

**ИССЛЕДОВАНИЕ СЕЛЕКТИВНЫХ ЭФФЕКТОВ
ЦЕНТРОИДНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ
ДЛЯ ЗАШУМЛЕННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

М. В. Телегина

*Физико-технический институт УрО РАН, г. Ижевск
E-mail: zhyrbn@udm.ru*

Исследованы селективные эффекты метода центроидного преобразования, предназначенного для структурного анализа монохромных графических изображений. Представлен принцип центроидного преобразования, в котором для построения пространственно-структурных параметров использованы функционалы типа моментов. Рассмотрены две схемы обработки: накопление значений центроидов и кластерная. Показано, что при воздействии на изображение шумов даже относительно большой интенсивности схема обнаружения структурных элементов и границ на основе кластеризации значений параметров достаточно результативна. Найдены в аналитическом виде выражения, определяющие координаты центров и размеры кластеров, а также величины среднеквадратичных отклонений значений параметров как функции среднеквадратичных отклонений величины некоррелированного аддитивного шума изображения.

Введение. Основной целью задачи выделения признаков изображений, как и автоматизированной обработки данных или сигналов в информационных системах, является их интерпретация – получение выводов о параметрах и характеристиках исследуемых объектов. В теории распознавания образов конечной целью является сокращение размерности входного описания с получением множества существенных признаков, обеспечивающих однозначность решения задачи классификации на этапе распознавания. Именно сокращение размерности описания определяет необходимость исследования пространственной структуры изображений. Анализ структуры цветных изображений достаточно сложен, так как необходимо обеспечить одновременный учет их пространственного и цветового контекста. Одним из решений задачи является проведение структурного анализа монохромной копии цветного изображения с последующим восстановлением значений цветовых компонент [1, 2].

Основная специфика обработки и анализа изображений заключается в исследовании пространственно-структурных свойств, выявлении и формировании системы признаков, эффективно описывающих эти свойства. При

оценке результативности методов анализа структуры графических изображений необходимо отметить их локальный характер и относительно низкую помехоустойчивость. Поэтому актуальной остается задача разработки относительно помехоустойчивого метода анализа изображений, учитывающего пространственно-структурные свойства, которая рассматривается в данной работе.

Алгоритм. Для структурного анализа монохромных изображений использован метод центроидного преобразования (ЦП), которое основывается на применении пространственно-структурных параметров (ПСП) – функционалов, значения которых зависят от параметров преобразований сигналов: масштабирования, взвешивания, сдвига (рис. 1). Для изображений таким сигналом является поперечное сечение. В качестве базовых характеристик сигнала для построения ПСП использованы функционалы типа моментов W_0, W_1, W_2 . Эти функционалы имеют вид интегралов и обеспечивают малую чувствительность искомым внешним параметрам сигнала по отношению к шумам и помехам малой величины [2]. При соблюдении условий четности (все нечетные моменты эталонного сигнала будут равны нулю) и нормирования сигнала ($W_0 = 1$) выведены выражения значений моментов параметризованных сигналов (см. таблицу).

Если рассматривать интерпретацию функции сигнала как плотность распределения масс на оси абсцисс, то эти функционалы и являются искомыми ПСП. Выражая параметры преобразования сигнала через пространственно-структурные параметры M, H, C , получаем $k = M$ (где M – масса сигнала), $a = \sqrt{H}$ (H – диссипация или мера рассеяния распределения относительно «центра тяжести» сигнала), $b = C$ (C – центроид, характеризующий положение «центра тяжести» сигнала).

При центроидном преобразовании производится сканирование раstra изображения скользящим интервалом заданной длины в одном из двух ортогональных направлений, параллельных осям координат, т. е. по строкам или по столбцам. В каждом положении интервала вычисляются значения ПСП, которые связываются с начальной точкой интервала. В результате формируются шесть производных изображений. Принцип ЦП для прямоугольных

