

# 图像移动与转动的多目标识别处理器<sup>\*</sup>

陈岩松

(中国科学院物理研究所, 北京, 100080)

**摘要:** 叙述了图像的不变矩特征量特有的三个性质, 即当图像移动、转动与大小比例改变时保持其数值不变, 提出用光电混合计算处理器提取图像的不变矩特征量, 该处理器由全息掩膜、傅氏透镜、CCD探测器和微机组成. 实验结果表明, 6个印刷英文字母的不变矩特征量的确具有移动与转动的不变性, 因而该处理器可以用于图像移动与转动的模式识别.

**关键词:** 不变矩, 模式识别, 光电混合处理器.

## 引言

在模式识别领域中, 基于对图形图像快速识别的需要, 用光学方法和光电混合方法处理图像的研究一直十分活跃<sup>[1~5]</sup>, 图像的光学相关与光学特征提取是其中两个主要的研究方向. 前者对于设定的图像目标可以给出很好的识别信噪比, 但通用性与适应性差; 后者是通过某种数学变换操作提取图像目标的特征, 一般来说适应性好, 但往往不能提供足够的识别信噪比. 因此, 如何快速地识别经过移动、转动与大小比例改变后的各种图像目标, 多年来始终是图形图像识别领域中需要深入研究解决的课题.

近年来, 提取图像矩特征<sup>[6~10]</sup>的研究颇受重视, 这是因为图像的矩特征在理论上对图像移动、转动与大小比例改变具有保持其数值不变的特性, 从而它是模式识别的一个比较理想的手段. 但在实验上, 从发表的结果来看还都不能很好地体现矩特征所固有的性质.

本文提出由全息膜片、傅氏透镜、CCD器件与微机共同设计组成光电混合数值计算系统, 并用此系统实时地计算提取二维图像的矩特征量, 获得的实验结果确实体现了不变矩特征量对移动与转动保持不变的固有性质.

## 1 图像的矩特征

设输入图像的光波透过函数为 $f(x, y)$ . 经过光学系统可以完成下式变换操作:

本文1991年8月17日收到, 修改稿1992年6月25日收到.

<sup>\*</sup>国家高技术基金资助项目.

$$m_{pq} = \iint x^p y^q f(x, y) dx dy. \quad (1)$$

式(1)称为几何矩变换表达式, 式中  $p$  与  $q$  的取值均为整数  $0, 1, 2, \dots, m_{pq}$  称为第  $p+q$  级几何矩. 这些不同级别的几何矩在图像质心坐标中被表示为

$$\mu_{pq} = \iint x^p y^q f\left(x + \frac{m_{10}}{m_{00}}, y + \frac{m_{01}}{m_{00}}\right) dx dy. \quad (2)$$

根据 Hu 氏理论<sup>[11,12]</sup>, 从式(2)所示的质心几何矩可以组合成 7 个特征量, 当图像  $f(x, y)$  移动、转动与大小比例改变时保持数值不变, 因而它们被称作为不变矩特征量, 因此, 根据提取的图像不变矩特征量, 即可实现移动、转动与大小比例可改变的图像识别. 本工作中仅考虑了前 4 个不变矩特征量, 即

$$\begin{cases} \varphi_1 = \mu_{20} + \mu_{02}, \\ \varphi_2 = (\mu_{20} + \mu_{02})^2 + 4\mu_{11}^2, \\ \varphi_3 = (\mu_{30} - 3\mu_{12})^2 + (3\mu_{21} - \mu_{03})^2, \\ \varphi_4 = (\mu_{30} + \mu_{12})^2 + (\mu_{21} + \mu_{03})^2. \end{cases} \quad (3)$$

下面仅以不变矩  $\varphi_1$  为例来证明它对图像平移、转动与大小比例改变保持其数值不变的性质.

