

ОПТИЧЕСКИЙ МЕТОД СТРУКТУРИРОВАНИЯ КОНТУРНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ.

Введение

Специфический характер и сложность анализа таких объектов, как отпечатки пальцев, интерферограммы, кристаллограммы [1,2], и других контурных изображений, требует предварительной обработки таких изображений с целью выделения наиболее важной информации из массы несущественных деталей. Для этого предлагается структурировать контурное изображение [1] путем построения поля направлений, характеризующего направление линий в каждой точке изображения. Это приводит к сжатию информации, так как целый набор линий заменяется на их направление, а также к выделению особых точек контурного изображения.

В [3] разработано и исследовано несколько цифровых методов построения и обработки поля направлений. Однако, часто из соображений быстродействия или как дополнение к готовой оптической системе [4,5] желательно оптическое структурирование поступающего на вход изображения. В данной работе рассматривается оптико-электронный метод построения поля направлений с помощью вращающейся щели и амплитудной маски, установленных в частотной плоскости.

С целью исследования работоспособности предлагаемого метода средствами компьютерного моделирования проведено сравнение его с цифровым дисперсионным методом [3] для различных модельных и натуральных изображений. Показана работоспособность и эффективность разработанного метода в численных экспериментах по распознаванию отпечатков пальцев с помощью оптического разложения Каруна-Лозва [4,5].

1. Оптический метод построения поля направлений.

Поле направлений [1] называется функция $\varphi(x,y)$, значение которой в данной точке равно углу касательной к линии равного уровня функции $w(x,y)$ в этой же точке, приведенному к диапазону $[0^\circ, 180^\circ)$:

$$\varphi(x,y) = \arctg\left(-\frac{\partial\Lambda/\partial x}{\partial\Lambda/\partial y}\right) \quad (1)$$

где $\Lambda(x,y) = w(x,y) - \text{const} = 0$ - линия уровня (см. Рис.1).

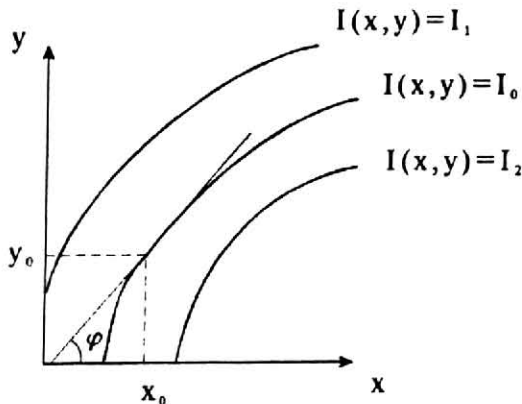


Рис.1. Определение угла наклона касательной к линии равного уровня изображения при построении поля направлений.

Понимание оптического метода построения поля направлений основано на представлении контурного изображения $w(x,y)$, например, интерферограммы, в виде набора косинусных дифракционных решеток, ограниченных некоторыми областями, с различными углами наклона и частотой штрихов:

$$w(x,y) = \sum_{i=1}^N q_i(x,y) \cos(\alpha_i x + \beta_i y) \quad (2)$$

где $q_i(x,y)$ - функция области, ограничивающей i -ю решетку; $\cos(\alpha_i x + \beta_i y)$ - i -ая решетка с параметрами α_i и β_i , определяющими частоту и наклон штрихов.

1.1. Селекция направлений.

Угол наклона штрихов φ определяется через параметры решетки α и β следующим образом:

$$\begin{cases} y = x \cdot \operatorname{tg} \varphi \\ \alpha x + \beta y = \text{const} \end{cases} \Rightarrow \operatorname{tg} \varphi = -\frac{\alpha}{\beta} \quad (3)$$

Представим:

$$\cos(\alpha x + \beta y) = \frac{1}{2} \{ \exp[i(\alpha x + \beta y)] + \exp[-i(\alpha x + \beta y)] \}.$$

Тогда преобразование Фурье от функции решетки:

$$\cos(\alpha x + \beta y) \xrightarrow{\mathcal{F}} \frac{1}{2} \{ \delta(\xi - \alpha, \eta - \beta) + \delta(\xi + \alpha, \eta + \beta) \} \quad (4)$$

где (x,y) и (ξ,η) - декартовы координаты во входной и частотной плоскостях, \mathcal{F} - двумерное преобразование Фурье, $\delta(x,y)$ - функция Дирака.

Таким образом, решетка дает в Фурье-плоскости два δ -импульса, расположенные симметрично на линии, проходящей через центр (см. рис.2) под углом θ :

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{\beta}{\alpha}$$

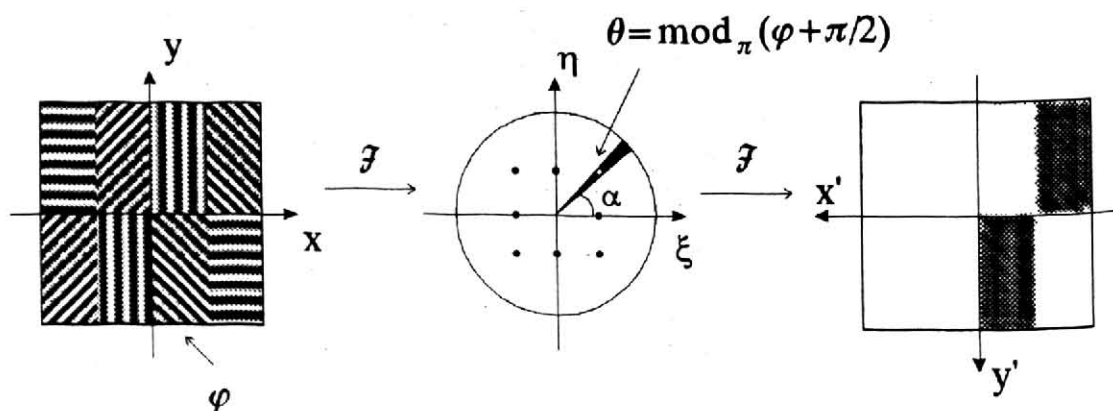


Рис. 2. Селекция направлений с помощью оптического метода с вращающейся щелью.