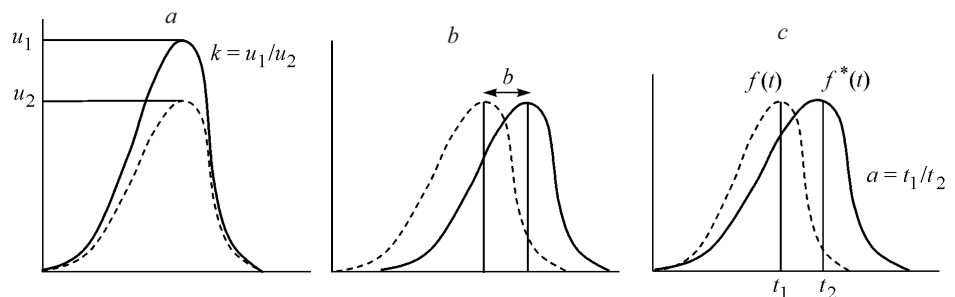


Рис. 1. Преобразование сигнала: a – сигнал, преобразованный взвешиванием, $f^*(t) = kf(t)$ (k – коэффициент взвешивания); b – сигнал, полученный сдвигом, $f^*(t + b) = f(t)$ (b – величина сдвига); c – сигнал, преобразованный масштабированием, $f^*(at) = f(t)$ (a – коэффициент масштабирования)

Выражения значений моментов параметризованных сигналов

Значения моментов параметризованных сигналов при моменте i -го порядка	Значения моментов параметризованных сигналов при соблюдении условий четности и нормирования сигнала
$W_i^* = k \int_{-\infty}^{+\infty} [g(s)]' g'(s) f(s) ds$	$W_1 = W_3 = \int_{-\infty}^{+\infty} t f(t) dt = 0$ $W_2 = \int_{-\infty}^{+\infty} t^2 f(t) dt = 1$ $W_0 = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) dt = 1$
Выражения для моментов при линейной зависимости $g(s) = as + b$	
$W_0^* = akW_0$ $W_1^* = ak(aW_1 + bW_0)$ $W_2^* = ak(a^2W_2 + 2abW_1 + b^2W_0)$ $W_3^* = ak(a^3W_3 + 3a^2bW_2 + 3ab^2W_1 + b^3W_0)$	$W_0^* = ak$ $W_1^* = akb$ $W_2^* = ak(a^2 + b^2)$ $W_3^* = akb(3a^2 + b^2)$
Выражения для моментов при квадратичной зависимости $g(s) = cs^2 + as + b$	
$W_0^* = k(2cW_1 + aW_0)$ $W_1^* = k(2c^2W_3 + 3caW_2 + 2cbW_1 + abW_0)$ $W_2^* = k[2c^3W_5 + 5ac^2W_4 + (4c^2b + 4a^2c)W_3 + (6abc + a^3)W_2 + (a^2b + 2b^2c)W_1 + 2ab^2W_0]$	$W_0^* = ak$ $W_1^* = ak(3c + b)$ $W_2^* = k[5ac^2W_4 + 6abc + a^3 + 2ab^2] = ak[5c^2W_4 + 6bc + a^2 + 2b^2]$

импульсных сигналов уровня u_1 и u_2 и длительности a_1 и a_2 соответственно на фоновом уровне u_0 иллюстрирует рис. 2. При интегрировании значений центроида по координатам образуется график скользящего центроида S^* . Значение центроида (в координатах скользящего интервала) определяет величину координаты «центра тяжести» (в пределах длины этого интервала), которая суммируется с координатой центра скользящего интервала для получения текущих «привязанных» к координатам сигнала значений центроида. Значения центроида возрастают скачком при смыкании скользящего интервала с импульсом, после чего темп роста значений центроида снижается вдвое вплоть до момента полного захвата всего импульса скользящим интервалом. После чего значения центроида стабилизируются в положении центра импульса до момента «расхвата» импульса. До момента размыкания импульса и скользящего интервала наблюдается тот же вдвое сниженный темп роста значений центроида, соответствующий скорости перемещения скользящего интервала при сканировании сигнала вне области пересечения этого интервала и анализируемого импульса. На втором этапе ЦП пакет из восьми координатно-взаимосвязанных растровых изображений преобразуется в синтезированное изображение, в котором определены местоположения линий, границ и областей исходного графического изображения, а также