设图像  $f(x, y)$  在  $x$  与  $y$  方向上的平移量分别为  $a$  与  $b$ , 根据式(1), 其几何矩为

$$\begin{aligned} m'_{pq} &= \iint x^p y^q f(x+a, y+b) dx dy \\ &= \iint (x-a)^p (y-b)^q f(x, y) dx dy. \end{aligned} \quad (4)$$

通过式(4)我们不难求得图像移动前后各级几何矩之间的关系式为

$$\begin{cases} m'_{00} = m_{00}, \\ m'_{10} = m_{10} - am_{00}, \\ m'_{01} = m_{01} - bm_{00}, \\ m'_{20} = m_{20} - 2am_{10} + a^2m_{00}, \\ m'_{02} = m_{02} - 2bm_{01} + b^2m_{00}. \end{cases} \quad (5)$$

将式(5)代入式(2)和(3), 经过整理后得到移动后不变矩特征量为

$$\varphi'_1 = m'_{20} + m'_{02} - \frac{(m'_{10})^2}{m_{00}} - \frac{(m'_{01})^2}{m_{00}} = \mu_{20} + \mu_{02} = \varphi_1. \quad (6)$$

对于图像的转动问题, 在极坐标系中讨论是方便的. 设图像  $f(r, \theta)$  的转动角度为  $\beta$ , 其几何矩表达式为

$$m_{pq} = \iint [r \cos(\theta - \beta)]^p [r \sin(\theta - \beta)]^q f(r, \theta) r dr d\theta. \quad (7)$$

从式 (7) 推得各级几何矩为

$$\begin{cases} m'_{00} = m_{00}, \\ m'_{10} = m_{10} \cos \beta + m_{01} \sin \beta, \\ m'_{01} = m_{01} \cos \beta - m_{10} \sin \beta, \\ m'_{20} = m_{20} \cos^2 \beta + m_{02} \sin^2 \beta + 2m_{11} \sin \beta \cos \beta, \\ m'_{02} = m_{02} \cos^2 \beta - m_{20} \sin^2 \beta - 2m_{11} \sin \beta \cos \beta. \end{cases} \quad (8)$$

这样, 同移动的情况一样, 经过推导整理, 得到图像转动后的不变矩特征量  $\varphi'_i$  与转动前相等.

大小比例不变的证明似乎更为直接. 设图像  $f(x, y)$  以比例因子  $l$  缩放为  $f(lx, ly)$ , 则它的几何矩表达式为

$$m_{pq} = \iint (lx)^p (ly)^q f(x, y) l^2 dx dy = l^{p+q+2} m_{pq}. \quad (9)$$

令  $p = q = 0$ , 求得比例因子为

$$l = \left( \frac{m'_{00}}{m_{00}} \right)^{1/2}. \quad (10)$$

显然, 只要用此比例因子对各级几何矩作归一化处理, 则不变矩特征量就具有大小比例不变的性质.

## 2 光电混合计算系统

用于提取图像矩特征的光电混合计算系统由光学和电学两部分组成. 光学部分主要由傅氏透镜与全息膜片组成, 执行图像的几何矩变换计算, 其实质是进行二阶矩阵与四阶张量矩阵的相乘运算; 电学部分主要由 CCD 器件与微机组成, 用于测量各级几何矩的数值, 并由此计算出图像的不变矩特征量. 也就是说, 前者执行式 (1) 所示的变换计算, 它充分利用了光计算的并行性; 后者执行的是式 (2) 和 (3) 的运算, 充分利用了微机计算的灵活性与精确性. 这个系统能够实时地提取图像的不变矩特征量, 从而实时地进行移动、转动与大小比例可变的图像识别.

光学部分是这个光电混合计算系统的关键部分, 它是一个  $4f$  系统. 如图 1 所示, 光波从输入平面出射, 经过傅氏变换在全息膜片平面处被调制, 然后再次经过傅氏变换, 最终到达输出平面  $(p, q)$ . 通过光波的这一传播过程, 可以实现任意给定的变换操作, 亦包括式 (1) 所示的几何矩变换, 这在我们以前发表的一系列文章<sup>[13~15]</sup>中已有充分论证和叙述.

