

## ОПТИЧЕСКОЕ ВЫПОЛНЕНИЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ХОУ-РАДОНА

В.А. Сойфер, В.В. Котляр, Р.В. Скиданов  
Институт систем обработки изображений РАН

Известно оптико-цифровое устройство для выполнения преобразования Хоу-Радона (HRT) [1]. Оно основано на реализации свойства преобразования HRT переводить неосевую точку в сдвинутую синусоиду. Это устройство содержит матрицу NxN микро-голограмм, каждая из которых формирует при освещении плоским пучком участок кривой равной одному периоду синусоиды, сдвинутой от центра координат пропорционально смещению микро-голограммы от центра матрицы. В результате, если осветить такую матрицу отрезком прямой, то на выходе сформируется яркая точка как результат пересечения многих синусоид.

Недостатком такой реализации HRT является трудоемкость изготовления матрицы NxN голограмм, каждая из которых имеет размерность MxM и рассчитывается за число итераций L. Поэтому, чтобы рассчитать всю матрицу нужно выполнить LN\*N итераций, каждая из которых включает выполнение двух преобразований Фурье размерности MxM.

В [2] рассматривается оптическая реализация преобразования Хоу-Радона, основанная на свойстве этого преобразования переводить прямую линию на входе в изолированную точку на выходе. Такое преобразование в [2] осуществляется с помощью N пар скрещенных цилиндрических линз.

Одна линза из пары формирует изображение линии в поперечном направлении, а вторая линза - формирует пространственный спектр в продольном направлении линии (собирает линию в точку). Набор из N пар нужен, чтобы осуществить фокусировку прямых линий с разной ориентацией во входной плоскости. Недостатком этого способа является то, что каждая прямая линия будет переводиться в точку с некоторой эффективностью и другими (N-1) парами линз. Это приводит к уменьшению отношения сигнал/шум всего устройства. Кроме того, изготовление фазового дифракционного элемента, являющегося суперпозицией функций пропускания N цилиндрических линз, является сложной расчетной и технологической задачей.

В данной работе предлагается новый способ оптического выполнения преобразования Хоу-Радона, в котором используется более простой фазовый оптический элемент. Он основан на свойстве преобразования переводить прямую линию в точку (рис.1). В нашем случае устройство содержит коррелятор с одним входом и с N выходами, в задней фокальной плоскости сферической линзы которого расположен фазовый пространственный фильтр, состоящий из N угловых секторов с углом при вершине каждого равным  $\Delta\varphi=2\pi/N$ .

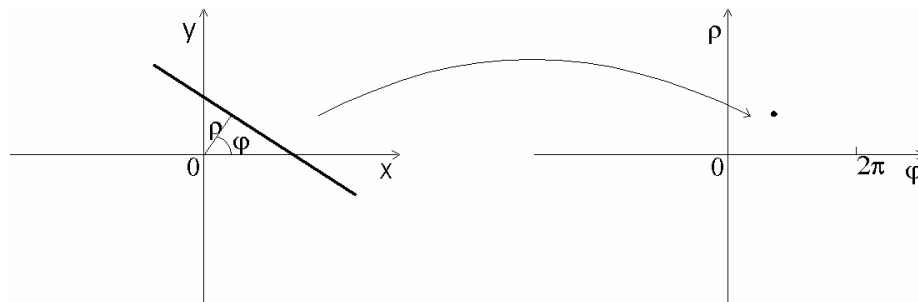


Рис.1

Каждый такой угловой сектор имеет функцию пропускания цилиндрической линзы:

$$\tau(x, y) = \exp\left[-\frac{ik}{2f}(x \cos \varphi_n - y \sin \varphi_n - p_n)^2\right], \quad (1)$$

где

$$(x, y) \in \left\{ \varphi_n - \frac{\Delta\varphi}{2} < \arctg\left(\frac{y}{x}\right) \leq \varphi_n + \frac{\Delta\varphi}{2} \right\},$$

$$\varphi_n \geq n\Delta\varphi, n = 0, 1, \dots, N - 1.$$

На фокусном расстоянии f от фильтра расположен фотоприемник, регистрирующий излучение только вдоль лучей, исходящих из центра под соответствующими углами. Оптическая схема устройства показана на рис. 2, на котором изображены лазер 1, коллиматор 2, слайд-объект 3, сферическая линза

4, секторный пространственный фильтр с цилиндрическими линзами 5, фотоприемное устройство 6 и компьютер 7.