Тогда θ и φ с учетом (3) связаны следующим образом:

$$\operatorname{tg} \theta = -\frac{1}{\operatorname{tg} \varphi} = -\operatorname{ctg} \varphi = \operatorname{tg} \left(\varphi + \frac{\pi}{2} \right) \quad (5)$$

т.е., θ перпендикулярен углу наклона штрихов решетки φ .

Если решетка ограничена некоторой областью $q(x, y)$, то в частотной плоскости мы получим свертку Фурье-образа от функции, описывающей эту область, $Q(\xi, \eta)$ с δ -импульсами. Так, при сканировании изображения прямоугольными окнами функция области $q(x, y) = \operatorname{rect}(x, y)$, а ее Фурье-образ $Q(\xi, \eta) = \operatorname{sinc}(\xi, \eta)$.

Известно, что свертка δ -функции с любой функцией дает ту же функцию с соответствующим смещением:

$$\delta(\xi - \xi_0, \eta - \eta_0) \otimes Q(\xi, \eta) = Q(\xi - \xi_0, \eta - \eta_0) \quad (6)$$

Тогда, в описанном выше примере, мы получим вместо δ -импульсов расположенные точно также sinc -функции.

Далее, если с помощью щели (см. рис.2) в верхней части частотной плоскости вырезать сегмент под углом $\theta = \operatorname{mod}_{\pi}(\varphi + \pi/2)$, то еще одно Фурье-преобразование от такого вырезанного спектра даст следующий результат:

$$Q(\xi, \eta) \otimes \delta(\xi - \alpha, \eta - \beta) = Q(\xi - \alpha, \eta - \beta) \xrightarrow{\mathfrak{F}} q_{\alpha, \beta}(x', y') = q_{\varphi}(-x, -y) \quad (7)$$

То есть, в выходной плоскости (x', y') отличная от нуля интенсивность будет только в области, соответствующей решетке с углом наклона штрихов φ (с учетом симметрии $(x', y') \rightarrow (-x, -y)$).

Причем, этот эффект имеет место независимо от частоты полос, так как им будут соответствовать δ -функции, находящиеся на одном луче - ближе или дальше от центра. Следовательно, вырезая сегмент вдоль направления $\theta = \operatorname{mod}_{\pi}(\varphi + \pi/2)$ мы захватываем спектры от всех решеток с направлением штрихов $-\alpha_i/\beta_i = \operatorname{tg} \varphi$ независимо от частоты штрихов и областей, их ограничивающих:

$$\begin{aligned} w(x, y) &= \sum_{i=1}^N q_i(x, y) \cos(\alpha_i x + \beta_i y) \xrightarrow{\mathfrak{F}} \sum_{i=1}^N Q_i(\xi - \alpha_i, \eta - \beta_i) \rightarrow \\ &\xrightarrow{-\alpha_i/\beta_i = \operatorname{tg} \varphi} \sum_{k \in K} Q_k(\xi - \alpha_k, \eta - \beta_k) \xrightarrow{\mathfrak{F}} \sum_{k \in K} q_k(-x, -y) = D_{\varphi}(x, y) \end{aligned} \quad (8)$$

где $D_{\varphi}(x, y)$ совокупность всех областей, где линии изображения $w(x, y)$ направлены под углом φ .

Таким образом, вращая щель и вырезая сегменты в верхней части Фурье-плоскости, мы можем просканировать все направления линий, имеющиеся на изображении в диапазоне $[0, \pi)$.

1.2. Маркировка углов.

Чтобы идентифицировать области, соответствующие различным направлениям, их нужно маркировать.

Проще всего было бы ненулевым областям, полученным при положении щели под углом $\theta = \operatorname{mod}_{\pi}(\varphi + \pi/2)$, приписать интенсивность, равную углу φ , то есть выполнить преобразование:

$$P_{\varphi}(x', y') = \begin{cases} \varphi, & I_{\varphi}(x', y') \neq 0 \\ 0, & I_{\varphi}(x', y') = 0 \end{cases} \quad (9)$$

И тогда сумма всех $P_{\varphi}(x', y')$, $\varphi \in [0, \pi)$ даст поле направлений исходного изображения.

Однако, сложность состоит в том, что "нулевая" область на самом деле имеет хоть и близкую, но все же отличную от нуля интенсивность. Следовательно, появляется необходимость определения некоторого порога d для корректировки процедуры (9):

$$\tilde{P}_{\varphi}(x', y') = \begin{cases} \varphi, & I_{\varphi}(x', y') > d \\ 0, & I_{\varphi}(x', y') \leq d \end{cases} \quad (10)$$

что значительно усложняет весь процесс, так как значение порога d различное для каждой вновь получаемой картины $I_{\varphi}(x', y')$.

Поэтому предлагается проводить следующую процедуру:

Сканируя вращающейся щелью с некоторым дискретным шагом $\Delta\varphi$, мы получим $I_{\varphi}(x', y')$ для M значений φ :

$$I_{\varphi_k}(x', y'), \quad \varphi_k = \Delta\varphi \cdot (k-1), \quad \Delta\varphi = \frac{\pi}{M}, \quad k = \overline{1, M} \quad (11)$$

Суммируем их с весами, являющимися соответствующим углом:

$$S_{\varphi}(x', y') = \sum_{k=1}^M I_{\varphi_k}(x', y') \cdot \varphi_k \quad (12)$$

Оптически такую процедуру можно выполнить, установив непосредственно за экраном с щелью амплитудную маску с функцией пропускания (с учетом (11)):

$$\tau(\alpha) = \begin{cases} \varphi_k, & \varphi_k - \frac{\Delta\varphi}{2} \leq \text{mod}_{\pi} \left(\alpha + \frac{\pi}{2} \right) + < \varphi_k + \frac{\Delta\varphi}{2}, \quad k = \overline{1, M} \\ 0, & \varphi_M + \frac{\Delta\varphi}{2} \leq \text{mod}_{\pi} \left(\alpha + \frac{\pi}{2} \right) < 2\pi - \frac{\Delta\varphi}{2} \end{cases} \quad (13)$$

В сумме (12) для некоторой точки (x_0', y_0') одна из компонент $I_{\varphi_{k_0}}(x_0', y_0')$, угол которой φ_{k_0} совпадает с направлением линий в соответствующей точке (x_0, y_0) на изображении, будет значительно больше по величине, чем остальные компоненты (см. рис.3). Таким образом, $S_{\varphi}(x_0', y_0') \approx I_{\varphi_{k_0}}(x_0', y_0') \cdot \varphi_{k_0}$.