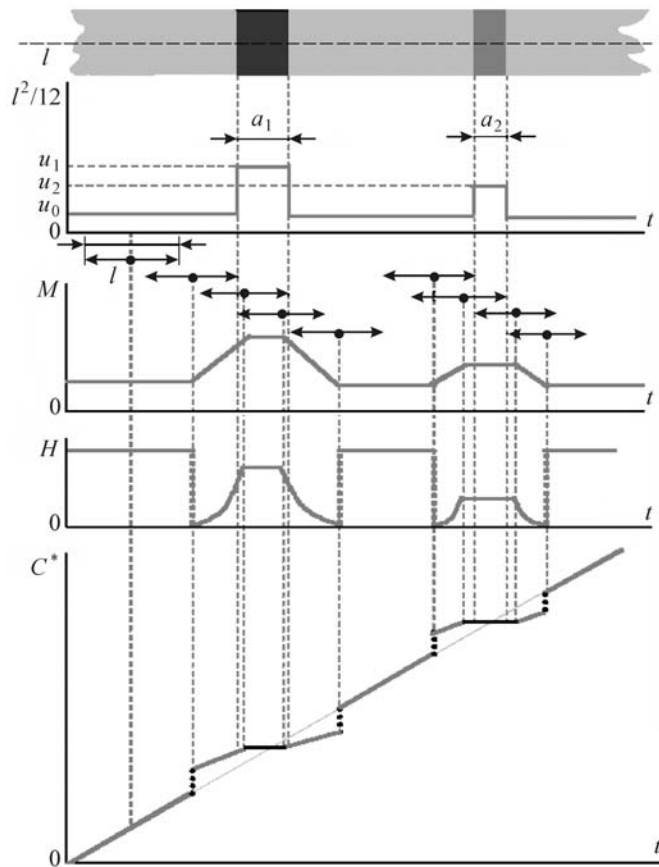


Рис. 2. Принцип центроидного преобразования для прямоугольных импульсных сигналов

распознаны и оценены графические характеристики данных элементов: тон, цвет, толщина линейных элементов и их поперечная структура.

Однако воспроизведение изображения на реальном физическом носителе сопровождается ограничением пространственного разрешения и воздействием шумов и помех. При экспериментальной обработке ЦП изображений, имеющих помехи и искажения, выявлены селективные эффекты, позволяющие выделить линии, границы и области зашумленного изображения [3, 4].

Для исследования селективных эффектов ЦП применялись две схемы обработки: схема накопления значений центроидов и кластерная. При накоплении значений центроидов задавались параметры обработки: величина скользящего интервала l и порог обнаружения p . Первая схема представлена на рис. 3, а. При ее использовании модификация центроидных изображений обеспечивает накопление веса обнаруживаемых центроидов импульсных сигналов (соответствующих сечениям линий на изображении) при перемещении скользящего интервала. Значения накопленных центроидов ниже заданного порога принимаются равными нулю. Обнаружение линий и границ элементов проявляется при длине скользящего интервала, соизмеримой с величиной элементов. С увеличением порога обнаружения распознаются линии и области, значение накопления центроидов которых выше задаваемого

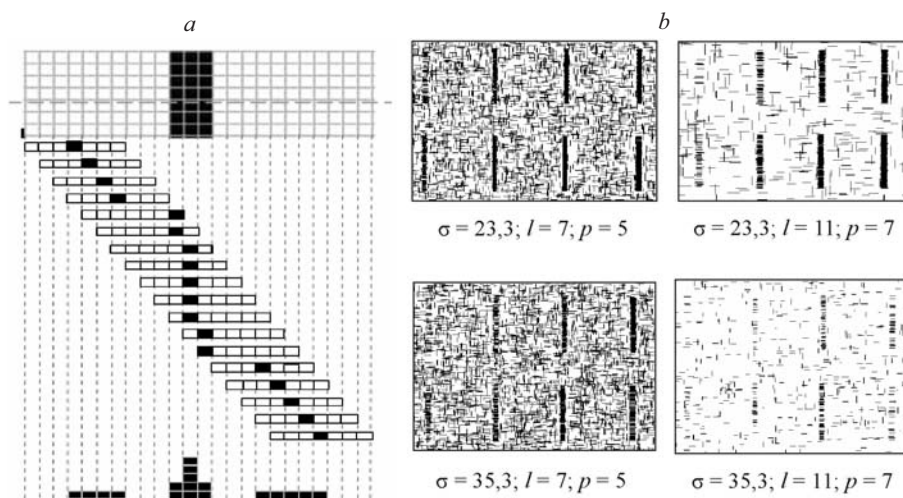


Рис. 3. Действие селективного эффекта при накоплении значений центроидов: *a* – схема накопления значений центроидов при сканировании линейного элемента; *b* – изображения, полученные после обработки

порога (рис. 3, *b*). Схему накопления значений центроидов целесообразнее использовать для сохранения малоразмерных элементов текстуры в случае отсутствия текстурного заполнения областей.

