

ОПТИЧЕСКОЕ ВЫЧИСЛЕНИЕ ФУНКЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВИГНЕРА

Г.Г. Воеводкин, Е.М. Дианов, А.А. Кузнецов, С.М. Нефедов

Предложен и экспериментально реализован полихроматический процессор, позволяющий осуществлять параллельное вычисление функции распределения Вигнера строки изображения для осуществления его текстурного анализа, распознавания и других операций обработки.

Функция распределения Вигнера (ФРВ) [1] получила широкое распространение в оптике [2-5]. Она используется в текстурном анализе сигналов, в моделировании человеческого бинокулярного зрения и распознавания образов в инвариантных к вращению и изменению масштаба системах распознавания изображений и их оптимизации, а также в распознавании chirпоподобных сигналов в присутствии шума.

Для функции $f(x)$, фурье-преобразование которой есть $F(u) = \int f(x) \exp(-2\pi iux) dx$, ФРВ можно определить как

$$W(x, u) = \int f(x + x'/2) f^*(x - x'/2) \exp(-2\pi iux') dx', \quad (1)$$

$$W(x, u) = \int F(u + u'/2) F^*(u - u'/2) \exp(-2\pi iu'x) du'. \quad (2)$$

В работах [3, 4] показано, что из ФРВ путем интегрирования по области $\delta x \delta u$ можно получить так называемый "локальный спектр", который описывает частотное содержимое сигнала $f(x)$ в зависимости от параметра x :

$$\tilde{W}(x, u, \delta x) = \int W(x', u') G(x - x', \delta x) G(u - u', \delta u) dx' du', \quad (3)$$

где $G(x, \delta x) = (1/\sqrt{\delta x}) \exp[-2\pi(x/\delta x)^2]$ — гауссова функция. Полагая $\delta x \delta u = 1$ и подставляя (1) и (2) в (3), получаем

$$\tilde{W}(x, u, \delta x) = \left| \int f(x') G(x - x', \sqrt{2}\delta x) \exp(-2\pi iux') dx' \right|^2, \quad (4)$$

$$\tilde{W}(x, u, \delta x) = \left| \int F(u') G(u - u', \sqrt{2}/\delta x) \exp(2\pi iu'x) du' \right|^2. \quad (5)$$

Для осуществления параллельного оптического вычисления локального спектра анализируемый сигнал $f(x)$ представлялся в виде двумерного транспаранта, пропускание которого $T(x, y) = f(x)$. Затем транспарант совмещался со щелью, повернутой к осям под углом 45° . Пропускание сформированного таким образом транспаранта описывается функцией $f(x) G(x - y, \sqrt{2}\delta x)$. Если осуществить с помощью анаморфотной оптической системы, состоящей из сферической и цилиндрической линз, фурье-преобразование по оси x и проецирование по оси y , то в выходной плоскости получаем локальный спектр (4) сигнала $f(x)$. Такой процессор успешно использовался для анализа акустических сигналов [3]. Использование этой методики для анализа изображений затруднено из-за необходимости изготовления специального транспаранта.

Предлагаемый здесь процессор не имеет этого недостатка и способен параллельно вычислять локальный спектр строки изображения. Его оптическая схема показана на рис. 1. Излучение точечного полихроматического источника 1 коллимируется линзой 2 и разлагается в спектр дифракционной решеткой 3, непосредственно перед которой расположен экран с гауссовой щелью, параллельной штрихам решетки. Дифрагировавшее в первый порядок излучение фокусируется цилиндрической линзой 4 на параллельной направлению дисперсии решетки строке транспаранта 5 с анализируемым изображением. Поскольку на рас-

стояниях меньших $\pi(\delta x)^2/\lambda$ гауссовы пучки остаются практически параллельными, распределение интенсивности излучения на любой длине волны из спектрального диапазона полихроматического источника 1 вдоль строки изображения описывается функцией $G(x - x', \sqrt{2}\delta x)$, где x — расстояние, на которое отклоняется излучение с длиной волны λ от оси системы. Прошедшее через транспарант излучение коллимируется цилиндрической линзой 6 и разлагается в спектр дифракционной решеткой 7 в направлении, перпендикулярном дисперсии первой решетки. Дифракционная решетка расположена таким образом, чтобы дифрагировавшее на ней излучение распространялось в плоскости оптической схемы, для удобства монтажа системы на оптическом столе. Пространственное распределение интенсивности в выходной плоскости 9 формируется с помощью сферической линзы 8, расположенной на фокусном расстоянии от нее. То есть оптическая схема осуществляет преобразование Фурье по оси x' и проецирование по ортогональному направлению. Тогда с учетом одинаковой дисперсии двух решеток 3 и 7 угол между осью пространственных частот u и осью пространственной координаты x будет составлять 45° . В этой координатной плоскости осуществляется отображение функции $\hat{W}(x, u, \delta x)$ в соответствии с формулой (4).

