

УДК 681.301

В. В. Кондратьев, А. В. Рогинский*(Нижний Новгород)***НОВЫЙ МЕТОД ОБРАБОТКИ
ЛОКАЛЬНО-АНИЗОТРОПНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

Разработана новая модель локально-анизотропных изображений – карта зон направленности, которая строится на этапе предварительной обработки изображений. Рассмотрен цифровой алгоритм построения карты, и предложены способы ее использования для выделения признаков. На основе разработанной модели построен упрощенный топологическо-геометрический образ изображения.

Локально-анизотропные «линейчатые» изображения типа отпечатков пальцев, интерферограмм, кристаллограмм обладают значительной информационной избыточностью. Поэтому такие изображения на начальном этапе распознавания, как правило, подвергаются предварительной обработке. Одним из наиболее распространенных способов такой обработки является построение поля направлений, т. е. функции, значение которой в данной точке равно углу наклона касательной к линии постоянного уровня функции изображения в этой точке.

Поле направлений может быть построено различными методами. Оптические методы [1] имеют высокое быстродействие, но требуют наличия дополнительного специального оборудования – оптико-электронной схемы преобразования. Цифровые методы [2] отличаются меньшим количеством используемых периферийных устройств, однако требуют значительных временных затрат.

Предлагается использовать более простую по сравнению с полем направлений структуру – карту зон направленности. При этом изображение разбивается на некоторое число участков, каждому из которых ставится в соответствие зона направленности, характеризующая среднюю ориентацию потока линий на участке изображения. Это позволяет обеспечить снижение информационной избыточности изображения в большей степени, чем при использовании поля направлений.

Разработано быстрое цифровое преобразование для построения модели изображения. Получаемая карта зон направленности может быть использована как непосредственно для выделения признаков, таких как топологическая структура изображения и координаты характерных точек, так и для формирования однозначно соответствующего изображению упрощенного образа. Этот образ представляет собой топологическо-геометрическую

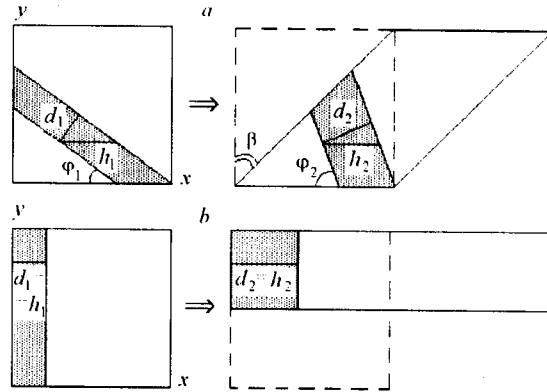


Рис. 1. Отображения, используемые на первом этапе преобразования

структуру, подобную структуре печатного символа. В силу этого он, в свою очередь, может быть использован для выделения признаков при помощи известных алгоритмов обработки символов, в том числе и алгоритмов Q -фильтрации [3].

1. Описание преобразования. К исходному изображению W_0 применяется разработанное преобразование фильтрации, не изменяющее в конечном итоге размеров и общей структуры изображения. Преобразование состоит из трех этапов: сдвиг, сглаживание, обратный сдвиг. Это преобразование максимально увеличивает толщину линейных элементов изображения (ЛЭИ), расположенных под заданным углом наклона α_k по отношению к выбранной оси. Толщина других ЛЭИ при этом либо увеличивается в меньшей степени (при углах, близких к α_k), либо уменьшается. Проведенный ряд из n таких преобразований дает набор изображений $\{W(\alpha_1), \dots, W(\alpha_n)\}$ с выделенными ЛЭИ заданной направленности $\alpha_1, \dots, \alpha_n$.

На первом этапе преобразования производится отображение сдвига $W_0 \rightarrow V(\alpha_k)$, при котором каждая точка изображения (x, y) отображается в точку $(x + py, y)$, где p – коэффициент сдвига, который может быть как положительным, так и отрицательным:

$$p = \operatorname{tg} \beta, \quad \beta \in [-\pi/2, \pi/2]. \quad (1)$$

Следует отметить, что отображение $(x, y) \rightarrow (x + py, y)$ является взаимно однозначным. При этом равная $d_1 = h_1 \sin \varphi_1$ толщина произвольного ЛЭИ, имевшего на исходном изображении W_0 угол наклона $\varphi_1 \in [0, \pi)$, изменяется на $d_2 = h_2 \sin \varphi_2$ (рис. 1, а). Преобразование сдвига не изменяет величину h по сравнению с исходным изображением, т. е. $h_1 = h_2$. Следовательно, коэффициент изменения толщины ЛЭИ $s = d_2/d_1$ равен

$$s = \sin \varphi_2 / \sin \varphi_1. \quad (2)$$

Из геометрических соотношений получаем

$$\operatorname{ctg} \varphi_1 - \operatorname{ctg} \varphi_2 = \operatorname{tg} \beta. \quad (3)$$