Работа устройства основана на реализации интегральной формы, связывающей преобразования Хоу-Радона и Фурье. Преобразование Хоу-Радона от функции f(x,y) имеет вид:

$$R(\rho, \varphi) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) \times \delta(\rho - x \cos \varphi - y \sin \varphi) dx dy, \quad (2)$$

где  $\delta$  - дельта функция Дирака,  $\rho$  - величина перпендикуляра, проведенного из центра координат к текущей прямой линии,  $\varphi$  - угол между перпендикуляром к текущей прямой линии и осью OX (см. рис.1). Нетрудно показать, что имеет место уравнение связи между двумя интегральными преобразованиями:

$$R(\rho, \phi) = \int_0^{\infty} F(t, \phi) e^{2\pi i \rho t} dt, \quad (3)$$

где

$$F(t, \phi) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) \times \exp[-2\pi i(xt \cos \phi + yt \sin \phi)] dx dy \quad (4)$$

Из уравнений (3) и (4) видно, что НРТ является результатом выполнения одномерного преобразования Фурье по радиальной координате от двумерного Фурье-образа исходной функции.

Устройство, показанное на рис.2, реализует уравнения (3) и (4) приближенно с дискретностью по координате  $\phi$  равной  $\Delta\phi=2\pi/N$ , и по координате  $\rho$  с дискретностью  $\Delta\rho$  равной разрешению фотоприемника.

На рис.3 показан пример численного моделирования работы оптической схемы, показанной на рис.2. Тест-объект (рис.3а) состоит из набора прямых отрезков, расположенных под углами 0 и  $\pi/2$  к осям координат.

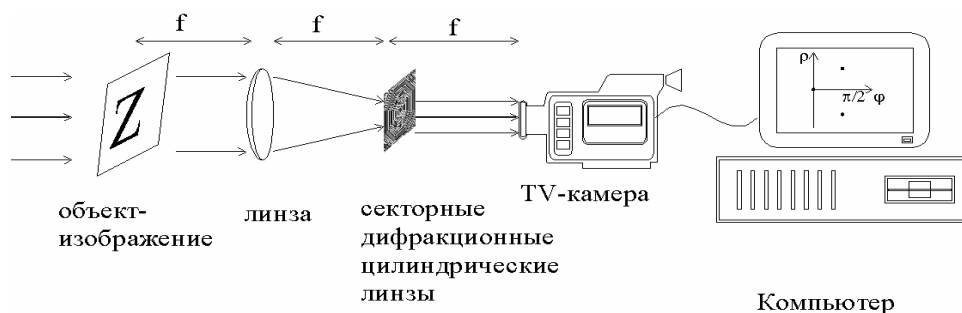


Рис.2.

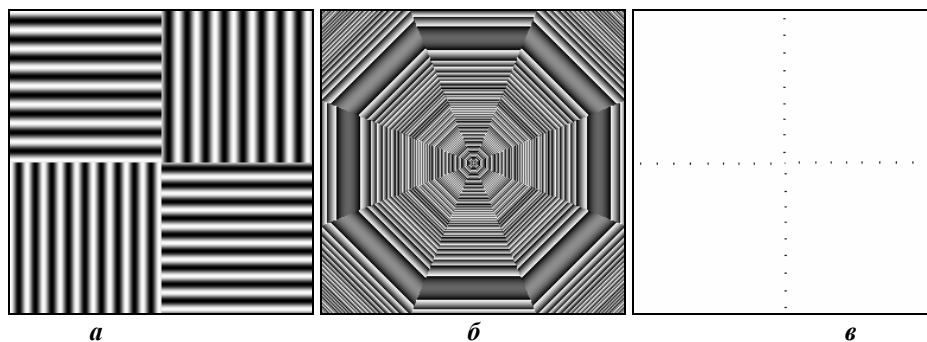


Рис.3.

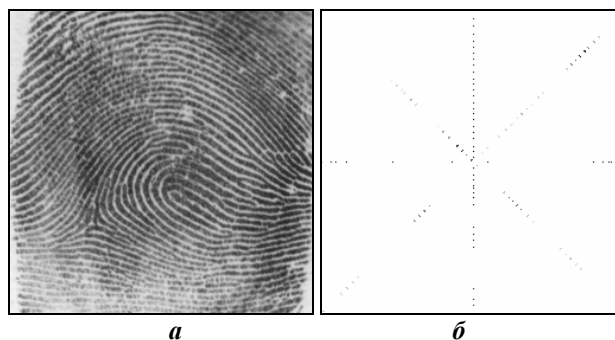


Рис.4.

Амплитудная маска размерностью 512x512 пространственного фильтра, который состоит из 16 цилиндрических линз, расположенных в угловых секторах, показана на рис.3б. На рис.3в показан результат, появляющийся на выходе Хоу-Радон-процессора: набор светлых пятен, расположенных на осях ОХ и ОУ, число которых совпадает с числом отрезков прямых на входном изображении. Размерность данного преобразования равна:  $(\phi, \rho) = (256, 16)$ .

На рис.4 показаны изображение отпечатка пальца (а) и его Хоу-Радон-образ (б), полученный с помощью моделирования того же устройства.

### Литература

1. P.Ambs, S.H.Lee, Q.Tian, Y.Fainman "Optical implementation of the Hough transform by a matrix of holograms", Appl. Opt., 25 (22) 4039-4045 (1986).
2. P.Woodford, D.Casasent "High accuracy and fast new format optical Hough-transform", Opt. Mem. and Neur. Net., 1, 1-16 (1997).