



用于形状检测的极标编码 多分辨率 Hough 变换

武江峰 潘士先

(北京航空航天大学 206 信箱, 100083)

摘 要

本文提出一种利用 Hough 变换作形状检测的方法,称为极标编码多分辨率 Hough 变换,它将模板和图象都用极坐标表示为一维序列,这不但简化了 Hough 变换的映射运算,而且借此可以构成图象空间和参数空间对等的多分辨率描述,使检测可由低分辨率向高分辨率以一种类似树搜索的方式高效地实现。文中给出了实验结果。

关键词: 形状检测, Hough 变换, 极标编码, 多分辨率。

一、引 言

自从文献 [1] 发表以来, Hough 变换 (HT) 就被认为是形状检测的一种潜在的 有效方法。这种方法适用于任何(可或不可解析表示)形状的检测,对噪声不敏感,且可并行计算。但是计算量太大。

形状检测问题可陈述为: 令 S_i 为给定的模板,要确定图象中是否存在一形状 S ,它在位移 (x_0, y_0) , 旋转 ϕ 角并放大 k 倍后与 S_i 相合。用 HT 作形状检测时,若模板由 m 个点给出,图象有 n 个边缘点,则需进行映射运算 $q_\theta q_k mn$ 次,每次包括两次三角函数查表,六次乘法和两次加法,这里 q_θ 和 q_k 各为 ϕ 和 k 的量化级数。这样的计算量是不切实际的。

降低计算量的一条途径是在从图象空间到参数空间的映射中引入约束。Ballard^[2]和 马颂德等^[3]分别引入了梯度和曲率约束。同时使用这两种约束理论上可使计算量降至 mn 次(以增加梯度和曲率计算为代价);实际上,由于梯度和曲率计算的误差,只能降至 $p_1 p_2 mn$ 次, $p_1, p_2 > 1$ 。

另一些研究者采用参数空间的多分辨率描述^[4,5]和动态或自适应量化^[6,7]来减少计算量。这些方法虽然相当成功,但图象空间始终用全分辨率表示限制了计算效率的提高。

本文提出一种极标编码多分辨率 HT 法。其基本特点是用极坐标对模板和图象编码,由此不但使映射运算大为简化,而且便于构造一种多分辨率检测算法,即图象和参数空间都用多分辨率描述,检测通过在两空间对等的分辨率上进行的映射从低分辨率到高分辨率逐步完成,从而使它具有比现有方法更高的计算效率。

二、极标编码多分辨率 HT

1. 模板的极标编码

设 S_t 以连续形式给出。在 S_t 内任取一点 O 为其“中心”并以此为极坐标的原点。于是 S_t 可由序列 $\{\rho_i \triangleq \rho(i\Delta\theta): i = 0, 1, \dots, m-1; \Delta\theta = 2\pi/m\}$ 表示(图 1)。角取样间隔 $\Delta\theta$ 之值应与欲处理图象的分辨率相对应。以下设 $\{\rho_i\}$ 为单值序列即对给定的 i , ρ_i 有唯一值。