Отсюда

$$s = \{ \sin \varphi_1 \sqrt{[(\operatorname{ctg} \varphi_2 - \operatorname{tg} \beta)^2 + 1]} \}^{-1}. \quad (4)$$

Из анализа формулы (4) следует, что при любом значении угла φ_1 максимум d_2/d_1 достигается при $\operatorname{tg} \beta = \operatorname{ctg} \varphi_1$. Следовательно, для максимизации толщины ЛЭИ, идущих под заданным углом α_k , коэффициент сдвига и угол сдвига соответственно должны принимать значения:

$$p_k = \operatorname{ctg} \alpha_k, \quad (5)$$

$$\beta_k = \operatorname{arctg} p_k. \quad (6)$$

Граничными являются случаи $\varphi_1 = 0$ и $\varphi_1 = \pi/2$. Для них используется альтернативное отображение, при котором размер изображения по вертикали и горизонтали изменяется соответственно в q и $1/q$ раз, не изменяя общей площади (рис. 1, б). Нетрудно доказать, что при таком отображении максимальное увеличение толщины ЛЭИ происходит при $d = h$, т. е. в случае $q > 1$ для $\varphi_1 = 0$, а в случае $q < 1$ для $\varphi_1 = \pi/2$.

К полученному сдвинутому изображению $V(\alpha_k)$ на втором этапе преобразования применяется процедура пространственного сглаживания, которая уменьшает толщину линий, преобразуя изображение $V(\alpha_k) \rightarrow T(\alpha_k)$. Пусть на исходном изображении W_0 имелся ЛЭИ с углом наклона α_k толщиной d . На изображениях $V(\alpha_k)$ и $V(\alpha_i)$, $k \neq i$, сдвинутых на первом этапе на углы $\beta_k = \operatorname{arctg}(\operatorname{ctg} \alpha_k)$ и $\beta_i = \operatorname{arctg}(\operatorname{ctg} \alpha_i)$, получаем толщину ЛЭИ $s_k d$ и $s_i d$ соответственно, причем $s_i < s_k$. После проведения сглаживания толщина ЛЭИ уменьшается и становится равной $\delta_k = s_k d - g$ и $\delta_i = s_i d - g$ соответственно, где g – параметр сглаживания. В случае если $s_i d < g$, такой ЛЭИ полностью «срезается». Например, при $g = s_k d/2$ будут «срезаться» ЛЭИ, для которых $s_i < s_k/2$.

На третьем этапе, после сглаживания, к сдвинутому изображению $T(\alpha_k)$ применяется отображение обратного сдвига $T(\alpha_k) \rightarrow W(\alpha_k)$, т. е. точка изображения $(x + py, y)$ отображается в точку (x, y) . При этом коэффициент изменения толщины ЛЭИ равен $1/s$, т. е. принимает значения, обратные коэффициенту для прямого отображения.

Преобразуемое изображение и его вид по истечении каждого из трех этапов преобразования показаны на рис. 2.

Для рассмотренного выше примера окончательная толщина ЛЭИ будет равна в первом случае $\lambda_k = \delta_k/s_k = d - g/s_k$ и во втором – $\lambda_i = \delta_i/s_i = d - g/s_i$. Исходя из приведенных выше соотношений, $\lambda_k > \lambda_i$. Таким образом, ЛЭИ с исходным углом наклона α_k в результате полного преобразования (сдвиг, сглаживание, обратный сдвиг) будет иметь максимальную толщину на изображении $W(\alpha_k)$.

Необходимо отметить, что присутствие пространственного сглаживания на одном из этапов преобразования обеспечивает дополнительную помехоустойчивость обработки, так как сглаживание подавляет случайные точечные помехи типа локальной инверсии.

2. Карта зон направленности и ее использование. Полученный набор отфильтрованных изображений $\{W(\alpha_1), \dots, W(\alpha_n)\}$ служит для последующего выделения на исходном изображении W_0 n зон направленности