Вторая схема обработки использует кластеризацию вычисляемых текущих значений параметров. Исследовано формирование кластеров ПСП и получены в аналитическом виде выражения, определяющие координаты центров и размеры кластеров в зависимости от типов и характеристик анализируемых структурных элементов (линий, границ, областей) с учетом характеристик изображения. Для случая сканирования линейного элемента со смежными ему планарными элементами разного уровня ПСП в каждом положении скользящего интервала следующие:

$$M = u_1 t_1 + u_0(t_2 - t_1) + u_2(l - t_2), \quad C = \frac{u_1 t_1^2 + u_0(t_2^2 - t_1^2) + u_2(l^2 - t_2^2)}{2M},$$

$$H = \frac{u_1 t_1^3 + u_0(t_2 - t_1)^3 + u_2(l - t_2)^3}{12M} + \frac{u_1 u_0 t_1(t_2 - t_1)[u_1 t_1^2 + u_0(t_2^2 - t_1^2)]}{4M^2} +$$

$$+ \frac{u_1 u_2 t_1(l - t_2)[u_1 t_1^2 + u_2(l^2 - t_2^2)]^2}{4M^4} + \frac{u_0 u_2(t_2 - t_1)(l - t_2)[u_0(t_2^2 - t_1^2) + u_2(l^2 - t_2^2)]^2}{4M^4},$$

где u_0 – уровень линейного элемента; u_1 – уровень левого планарного элемента; u_2 – уровень правого планарного элемента; t_1, t_2 – границы линейного элемента; l – величина скользящего интервала.

При воздействии шумов точки фиксации кластеров структурных параметров делокализуются в пространстве значений массы, центроида и диссипации, а размеры наблюдаемых кластеров находятся в прямой зависимости

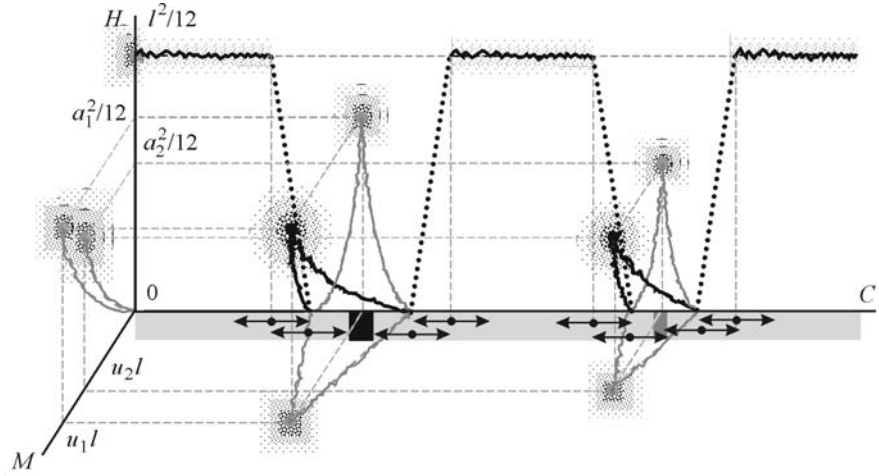


Рис. 4. Изменение параметров массы, диссипации и значений скользящего центра при сканировании элементов

от величины дисперсии воздействующих шумов. На рис. 4 представлен график изменения параметров массы, диссипации и значений скользящего центра для случая сканирования двух линейных элементов (см. рис. 1). Просматриваются точки фиксации кластеров, соответствующие прохождению импульса скользящим интервалом при полном «захвате» этого импульса. Центр позволяет выявить «окаймленный» пустым пространством кластер, обладающий «ядром», локализованным в точке местоположения импульса. Линеаризация полученных вероятностных описаний значения ПСП в виде характеристик плотности распределения их значений позволяет получить величины среднеквадратичных отклонений (СКО) значений ПСП как функции от СКО некоррелированного аддитивного гауссова шума изображения:

$$\sigma_M = \sigma_0, \quad \sigma_C = \sqrt{\frac{1}{W_0^2} \sigma_0^2 + \left(-\frac{W_1}{W_0^2}\right)^2 \sigma_1^2},$$

$$\sigma_H = \sqrt{\left(-\frac{W_1}{W_0^2} + \frac{2W_2^2}{W_0^3}\right)^2 \sigma_0^2 + \left(1 - \frac{2W_1}{W_0}\right)^2 \sigma_1^2 + \left(\frac{1}{W_0} - 1\right)^2 \sigma_0^2}$$

при

$$\sigma_0 = \sigma^* \frac{1}{\sqrt{n}}, \quad \sigma_1 = \sigma^* \sqrt{\frac{(n+1)(2n+1)}{6n}}, \quad \sigma_2 = \sigma^* \sqrt{\frac{(n+1)(2n+1)(3n^2+3n+1)}{30n}},$$

где σ_{Mi} , σ_{Ci} , σ_{Hi} – среднеквадратичные отклонения значений ПСП; $n = l/\Delta t$ (Δt – шаг дискретизации сигнала); σ^* – СКО шума.