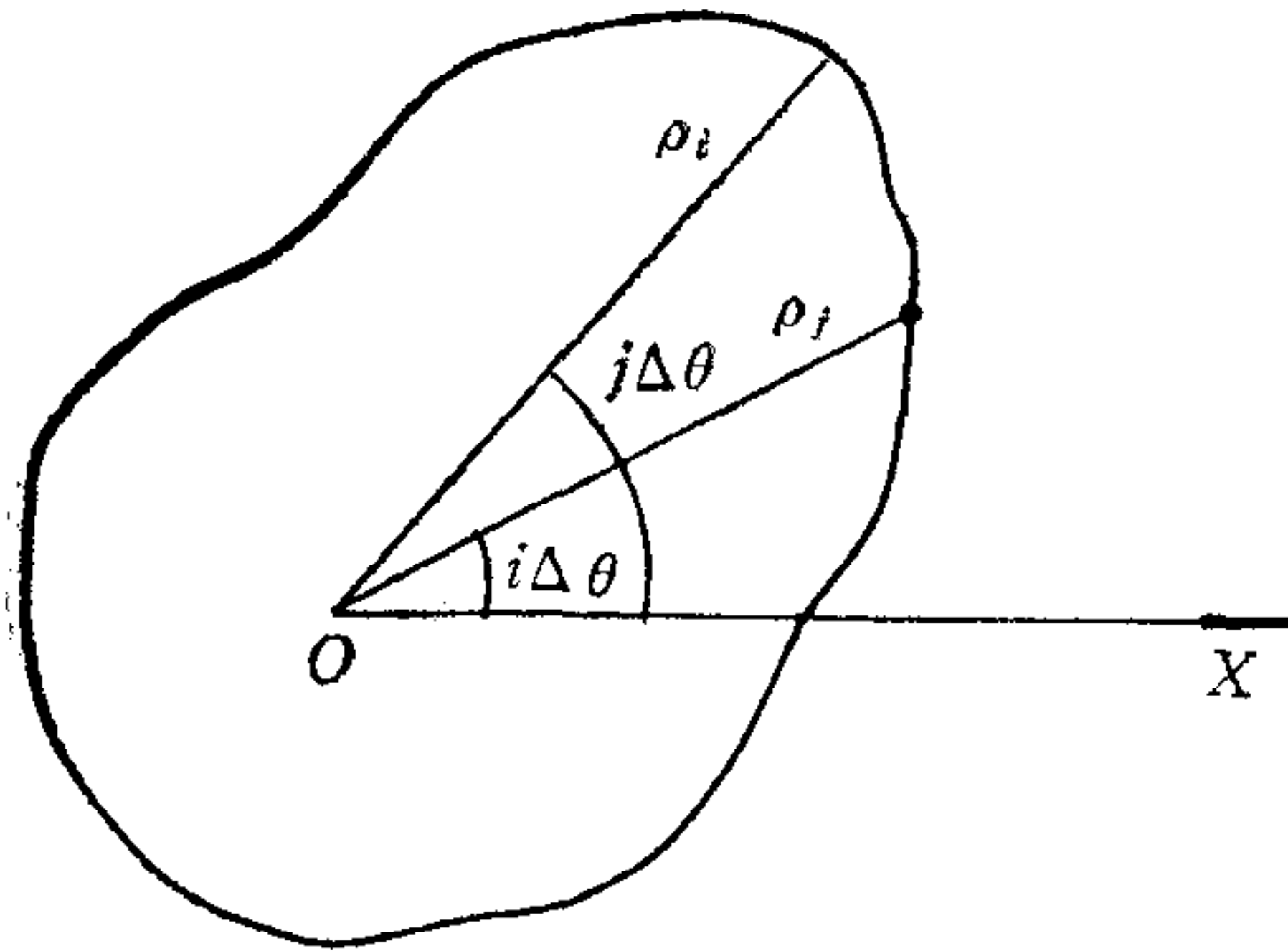


图 1 模板的极标编码

当 S_t 旋转 ϕ 角同时放大 k 倍时, 序列 $\{\rho_i\}$ 变为 $\{k\rho(i\Delta\theta - \phi)\}$ 。可见采用极标表示时比例和旋转运算极其简单。

2. 图象的极标编码

设有 $N \times N$ 象素的边缘图。取其中任一点 (x_0, y_0) 为极坐标原点, 可将其编码如下: 计算每一边缘点 (x, y) 的极坐标位置 (r, θ) (可通过查直-极坐标变换表得到), 将 θ 以 $\Delta\theta$ 的间隔量化, 于是边缘可表示为序列 $\{r_i \triangleq r(i\Delta\theta): i = 0, 1, \dots, m-1\}$, 其中, 若在某一 i 处无边缘, 则 $r_i = 0$ 。显然, $\{r_i\}$ 未必是单值序列。这种极标表示显然会引入误差, 且边缘离原点越远, 误差越大。

3. 极标编码 HT

以图象中任一点 (x_0, y_0) 为原点, 可如上所述地将其表示为序列 $\{r_i\}_{i=0}^{m-1}$ 。令 (ρ_i, r_j) , $i, j = 0, 1, \dots, m-1; r_j \neq 0$, 为一匹配对, 计算

$$\phi = (j - i)\Delta\theta, \quad k = \rho_i / r_j, \quad (1)$$

并在累加器 $A(x_0, y_0, \phi, \bar{k})$ 中加 1, 这里 $\bar{k} = \text{int}(k/\Delta k)$, Δk 是 k 的量化间隔。如果 A 在某一 $(x_0, y_0, \phi, \bar{k})$ 处有在某种度量上是显著的峰值, 就认为图象中存在着要检测的形状, 其中心在 (x_0, y_0) , 转角为 ϕ , 比例为 k 。