Теперь, чтобы выделить угол, нужно провести следующую нормировку выражения (12):

$$G_{\varphi}(x', y') = \frac{S_{\varphi}(x', y')}{S(x', y')}, \quad (14)$$

где $S(x', y') = \sum_{k=1}^M I_{\varphi_k}(x', y')$

Действительно, в соответствии с предыдущими рассуждениями $S(x_0', y_0') \approx I_{\varphi_{k_0}}(x_0', y_0')$, а следовательно,

$$G_{\varphi}(x_0', y_0') \approx \frac{I_{\varphi_{k_0}}(x_0', y_0') \cdot \varphi_{k_0}}{I_{\varphi_{k_0}}(x_0', y_0')} = \varphi_{k_0} \approx \varphi(x_0, y_0) \quad (15)$$

То есть, $G_{\varphi}(x', y') \approx \varphi(x, y)$ и представляет собой поле направлений исходного изображения.

Однако, линейное кодирование имеет определенные недостатки. В этом случае веса для компонент, соответствующих высоким значениям угла значительно больше, чем для компонент с низким значением угла. То есть, происходит смещение всего диапазона в сторону высоких значений угла наклона (см. рис. 3). Поэтому следует применять менее "смещающие" функции $T(\varphi_k)$:

$$S_{\varphi}(x', y') = \sum_{k=1}^M I_{\varphi_k}(x', y') \cdot T(\varphi_k) \quad (16)$$

например, $T(\varphi_k) = \sqrt{\varphi_k}$ (см. рис. 3).

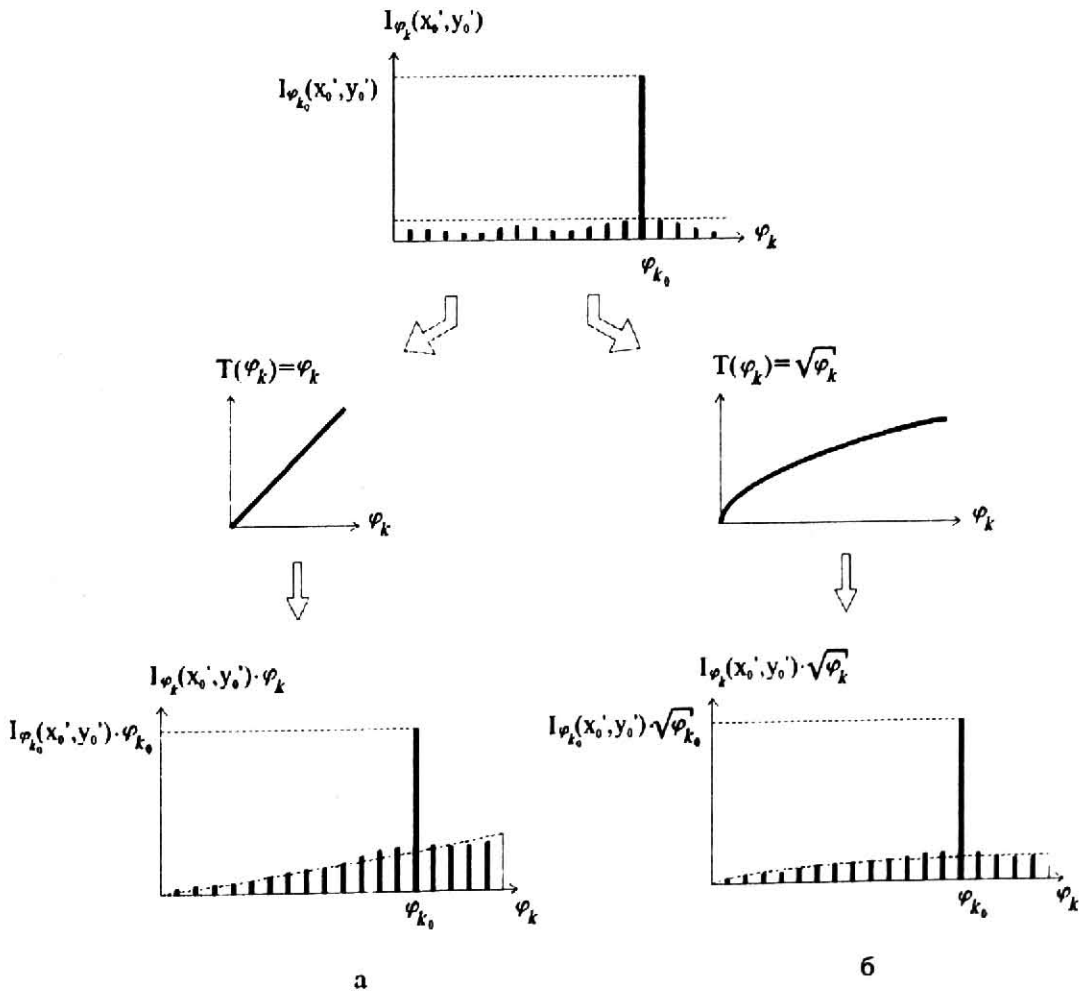


Рис.3. Маркировка углов с помощью амплитудного (а) линейного и (б) нелинейного фильтров.

Более того, в целях повышения эффективности пропускания светового пучка, а также, чтобы избежать описанных выше недостатков, предлагается использовать вместо амплитудной маски чисто фазовую:

$$\tau(\alpha) = \begin{cases} \exp(i\varphi_k), & \varphi_k - \frac{\Delta\varphi}{2} \leq \text{mod}_\pi\left(\alpha + \frac{\pi}{2}\right) + \varphi_k + \frac{\Delta\varphi}{2}, k = \overline{1, M} \\ 0, & \varphi_M + \frac{\Delta\varphi}{2} \leq \text{mod}_\pi\left(\alpha + \frac{\pi}{2}\right) < 2\pi - \frac{\Delta\varphi}{2} \end{cases} \quad (17)$$

В этом случае мы получим фазовое поле направлений $G_\varphi(x', y') \approx \exp[i\varphi(x, y)]$.

2. Оптическая схема построения поля направлений.

На рисунке 4а показана оптико-электронная схема для построения поля направлений.