实现式 (1) 所示变换的光波传播过程的数学表达式为

$$F(p, q, \mu, \nu) H(\mu, \nu) F(\mu, \nu, x, y) = x^p y^q, \quad (11)$$

式中  $F$  是由系统参数决定的已知傅氏变换因子,  $H$  是需要通过确定的全息膜片的复振幅分布. 只要当光学系统的诸参数满足一定的变换条件时, 便可以从式 (11) 唯一地

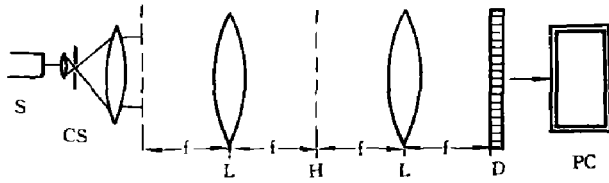


图 1 光电混合计算系统示意图

(S: 氦氖激光器, CS: 扩束、准直、滤波,  
L: 傅氏镜, H: 全息膜片,

D: CCD 探测器, PC: 微机,  $f$ : 焦距)

Fig. 1 Schematic diagram of the hybrid  
optical system

(S: He-Ne laser, CS: collimate and spatial  
filter, L: Fourier lens, H: holographic mask,

D: CCD detector, PC: microcomputer,  
 $f$ : focal length)

求出  $H$  的复振幅分布. 然后, 根据求得的复振幅分布, 通过计算机产生全息图, 与光学全息相结合研制所需要的全息膜片, 并把它置于  $4f$  光学系统的共焦面上. 利用这个光学系统, 就能够实现所需的光学变换. 关于全息膜片的设计与研制的详情本文不再赘述, 可参阅文献 [13~15].

图 1 是用于提取图像矩特征的光电混合计算系统示意图. 系统采用经过空间滤波-扩束-准直的 He-Ne 激光器作光源, 两个傅氏透镜的焦距均为 400mm, 全息膜片的分辨单元数为  $128 \times 128$ , 光电探

测器是一个二维 CCD 列阵器件, 它与微机相连, 可实时地采集和处理数据.

### 3 实验与结果

在实验中, 以一组印刷体英文字母 C、F、G、H、J、L 作为输入图像, 它们被分别制成黑白负片依次置于系统的输入平面. 除未进行字母大小比例不同的实验外, 每个字母依次进行 3 次实验测量, 即字母的初始位置、字母移动约为其大小十分之一的位置 (限于激光束高斯型分布, 移动不能太大) 及字母转动  $30^\circ$  角的位置. 每个字母的各级几何矩在输出平面被 CCD 列阵测量, 同时馈入微机计算其不变矩特征量.

上述 6 个字母和 3 种状态的各级几何矩  $m_{pq}$  和它们的不变矩特征量  $\varphi_1$ 、 $\varphi_2$ 、 $\varphi_3$ 、 $\varphi_4$  的实验结果列于表 1, 表中列出的各级几何矩都用  $m_{00}$  进行了归一化处理, 表中所示的实验结果表明, 同一字母的 3 种状态 (原位、移动、转动) 的不变矩特征量的数值近似相同, 即具有移动与转动的不变性, 而不同字母的不变矩特征量具有不同的数值. 因此, 根据这些不变矩特征量便可进行字母的识别.

### 4 结论

基于光学变换研究的理论与实验基础, 设计组建了由全息膜片、傅氏透镜、CCD 器件与微机组成的光电混合计算系统. 该系统能够实时地提取输入图像的各级几何矩与不变矩特征量, 根据这些特征量即可对输入图像进行识别, 因而这是进行模式识别的一个有效工具.

以 6 个印刷体英文字母作为输入图像, 在该光电混合计算系统上进行了实验测量, 获得了令人满意的实验结果, 表明不变矩特征量的确具有平移与转动等固有的不变性质.

表 1 印刷体英文字母的各级几何矩与不变矩特征量的实验值 (脚标 s—平移, r—转动)  
 Table 1 Experimental geometric moments ( $m_{pq}$ ) normalized by  $m_{00}$  and invariant moments ( $\varphi_s$ ) of the letters C, F, G, H, J and L under shift (s) and rotation (r), respectively.