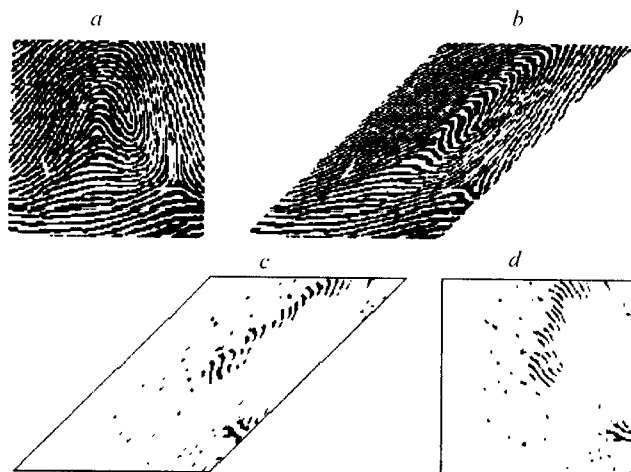


Рис. 2. Построение преобразованного изображения: *a* – исходное, *b* – сдвинутое, *c* – сглаженное, *d* – преобразованное изображение

$\{Q_1, \dots, Q_n\}$. С этой целью каждое изображение $W(\alpha_k)$ разбивается на множество из $m_1 \times m_2$ прямоугольных участков $\{w_{uv}(\alpha_k)\}$, где $u = \{1, \dots, m_1\}$; $v = \{1, \dots, m_2\}$. Для каждого участка подсчитывается его визуальная масса

$$\mu_{uv}(\alpha_k) = \iint_{w_{uv}} \mu(x, y) dx dy,$$

где $\mu(x, y)$ – функция яркости изображения.

Участок w_{uv0} исходного изображения W_0 считается принадлежащим зоне направленности Q_r , для которой значение индекса $r \in \{1, \dots, n\}$ определяется из соотношения

$$\mu_{uv}(\alpha_r) = \max_k \{\mu_{uv}(\alpha_k)\}. \quad (7)$$

Таким образом, в силу того что визуальная масса участка w_{uv} с потоком линий, имеющих преобладающую направленность α_r , будет максимальной на изображении $W(\alpha_r)$, соответствующем максимальному увеличению толщины линий потока, зона направленности Q_r будет соответствовать углу α_r .

Исходное изображение, полученные для него отфильтрованные изображения по четырем направлениям и графическое представление построенной карты зон направленности показаны на рис. 3.

При увеличении числа преобразованных изображений n и уменьшении размера участка w_{uv} получаемые результаты в предельном случае будут соответствовать модели поля направлений [1, 2].

Полученная карта зон направленности позволяет выделять ряд важных характеристик, используемых для описания изображения. Это характерные точки, расположение которых выявляется на основании сопоставления участков изображения w_{uv} с участками из его окрестности по их принадлежности к соответствующим зонам направленности.

Так, например, при идентификации отпечатка пальца присутствие в окрестности некоторого участка изображения участков с направленностями

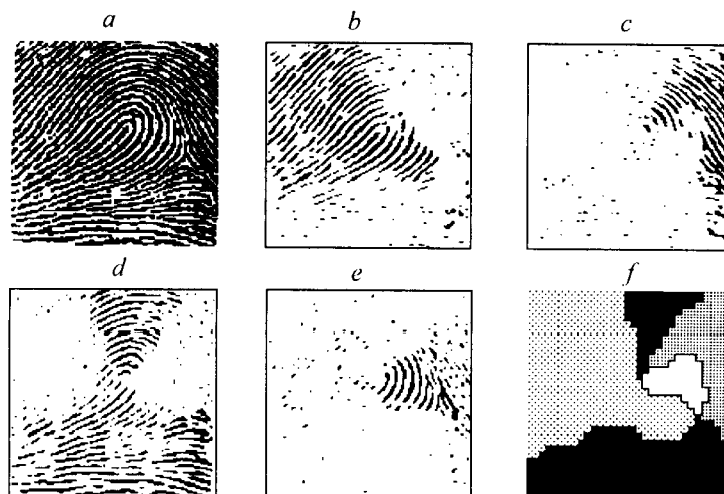


Рис. 3. Построение карты зон направленности: *a* – исходное изображение; *b-e* – набор отфильтрованных изображений с выделенными ЛЭИ по четырем направлениям; *f* – графическое представление карты зон направленности

$\alpha + \pi/2, \alpha + \pi/4, \alpha - \pi/4$ (в определенном взаимном расположении) свидетельствует о наличии так называемой «дельты». Участки с характерными точками, выявленные на отпечатке, показаны на рис. 4, *b*.

Другой важной выделяемой характеристикой является топологическая структура изображения. Применение данной модели позволяет представить эту структуру в виде графа, обеспечивая при этом ее инвариантность к преобразованиям сдвига и поворота (с учетом циклического взаимного перехода зон направленности).

3. Упрощенный образ изображения. Помимо непосредственного использования карты зон направленности для формирования признаков, предлагается применять ее для создания упрощенного образа изображения (УО). Это является актуальным в силу большой информационной избыточности «линейчатых» изображений. Построение УО позволяет использовать его в процедурах выделения признаков. Это особенно актуально для тех процедур, применение которых напрямую к «линейчатым» изображениям не позволяет выделить признаки быстро и эффективно, например, в алгоритмах Q -фильтрации [3].