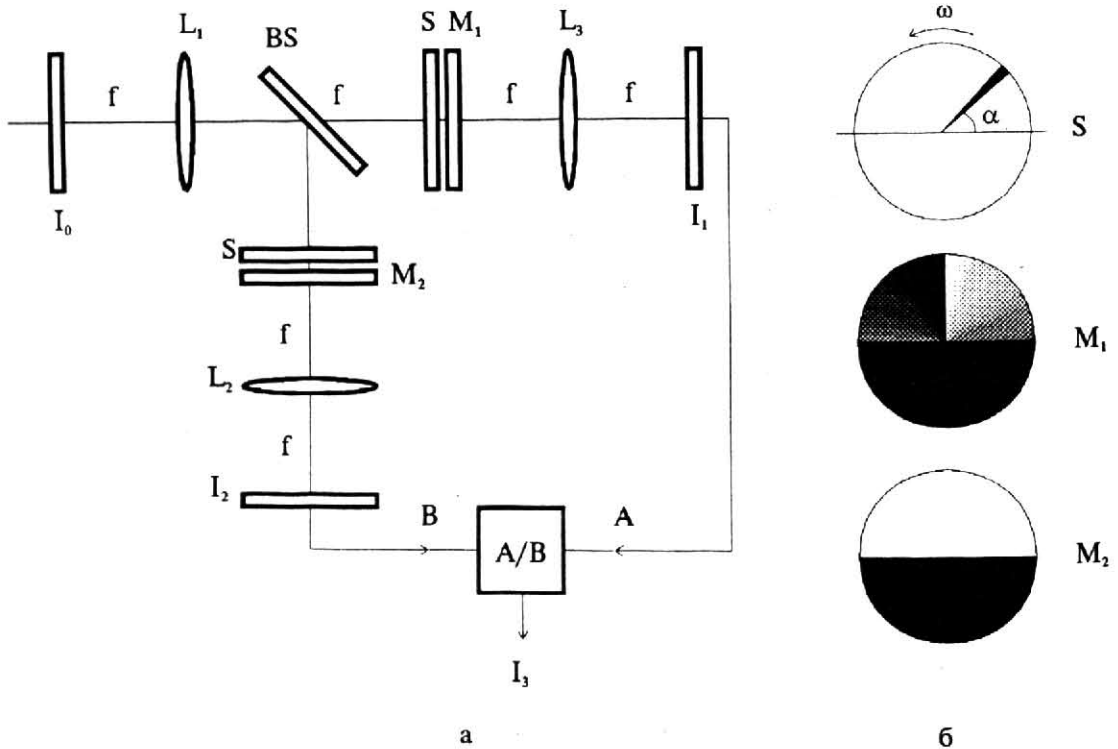


Рис.4. (а) Оптическая схема вычисления поля направлений с помощью вращающейся щели; (б) непрозрачный экран с щелью и фильтры.

Схема состоит из двух Фурье-корреляторов, в частотные плоскости которых помещены вращающиеся непрозрачные экраны с узкими радиальными щелями (рис. 4б). Излучение разделяется на два канала с помощью расщепителя пучка BS . Линза L_1 с фокусным расстоянием f формирует в плоскостях перед экранами с щелью S пространственные спектры исходного изображения $I_0(x, y)$. Комплексная амплитуда света в этой плоскости равна

$$F(\xi, \eta) = \mathfrak{F}\{I_0(x, y)\} \quad (18)$$

где (x,y) и (ξ,η) - декартовы координаты во входной и частотной плоскостях корреляторов, $\mathfrak{F}\{\cdot\}$ - двумерное преобразование Фурье. Сразу за экраном с щелью сформируется световое поле с амплитудой

$$\tilde{F}(\xi, \eta) = F(\xi, \eta) \cdot \delta\left(\alpha - \operatorname{arctg} \frac{\eta}{\xi} + \frac{\pi}{2}\right) \quad (19)$$

где $\delta(x)$ - функция Дирака, $0 < \alpha < 2\pi$ - полярный угол, задающий мгновенное направление щели.

Амплитудные маски M_1 и M_2 (рис. 4б) предназначены для отсеечения половины углов $\pi < \alpha < 2\pi$ и для линейного кодирования выделенных направлений пропорционально углу. Пропускание этих масок имеет соответственно вид:

$$\tau_1(r, \alpha) = \begin{cases} \sqrt{\varphi_k}, & \varphi_k - \frac{\Delta\varphi}{2} \leq \operatorname{mod}_{\pi}\left(\alpha + \frac{\pi}{2}\right) < \varphi_k + \frac{\Delta\varphi}{2}, k = \overline{1, M} \\ 0, & \varphi_M + \frac{\Delta\varphi}{2} \leq \operatorname{mod}_{\pi}\left(\alpha + \frac{\pi}{2}\right) < 2\pi - \frac{\Delta\varphi}{2} \end{cases} \quad (20)$$

$$\tau_2(r, \alpha) = \begin{cases} 1, & 0 \leq \alpha < \pi - \Delta\varphi, 2\pi - \Delta\varphi \leq \alpha < 2\pi \\ 0, & \pi - \Delta\varphi \leq \alpha < 2\pi - \Delta\varphi \end{cases} \quad (21)$$

$$\xi = r \cdot \cos \alpha, \quad \eta = r \cdot \sin \alpha$$

Если на выходе горизонтального Фурье-коррелятора расположено матричное фотоприемное устройство (например, ПЗС-камера), время регистрации которого кратно числу полных оборотов экранов с щелью S , то выходное изображение $I_1(x,y)$ будет описываться распределением интенсивности (14), где $T(\varphi_k) = \sqrt{\varphi_k}$. Аналогично для вертикальной ветви на выходе сформируется изображение $I_2(x,y)$, распределение интенсивности которого описывается выражением (14) с $T(\varphi_k) = 1$.

Оба изображения в виде аналоговых сигналов построчно поступают на делительное устройство (рис.4), которое формирует результирующий сигнал, пропорциональный величине $\varphi(x,y)$.

3. Вычислительные эксперименты с модельными изображениями

Для исследования эффективности предлагаемого оптического метода построения поля направлений был проведен ряд вычислительных экспериментов.