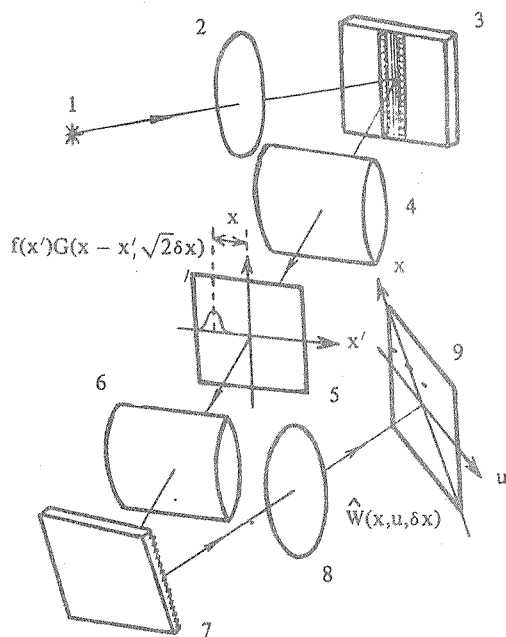


Рис. 1. Оптическая схема полихроматического процессора: 1 — полихроматический источник света, 2, 8 — сферические линзы, 3, 7 — дифракционные решетки, 4, 6 — цилиндрические линзы, 5 — транспарант с анализируемым изображением, 9 — выходная плоскость процессора.

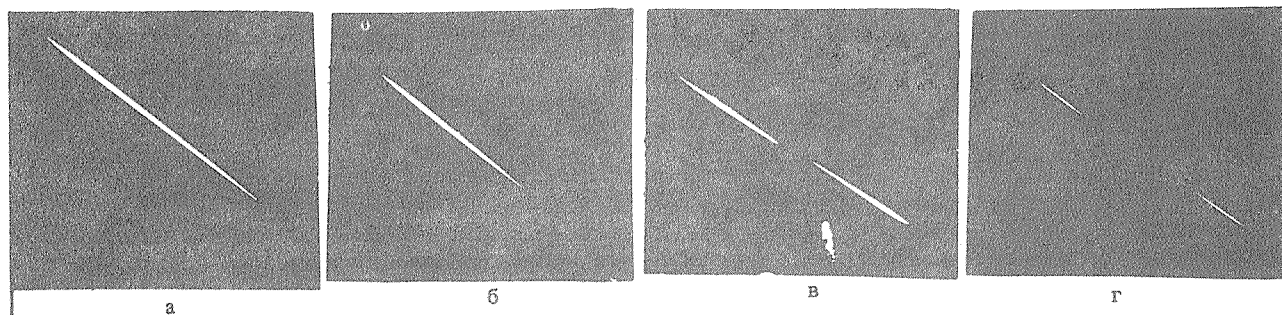


Рис. 2. Результаты вычисления ФРВ для различных строк изображения.

В схеме использовались: в качестве полихроматического источника 1 лампа накаливания КГМ-75, коллимирующая линза 2 с фокусным расстоянием 350 мм, дифракционные решетки 3 и 7 с 600 штр/мм, цилиндрические линзы 4 и 6 с фокусными расстояниями 125 мм, в качестве линзы 8 — объектив "Гранит-11" с фокусным расстоянием 200 мм.

Если транспарант 5 с изображением отсутствует, то в выходной плоскости формируется спектр излучения полихроматического источника света 1 в виде отрезка, ориентированного под углом 45° к направлениям дисперсии решеток 3 и 7 (рис. 2а). Если анализируемая строка изображения представляет собой регулярно чередующиеся темные и светлые участки, то есть содержит на всем своем протяжении одну пространственную частоту, то получаем картину рис. 2б. Если строка состоит из трех участков с различным содержанием пространственных частот, то можно наблюдать картину рис. 2в, которая позволяет определить расположение этих участков. Ширина щели δx определяет разрешение по пространственной координате x и для рис. 2в составляет ~ 5 мм. При уменьшении δx улучшается разрешение по x (ср. рис. 2в и рис. 2г с шириной щели ~ 2 мм). Но поскольку $\delta x \delta u \approx 1$, это приводит к соответствующему уменьшению разрешения по координате пространственной частоты u . Уменьшив δx до минимального разрешаемого на изображении размера получим $\tilde{W}(x, u, \delta x) = |f(x)|^2$, а увеличив x до размеров анализируемого изображения получим $\tilde{W}(x, u, \delta x) = |F(u)|^2$.

При регистрации на цветную фотопленку получаемые распределения имеют вид цветных спектров (полос). Фактически пространственное перемещение щели по x (при монохроматическом получении распределения Вигнера) заменено нами размножением щели со смещением на различных длинах волн, то есть пространственная координата заменена спектральной.

Предложенная полихроматическая схема позволяет осуществлять параллельное вычисление ФРВ строки изображения. Это позволяет надеяться, что наряду с другими преобразованиями, реализуемыми на основе полихроматизма [6, 7], данная схема окажется полезной в оптической обработке информации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Wigner E. Phys. Rev., 40, 749 (1932).
2. Bastiaans M. J. Opt. Comm., 25, 26 (1978).
3. Bartelt H. O., Brenner K. -H., Lohmann A. W. Opt. Comm., 32, 32 (1980).
4. Eichmann G., Dong B. Z. Appl. Opt., 21, 3152 (1982).
5. Iwai T., Gupta A. K., Asakura T. Opt. Comm., 58, 15 (1986).
6. Воеводкин Г. Г., Кузнецов А. А. Препринт ИОФАН № 39, М., 1988.
7. Воеводкин Г. Г. и др. Радиотехника, № 8, 38 (1988).

Поступила в редакцию 27 декабря 1988 г.