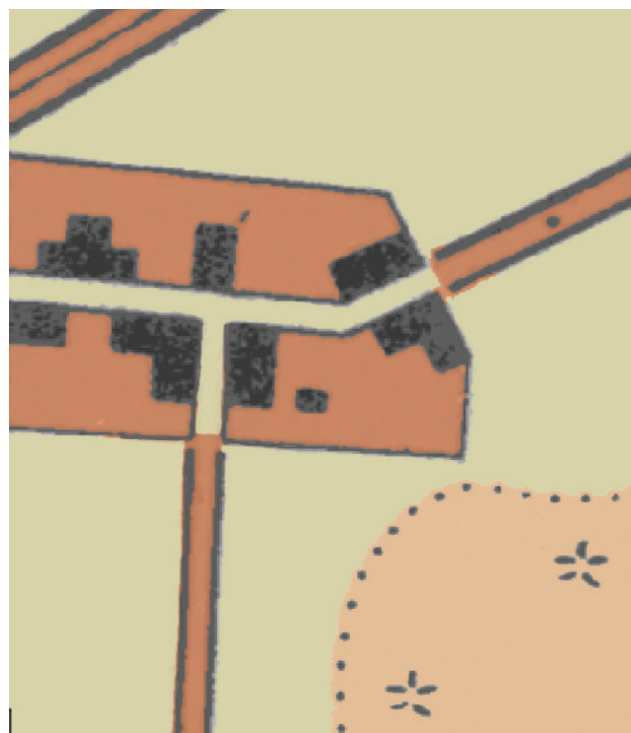


Рис. 6. Изображение, полученное в результате тоноцветового преобразования (восстановление цвета)

Произвести коррекцию искаженных цветов при восстановлении цветного изображения можно с использованием обратного тоноцветового преобразования. На рис 7 показано изображение, полученное после проведенной коррекции цветов. В результате цвета изображения стали более чистыми и насыщенными, цвет фона стал белым. Таким образом, можно привести искаженные цвета топографической карты в соответствии с общей легендой карт. Применение такой коррекции может быть весьма разнообразным. В частности с его помощью могут реализовываться преобразования типа негатив/позитив, произвольные нелинейные преобразования тоновых и цветовых шкал, цветозамены, с помощью которых можно сделать изображение более восприимчивым при индивидуальной настройке на визуальное восприятие каждым отдельным человеком (что имеет значение, например, при различных формах дальтонизма).

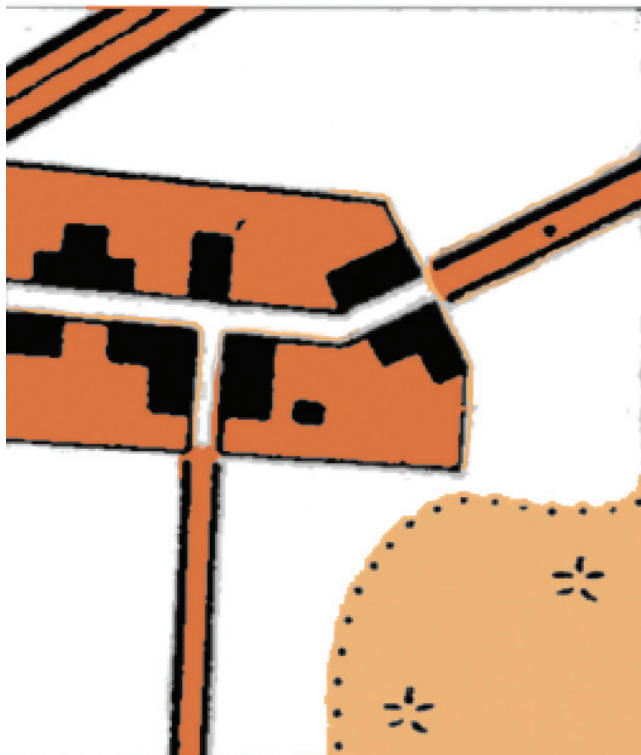


Рис. 7. Изображение, полученное в результате преобразования с коррекцией цветов

Таким образом, был предложен и экспериментально опробован метод адаптивного цветотонного преобразования изображений, обеспечивающий получение монохромных копий, воспроизводящих цветовые различия исходных изображений по всем цветовым каналам, и с сохранением информации о цветовых компонентах. Существенным результатом адаптивного цветотонного преобразования и обратного тоноцветового преобразования изображений является улучшение качества получаемых изображений. На основе кластеризации векторов цветовых компонент, производимой по опорным фрагментам изображения, и формировании корректной цветотонной шкалы, осуществляется преобразование изображений, редуцирующее их в монохромные копии, которые наиболее пригодны для целей пространственного анализа их структуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Александров В.В., Горский Н.Д. Представление и обработка изображений: Рекурсивный подход. – Л.: Наука, 1985. – 188 с.
2. Башкиров О.А., Васин Ю.Г., Лебедева Л.В., Смирнов А.Ф., Стрелкова Л.Д. Цветовая сегментация сложных графических документов// Тезисы VI Всероссийской конференции «Методы и средства обработки сложной графической информации». – Н.Новгород, 2001, 140 с.
3. Галичанин А.А., Левицкая Л.Н., Мурынов А.И., Телегина М.В. Адаптивное цветотонное преобразование графических изображений Сб. научных трудов ИжГТУ «Математическое моделирование и интеллектуальные системы». – 2003 – № 4 – Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 2003. С.
4. Дуда Р., Харт П. Распознавание образов и анализ сцен. – М.: Мир, 1976. – 512 с.
5. Королев Ю.К. Общая геоинформатика. Ч. 1. Теоретическая геоинформатика. Вып. 1. – М.: Дата+, 1998. – 119 с.
6. Королев Ю.К. Модели данных геоинформационных систем // Информационный бюллетень ГИС-ассоциации. – 1998, № 2 (14), 3 (15).
7. Лялин В.Е., Пивоваров И.В., Телегина М.В. Применение адаптивного цветотонного преобразования для различных видов графических изображений Ч. 1. // Материалы докладов VII Всероссийской научно-технической конференции «Повышение эффективности обработки информации на базе математического моделирования» в 2-х ч., Ч1. – Тамбов: «Тамбовполиграфиздат», 2004, с. 25-38.
8. Мурынов А.И., Телегина М.В. и др. Разработка и применение новых технологий создания цифровых карт. // Тезисы докладов 5-ой Российской Университетско-академической научно-практической конференции. Часть 8, УДГУ, 2001, с. 40.
9. Никоноров А.В., Попов С.Б., Фурсов В.А. Принцип согласованности оценок в задаче идентификации. Алгоритмы параллельной реализации. //Тезисы Всероссийской конф. «Высокопроизводительные вычисления и технологии». – Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2003, 332 с.
10. Прэтт У. Цифровая обработка изображений. – Кн. 1. – М.: Мир, 1982. – 312с. – Кн. 2. – М.: Мир, 1982. – 480 с.