Спектр модельного изображения (см. рис.5а) сканировался сегментами различной ширины. Ширина сегментов $\Delta\varphi$, от которой зависит и их количество $M = \pi/\Delta\varphi$, должна быть такой, чтобы захватывать главную часть спектров, соответствующих определенному направлению, и в то же время не включать спектры других направлений.

Из рис. 5а и 5б видно, что сегмент 2 захватил "хвосты" Sinc-функций из сегментов 1 и 3, в следствии чего появились небольшие всплески интенсивности в соответствующих областях в выходной плоскости. В рассмотренном примере влияние излишней ($M=8$), как и недостаточной сегментации ($M=2$), хорошо видно из рис. 5в.

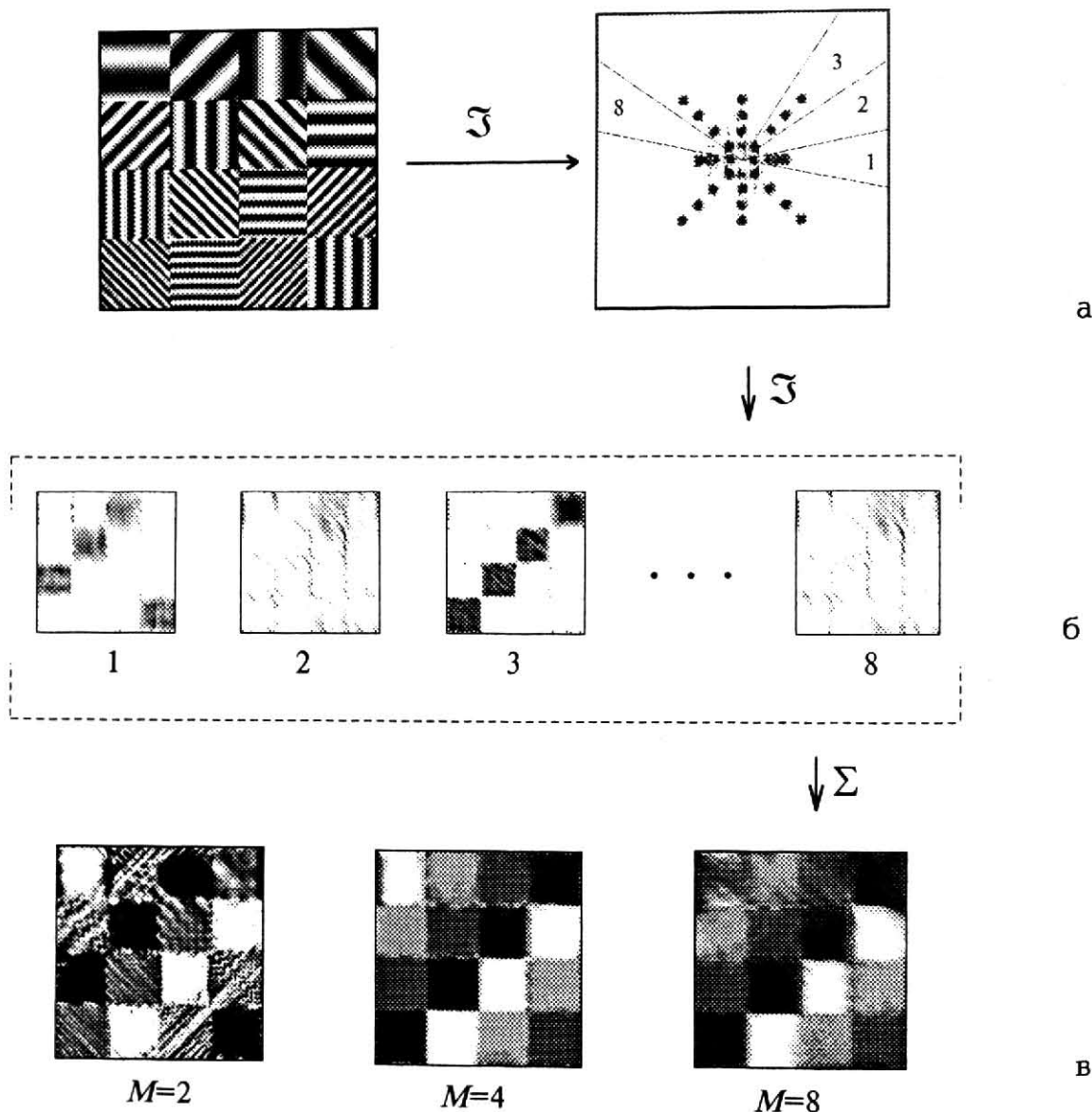


Рис.5 Компьютерное моделирование оптического метода: (а) модельное изображение и его спектр, (б) селекция направлений при $M=8$ сегментах, (в) поля направлений, построенные при $M=2,4,8$ сегментах, соответственно.

Результаты, полученные с помощью оптического метода сравнивались с результатами, полученными цифровым дисперсионным методом. На Рис.6а представлены модельные изображения типа интерферограмм, на Рис.6б — их поля направлений, полученные дисперсионным методом и затем отфильтрованные особым способом [3] (Рис.6в) с целью увеличения числа градаций, а на Рис.6г — поля направлений, полученные с помощью оптического метода.

Дисперсионный метод хорошо работает только при малом количестве направлений на изображении, так как отслеживает только четыре угла. Однако, сложных изображениях присутствует, как правило, большое количество направлений, и в этом случае, как видно из рис.6 значительное число градаций в дисперсионном поле направлений “съедается”, восстановить которые не помогает даже специальная фильтрация.

В то же время оптический метод дает достаточно хорошие результаты как при малом, так и большом количестве направлений, хотя разграничение углов не такое четкое, как в дисперсионных полях направлений, что объясняется перекрытием спектров от разных направлений.