	$m_{10}$	$m_{20}$	$m_{30}$	$m_{01}$	$m_{11}$	$m_{21}$	$m_{02}$	$m_{12}$	$m_{03}$	$\varphi_1$	$\varphi_2$	$\varphi_3$	$\varphi_4$
C	0.57	0.48	0.65	0.41	0.21	0.20	0.50	0.26	0.63	0.49	0.03	0.05	0.07
C <sub>s</sub>	0.56	0.47	0.62	0.41	0.21	0.19	0.50	0.25	0.63	0.49	0.03	0.06	0.06
C <sub>r</sub>	0.63	0.55	0.80	0.42	0.22	0.21	0.51	0.28	0.63	0.49	0.04	0.07	0.10
F	1.12	1.28	2.05	0.80	0.59	0.61	0.83	0.60	1.42	0.22	0.40	0.14	1.04
F <sub>s</sub>	1.01	1.07	1.64	0.78	0.51	0.52	0.82	0.53	1.37	0.26	0.33	0.12	0.77
F <sub>r</sub>	1.14	1.31	2.05	0.81	0.60	0.61	0.84	0.61	1.40	0.19	0.45	0.19	1.00
G	0.56	0.51	0.75	0.57	0.29	0.36	0.60	0.40	1.06	0.47	0.01	0.01	0.37
G <sub>s</sub>	0.48	0.45	0.55	0.56	0.26	0.32	0.58	0.34	1.03	0.49	0.00	0.04	0.27
G <sub>r</sub>	0.57	0.51	0.74	0.57	0.29	0.36	0.60	0.40	1.03	0.46	0.01	0.01	0.35
H	0.51	0.47	0.69	0.54	0.26	0.26	0.38	0.21	0.71	0.30	0.02	0.14	0.26
H <sub>s</sub>	0.45	0.42	0.52	0.53	0.22	0.23	0.37	0.19	0.69	0.31	0.02	0.11	0.21
H <sub>r</sub>	0.51	0.48	0.67	0.54	0.25	0.25	0.38	0.21	0.69	0.31	0.02	0.12	0.22
J	1.17	1.56	2.21	1.05	0.75	1.04	0.98	0.44	2.46	0.07	1.01	0.93	4.94
J <sub>s</sub>	1.06	1.38	1.76	1.03	0.71	0.88	0.95	0.36	2.42	0.15	0.72	1.19	3.77
J <sub>r</sub>	1.20	1.58	2.18	1.05	0.75	1.04	0.98	0.44	2.44	0.02	1.11	1.14	5.25
L	1.20	1.29	2.26	0.30	0.34	0.32	1.11	1.03	1.30	0.87	1.37	3.94	0.72
L <sub>s</sub>	1.12	1.15	1.97	0.25	0.34	0.32	1.08	1.03	1.27	0.91	1.27	3.02	0.65
L <sub>r</sub>	1.20	1.31	2.26	0.30	0.34	0.32	1.11	1.08	1.30	0.89	1.32	3.14	0.69

## 参考文献

- 1 Kumar BVKV et al. *Opt. Eng.*, 1990,29:993~1135
- 2 Fang M, Hauler G et al. *Appl. Opt.*, 1990,29:704
- 3 Camh FT et al. *Appl. Opt.*, 1990,29:709
- 4 Reid MB et al. *Appl. Opt.*, 1990,29:1209
- 5 Davix JA et al. *Appl. Opt.*, 1990,29:2594
- 6 Casasent D, Psaltis D. *Appl. Opt.*, 1976,15:1795
- 7 Casasent D, Psaltis D. *Opt. Lett.*, 1980,5:395
- 8 Blodgett JA et al. *Opt. Lett.*, 1982,7:7
- 9 Kumar BVKV, Rahenkamp CA. *Appl. Opt.*, 1986,25:997
- 10 Duvernoy J, Sheng YL. *Appl. Opt.*, 1987,26:2320
- 11 Hu MK. *IRE. Trans. Inf. Theory*, 1962,IT-8:179
- 12 Teague MR. *J. Opt. Soc. Am.*, 1980,70:920
- 13 陈岩松等. *物理学报*, 1988,37:261
- 14 Chen YS et al. *Appl. Opt.*, 1988,27:2608
- 15 陈岩松等. *光学学报*, 1989,9:1078

## A PROCESSOR FOR RECOGNIZING IMAGES UNDER SHIFT AND ROTATION\*

Chen Yansong

*(Institute of Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)*

**Abstract:** The invariant moments of an image, which exhibit three inherent properties, i.e. the invariance under image shifting, rotating and scaling, are described. And a hybrid optical digital processor consisting of a mask, two lenses, a CCD detector and a microcomputer, is set up for extracting the invariant moments of the image. The experimental results show that the measured invariant moment values of six English printing letters are indeed unchanged under letters shifting and rotating. In consequence the processor can be applied to pattern recognition for image shifting and rotating.

**Key words:** invariant moment, pattern recognition, hybrid optical processor.

---

\*The project supported by the National High-Technology Foundation of China.