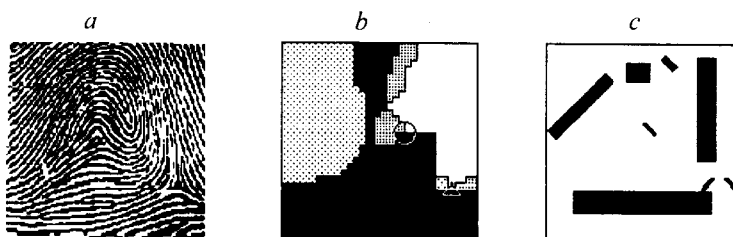


Рис. 4. Построение упрощенного образа изображения: *a* – исходное изображение; *b* – карта зон направленности (окружностью и треугольником помечены участки с выявленными характерными точками – «центром» и «дельтой»); *c* – графическое представление упрощенного образа изображения

Для построения УО каждой замкнутой области T_{im} , принадлежащей зоне направленности Q_i , ставится в соответствие графический примитив U_{im} – прямоугольник, характеристики которого определяются параметрами области T_{im} . Так, центр масс примитива U_{im} привязывается к центру масс области T_{im} . Ориентация примитива соответствует ориентации зоны направленности Q_i . Размеры прямоугольника определяются усредненными размерами области T_{im} вдоль оси направленности и перпендикулярно ей соответственно с учетом задаваемых масштабирующих коэффициентов.

Таким образом, областям малой площади будут соответствовать небольшие по размеру примитивы. Следовательно, если в результате зашумления на изображении появилась небольшая «ложная» область той или иной направленности, она не окажет решающего воздействия на работу по выделению признаков из упрощенного образа.

Графическое представление УО на примере изображения отпечатка пальца с выделенными зонами направленности по четырем направлениям показано на рис. 4, с.

Полученный упрощенный образ представляет собой новый тип комбинированного топологическо-геометрического описания изображения. Он содержит в себе информацию и по высокочастотным (линии), и по низкочастотным (области) составляющим изображения, преодолевая тем самым двойственность характера изображения, влекущую за собой двойственность известных процедур обработки.

Коэффициент сжатия информации при переходе от исходного изображения к упрощенному образу достигает весьма значительных величин. Так, например, для отпечатка, представленного на рис. 4, а, исходное бинарное изображение 256×256 точек занимает 8192 байта, а упрощенный образ задается шестью примитивами, каждый из которых может быть описан четырьмя параметрами (координаты центра и размеры), т. е. описание занимает 24 байта. Таким образом, информация для этого примера «сжимается» более чем в 300 раз.

Параллельный сдвиг исходного изображения в плоскости вызывает параллельный сдвиг УО на то же расстояние. Поворот изображения на угол, кратный углу образования сдвинутых изображений $\alpha_k = \pi/n$, где n – число зон направленности, вызывает поворот УО на тот же угол без изменения габаритов составляющих его примитивов. При повороте на некратный угол сохраняется общая структура УО при некотором изменении размера и наклона примитивов. Необходимо также учесть, что изображение можно сориентировать по выявленным характерным точкам (см. разд. 2). После преобразования масштаба и помех в виде обрезания краев изображения получаемый УО представляет собой фигуру, связанную с УО исходного изображения отношением подобия. Таким образом, топологическо-геометрическое описание изображения, представленное УО, обладает значительной устойчивостью к разного рода преобразованиям исходного изображения.

Упрощенный образ как один из способов использования карты зон направленности может применяться при идентификации изображения. Так, полученное топологическо-геометрическое описание может быть использовано на этапе предварительной классификации (кластеризации) по сравнению небольшого количества обобщенных классов. Например, для отпечатков пальцев предложенным способом выявляются типы узоров (петлевые, дуговые и т. д.).

Кроме того, УО может быть использован и на конечных этапах распознавания. Например, при помощи алгоритмов Q -фильтрации можно получить описание не исходного изображения, а УО, соответствующего ему, и работать с этим описанием.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Сойфер В. А., Котляр В. В., Хонина С. Н.** Оптический метод построения поля направлений // Автометрия. 1996. № 1. С. 31.
2. **Ильясова Н. Ю., Устинов А. В., Храмов А. Г.** Методы анализа дактилоскопических изображений на основе поля направлений // Научное приборостроение. 1993. 3. № 1.
3. **Кондратьев В. В., Утробин В. А.** Формирование описания изображения в условиях априорной неопределенности // Докл. РАН. 1996. 347, № 3. С. 316.

Поступила в редакцию 15 декабря 1997 г.

Реклама продукции в нашем журнале – залог Вашего успеха!