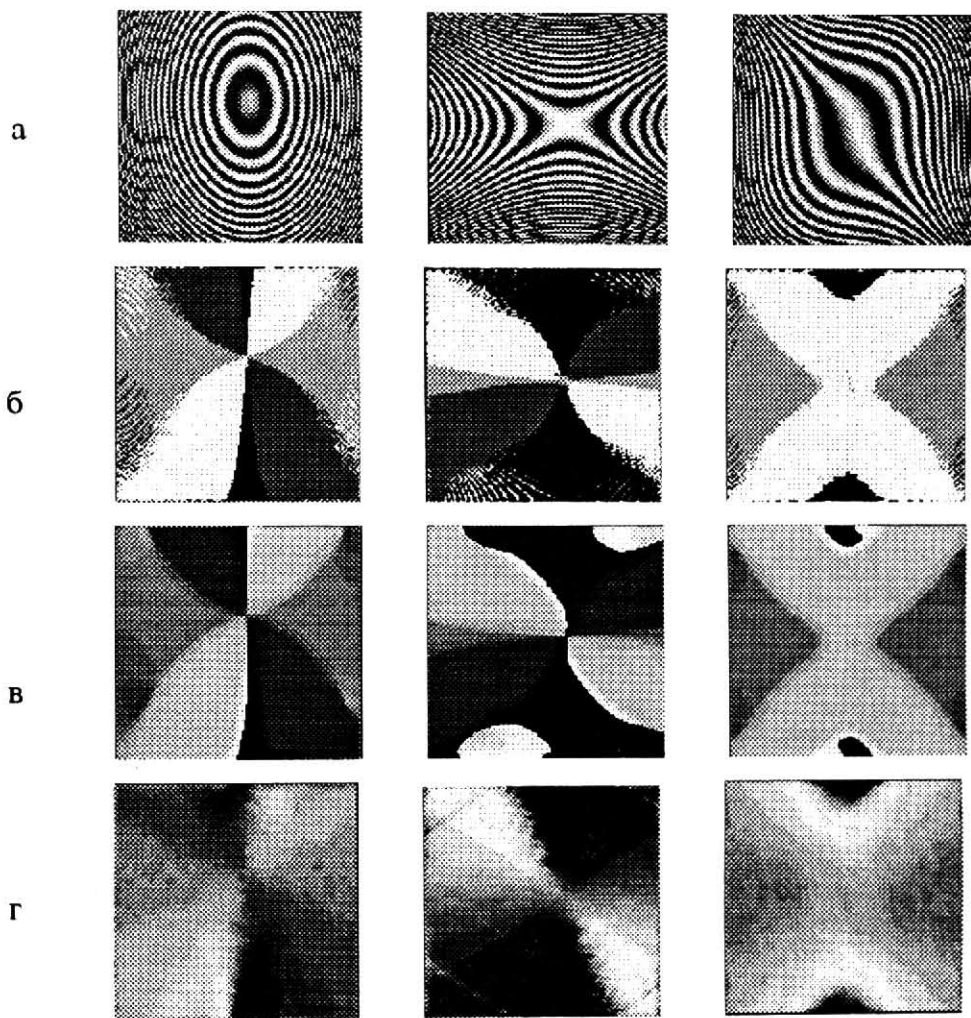


Рис.6 (а) Интерферограммы и их поля направлений, построенные различными методами: (б) цифровым дисперсионным, (в) цифровым дисперсионным с фильтрацией и (г) оптическим.

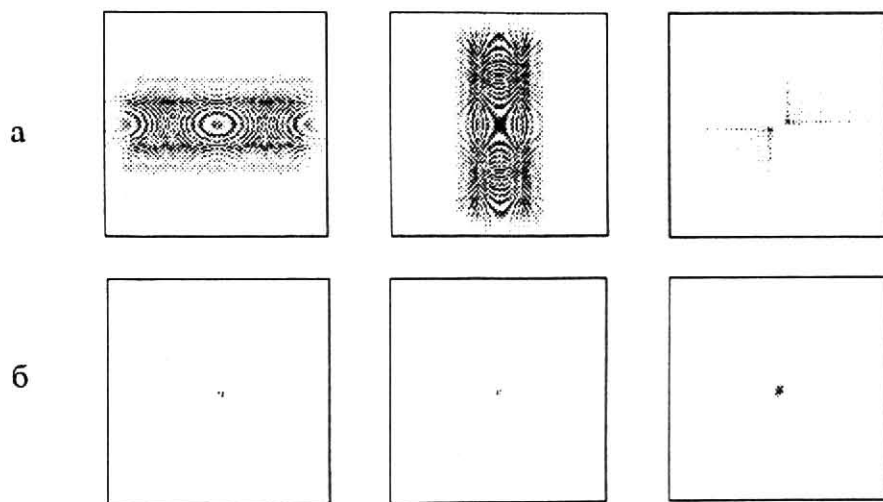


Рис.7 Пространственные спектры для соответствующих (а) интерферограмм и (б) оптических полей направлений.

При структурировании контурного изображения происходит уменьшение ширины пространственного спектра, что хорошо видно из рис.7. На рис.7а представлены Фурье-спектры для интерферограмм (рис.6а), а на рис.7б представлены Фурье-спектры для их полей направлений, построенных оптическим методом (рис.6г).

4. Вычислительные эксперименты с натурными изображениями.

Для проведения вычислительных экспериментов с натурными изображениями с дактилоскопических карт в ЭВМ с помощью сканера вводились отпечатки пальцев.

4.1. Расчет параметров оптической схемы.

На рис.8 представлено дактилоскопическое изображение (рис.8а), его Фурье-спектр (рис.8б) и поле направлений, построенное оптическим методом (рис.8в).

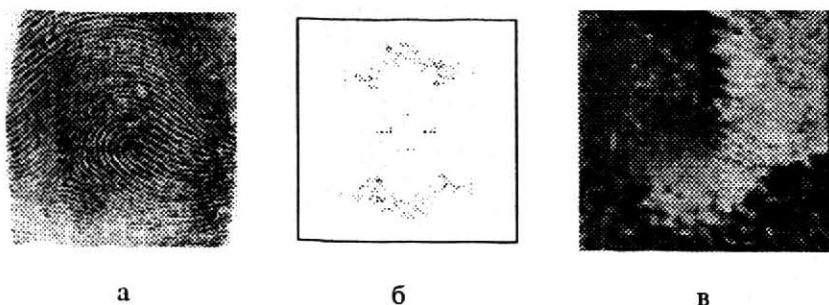


Рис.8 (а) Дактилоскопическое изображение, (б) его пространственный спектр и (в) оптическое поле направлений.