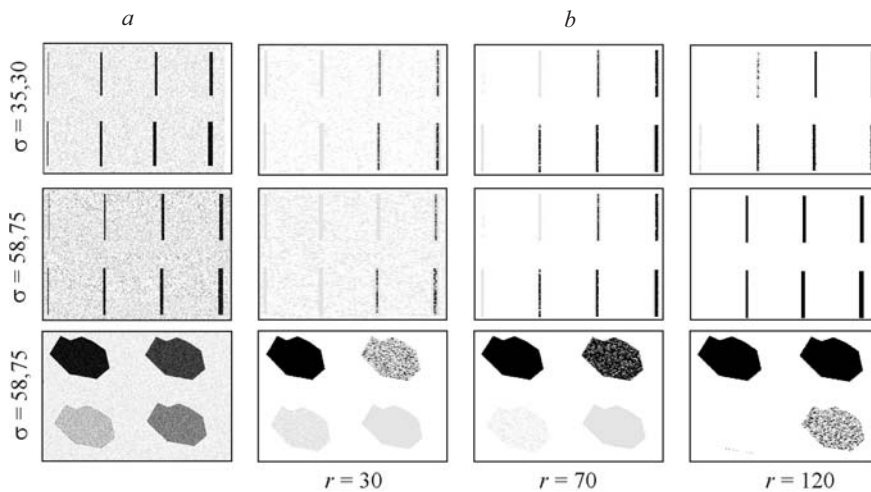


Рис. 5. Обнаружение элементов изображений с различным уровнем шума на основе кластеризации значений ПСП: *a* – исходные изображения, *b* – результаты обработки

Анализ изображений после обработки с различными параметрами кластеризации значений центроида, соответствующих местоположению импульса, показал удовлетворительные результаты особенно для изображений, имеющих аддитивный гауссов шум различной интенсивности (рис. 5). Для использования выявленных эффектов на основании проведенных экспериментальных исследований определены необходимые характеристики ЦП в зависимости от геометрических характеристик элементов, уровня тона, интенсивности шума и помех [4].

Заключение. При обработке графических изображений с наличием шумов и помех даже относительно большой интенсивности установлена высокая эффективность схемы обнаружения линий и границ элементов на основе кластеризации значений массы, центроидов и диссипации. Рассчитанные значения этих параметров для моделей элементов обеспечивают достоверное нахождение центров образующихся кластеров параметров за счет определения принадлежности текущих значений массы, центроидов и диссипации соответствующим кластерам.

Использование центроидного преобразования для проведения структурного анализа монохромной копии показало достаточную помехоустойчивость при обнаружении элементов структуры. Последующее восстановление значений цветных компонент существенно улучшает качество изображения. Полученный эффект сжатия информации при анализе монохромной копии цветного изображения с сохранением информации об основных цветах исходного изображения будет полезен при построении эффективных методов анализа изображений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Телегина М. В. Анализ пространственных структур цветных графических изображений – карт // Геоинформатика. 2005. № 4. С. 16.

2. **Телегина М. В., Галичанин А. А., Мурынов А. И. и др.** Адаптивное цветотонное преобразование графических изображений // Сб. тр. «Математическое моделирование и интеллектуальные системы». Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 2003. № 2. С. 25.
3. **Мурынов А. И., Телегина М. В.** Влияние шумов и помех на характеристики распознавания элементов изображения центроидным фильтром // Тр. IV Междунар. науч.-техн. конф. «Информационные технологии в инновационных проектах». Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 2003. Ч. 4. С. 128.
4. **Лепихов Ю. Н., Шибасва И. В., Пивоваров И. В., Телегина М. В.** Обнаружение и распознавание структурных элементов изображения на основе центроидного преобразования // Тр. Междунар. симп. «Надежность и качество» /Под ред. Н. К. Юркова. Пенза: Изд-во Пенз. Госуниверситета, 2004. Ч. II. С. 469.

Поступила в редакцию 5 мая 2005 г.