Считая, что отпечаток пальца имеет размер $S=15 \div 20$ мм, а толщина папиллярных линий $p=0.5$ мм, определим конкретные параметры описанной во втором разделе оптической схемы. Ширину спекла в частотной плоскости можно считать по формуле

$$\Delta = \frac{\lambda f}{R}, \quad (22)$$

где λ - длина волны источника (для лазера с красным светом $\lambda=0.63$ мкм), f - фокусное расстояние, R - радиус изображения (для отпечатка пальца $R = 10$ мм).

Интересующая нас часть спектра будет находиться на расстоянии $x = \Delta \cdot L$ от центра, где $L = S/p$ - число папиллярных линий на отпечатке пальца. Для $f=100$ мм - $x=0.2$ мм, при этом для удобства вращения экран с щелью, установленный в частотной плоскости, может значительно превышать этот размер, необходимо лишь, чтобы щель была прорезана достаточно глубоко и захватывала нужную часть спектра.

4.2. Вычислительный эксперимент по распознаванию.

Для выработки практических рекомендаций по решению задачи персональной идентификации с помощью дактилоскопических изображений было отобрано 10 близких по узору отпечатков пальцев, несколько реализаций которых составляли класс.

Распознаванию подвергались как сами дактилоскопические изображения (рис.9а), так и их поля направлений, построенные цифровым дисперсионным методом (рис.9б) и отфильтрованные (рис.9в), а также построенные оптическим методом (рис.9г).

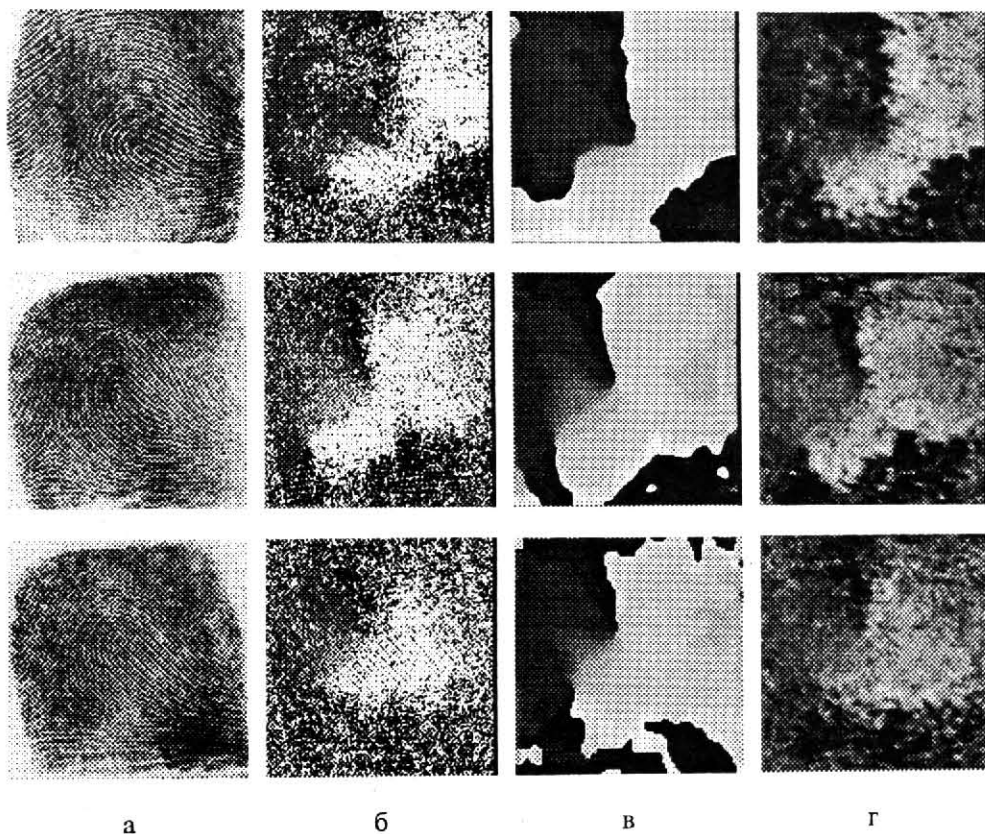


Рис.9 (а) Дактилоскопические изображения и их поля направлений, построенные методами: (б) цифровым дисперсионным, (в) цифровым дисперсионным с фильтрацией и (г) оптическим.

При использовании разложения Карунена-Лозва [4,5] были получены следующие результаты. Сами дактилоскопические изображения не поддавались распознаванию (имела место 70% ошибка при обработке даже $L=100$ коэффициентов разложения), что не только оправдывает, но и делает необходимым применение структурных методов при анализе таких сложных изображений.

Поля направлений, полученные дисперсионным методом, полностью распознавались при $L \geq 34$ коэффициентах, в то время как отфильтрованные поля направлений при том же количестве коэффициентов давали ошибку 20%. Такую ситуацию можно объяснить слишком сильным сглаживанием при фильтрации, "съедающим" некоторые мелкие, но существенные детали.

Для уверенного же распознавания полей направлений, построенных с помощью моделирования оптического метода, понадобилось $L \geq 12$ коэффициентов, что почти в три раза меньше, чем при использовании дисперсионного метода. Из рис.9 видно, что оптический метод по сравнению с дисперсионным дает более сглаженные поля направлений (следовательно, нет необходимости в фильтрации), и в то же время сохранившие все важные детали.

Таким образом, структурирование контурных изображений позволяет уменьшить количество признаков, адекватно описывающих изображение, что можно проследить также по уменьшению отклонения

$$\delta = \|w(\mathbf{x}) - \hat{w}(\mathbf{x})\| \quad (23)$$

между исходным изображением $w(\mathbf{x})$ и восстановленным по фиксированному количеству K коэффициентов разложения Фурье:

$$\hat{w}(\mathbf{x}) = \sum_{k=1}^K w_k f_k(\mathbf{x}). \quad (24)$$

На рисунке 10 в верхнем ряду показаны исходные изображения $w(x)$ рассматриваемых типов, а в нижнем - восстановленные по $K=4000$ коэффициентам Фурье $\hat{w}(x)$. Отклонение δ (23) составило для дактилоскопического изображения (рис.10а) - $\delta=0.32$, дисперсионного поля направлений (рис.10б) - $\delta=0.25$, отфильтрованного дисперсионного поля направлений (рис.10в) $\delta=0.15$ и оптического поля направлений (рис.10г) - $\delta=0.11$.

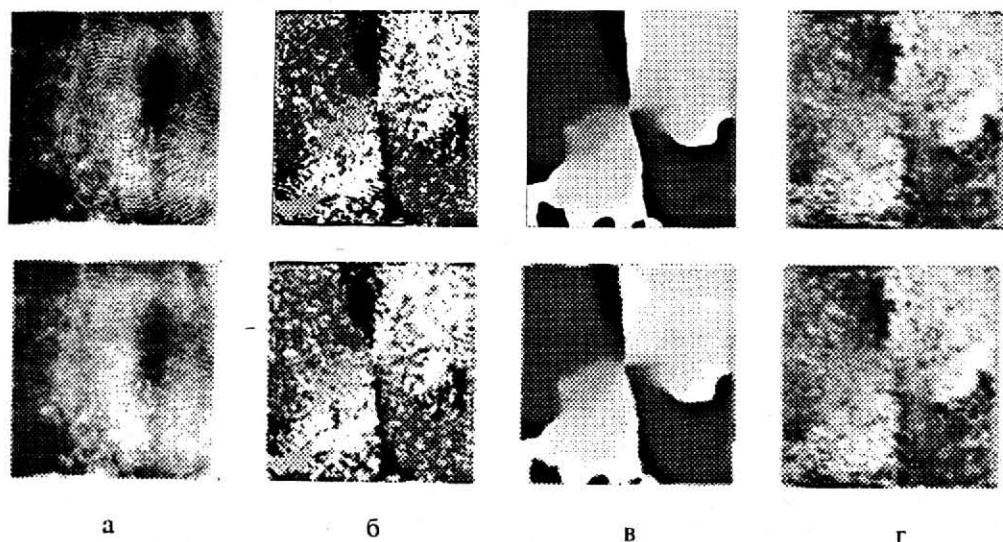


Рис.10 (а) исходные изображения и (б) восстановленные по 4000 коэффициентам разложения Фурье.

Таким образом, применение оптического метода позволяет наиболее сильно сократить число анализируемых признаков повысить эффективность обработки изображений.

Заключение

Переход от контурных изображений к полям направлений позволяет провести структурирование такого изображения, выделив тем самым наиболее важную информацию и резко сократив количество признаков адекватно описывающих изображение, что в конечном счете, упрощает процедуру анализа сложных контурных изображений.

Экспериментальное исследование разработанного оптического метода построения полей направлений подтвердило работоспособность предлагаемого метода. Таким образом, можно говорить о существовании оптического метода структурирования контурных изображений типа интерферограмм и дактилограмм, представляющего особую актуальность во многих задачах оптической обработки изображений.

Результаты вычислительного эксперимента по распознаванию дактилоскопических изображений показали необходимость применения структурных методов при анализе таких сложных изображений, а также эффективность разработанного оптического метода по сравнению с цифровым дисперсионным методом.

Л и т е р а т у р а.

1. *Soifer V.A., Khonina S.N., Ilyasova N.Yu., and Kotlayr V.V.* Structural methods in pattern recognition using optical Karhunen-Loeve Expansion. // Proceedings of SSPR'94, 1994.
2. *Khonina S.N., Soifer V.A. and Dvoryanova T.P.* A method for detecting disturbances in microcrystal structure of tear specimen // Proceedings of DIP'94, 1994.
3. *Н.Ю. Ильясова, А.В. Устинов, А.Г. Храмов.* Методы анализа дактилоскопических изображений на основе поля направлений. // Научное приборостроение, 1993, т.3, No.1.

4. V.A. Soifer, M.A. Golub and S.N. Khonina, Decorrelated Features of Images Extracted with the Aid of Optical Karhunen-Loeve Expansion // Pattern Recognition and Image Analysis, 1993, vol.3, No.3, pp.289-295.
5. V.A. Soifer and S.N. Khonina, Stability of the Karhunen-Loeve Expansion in the Problem of Pattern Recognition // Pattern Recognition and Image Analysis, 1994, vol.4, No.2, pp.137-148.

СПРАВОЧНИК

"Высшие учебные заведения Москвы и Московской области"

Международный центр научной и технической информации (МЦНТИ) выпустил уникальный справочник по вузам Москвы и Московской области на русском и английском языках. Справочник содержит сведения о 88 государственных и 50 негосударственных вузах, имеющих лицензии на право образовательной деятельности в сфере высшего образования. Объем справочника - 139 стр.

Справочник состоит из двух частей:

1 часть - англо-русский справочник;

2 часть - русско-английский справочник.

Каждая часть состоит из пяти разделов: государственные высшие учебные заведения; негосударственные высшие учебные заведения; указатель специальностей; алфавитный указатель высших учебных заведений; таблица соответствия старых и новых наименований государственных высших учебных заведений.

Информация о высших учебных заведениях включает: полное наименование вузов, имена ректоров, сведения о количестве преподавательского состава, перечень специальностей, почтовый адрес, телефоны, факс, телекс.

По негосударственным учебным заведениям приводится информация о продолжительности обучения и другие сведения.

Указатель специальностей представляет собой двухуровневый рубрикатор специальностей, в котором для каждой специальности содержится список всех высших учебных заведений Москвы и Московской области, готовящих по ней специалистов.

Алфавитный указатель учебных заведений имеет ссылку на страницу, где находится полная информация об учебном заведении.

Раздел "Таблица соответствия старых и новых наименований государственных учебных заведений" позволяет ориентироваться в справочнике, если известно только старое наименование вуза.

Стоимость справочника 6 долларов США за 1 экземпляр или рублевый эквивалент по курсу ЦБ РФ на момент оплаты справочника.

Банковские реквизиты МЦНТИ:

при расчетах по Москве и Московской области:

МЦНТИ, р/с 900603538 в АКБ "Кредит-Москва",
МФО 997191, код участника 7М;

при иногородних платежах:

МЦНТИ, р/с 900603538 в АКБ "Кредит-Москва",
корр. счет 501161700 в ГРКЦ ГУ ЦБ РФ
по г. Москве, МФО 201791, код участника 83.

Адрес: 125252, Москва, ул. Куусинена, 216, МЦНТИ, СОПИ

Тел.: (095) 198-73-41, 198-72-10

Факс (095) 943-00-89