由于图象中任一点都可作为形状中心的候选点, 为完成检测需进行式 (1) 的计算 N^2mn 次。虽然每次只包括除和加各一次, 计算量仍太大。下述多分辨率检测可使计算量大为降低。

4. 多分辨率检测

图象和参数空间的多分辨率结构可用树来描述^[4]。对于 $N \times N$ 象素的图象, 树的根节点就是图象本身。如将它等分为 $l \times l$ 个子图象(各有 $N/l \times N/l$ 个象素), 则这些子图象就是根节点的 $l \times l$ 个子节点, 构成树的第二层。树可延伸至 $\log_l N$ 层。检测从第二层开始, 方法如下:

1) 降低原图象的分辨率, 使之变为 $l \times l$ 象素的图象。这可采用不同方法。这里通过实验采用启发式方法。设某一子图象有 n_e 个边缘点, 则将它们视作位于其中心的一个“质点”, 其“质量”为 \bar{m} , 且 $\bar{m} = n_e$ 。若 $n_e \leq N/l$, $\bar{m} = N/l$ 若 $n_e > N/l$ (这是出于这样的考虑, 如果 S_t 相当平滑, 则任一子图象内属于 S 的边缘点数目不大可能大于 N/l)。

这一步的输出是 $l \times l$ 象素的“质点”图, 记作 M .

2) 通过 $\{\rho_i\}$ 的再采样以获得序列 $\{\rho_{1i} \triangleq \rho(i\Delta\theta_1): i = 0, 1, \dots, m_1 - 1; \Delta\theta_1 = N\Delta\theta/l\}$. $\Delta\theta$ 是 θ 的最高分辨率.

3) 以任一子图象的中心 (x_0, y_0) 为 S 中心的候选点, 以角间隔 $\Delta\theta_1$ 作 M 的极标编码, 得序列 $\{r_{1i} \triangleq r(i\Delta\theta_1): i = 0, 1, \dots, m_1 - 1\}$. 令 $(\rho_{1i}, r_{1j}), i, j = 0, 1, \dots, m_1 - 1, r_{1j} \neq 0$, 为匹配对, 计算 $\phi_1 = (j - i)\Delta\theta_1$ 和 $k = \rho_{1i}/r_{1j}$, 并在累加器 $A(x, y, \phi_1, \bar{k}_1)$ 中加 \bar{m}_j ; \bar{m}_j 是 r_{1j} 处的“质量”; $\bar{k}_1 = \text{int}(k/\Delta k_1), \Delta k_1 = N\Delta k/l, \Delta k$ 是 k 的最高分辨率.

4) 检测 A 的显著峰值. 若某一显著峰值在 $(x_0, y_0, \phi_1, \bar{k}_1)$ 处, 则可估计参数落在参数空间的区域 D_2 内.

$\{D_2: (x_0, y_0)$ 所在子图象的任一象素, $\phi_1 \pm s_1\Delta\theta_1, (\bar{k}_1 \pm s_2)\Delta k_1; s_1, s_2$ 为大于 1 的整数 $\}$.

由此还可以估计对 D_2 内累加值有贡献的图象区域 D_1 .

5) 检测进入树的下一层. 在这一层上, 参加映射的图象范围限于 D_1 , 参数搜索范围为 D_2 .

当上述检测过程同时向着图象和参数空间分辨树的深度前进时, 检测的分辨率逐渐提高, 同时, 参数搜索范围越来越小, 对此范围内累加值有贡献的图象区域从整个图象中逐步分离出来. 这后一点具有某种程度的锐化峰值的作用.

三、实验结果

这里给出上述方法的一组实验结果. 模板是一椭圆(长、短轴各为 120 和 80). 两幅试验图象, $N = 256$, 分别包含一个和两个互相交叠的椭圆; 它们都是模板经旋转, 平移和比例变换的结果. 两幅图象的边缘图示于图 2、图 3. 实验中, 取 $\Delta\theta = 0.4^\circ$, $\Delta k = 0.01$. 两层分辨率(第一层为 32×32 , 第二层为全分辨率)的检测结果见表 1 的第一和第二列. 在图象 2 的检测中, 低分辨率上检测到三个椭圆, 其中有一个是虚假的; 其产生是由于检

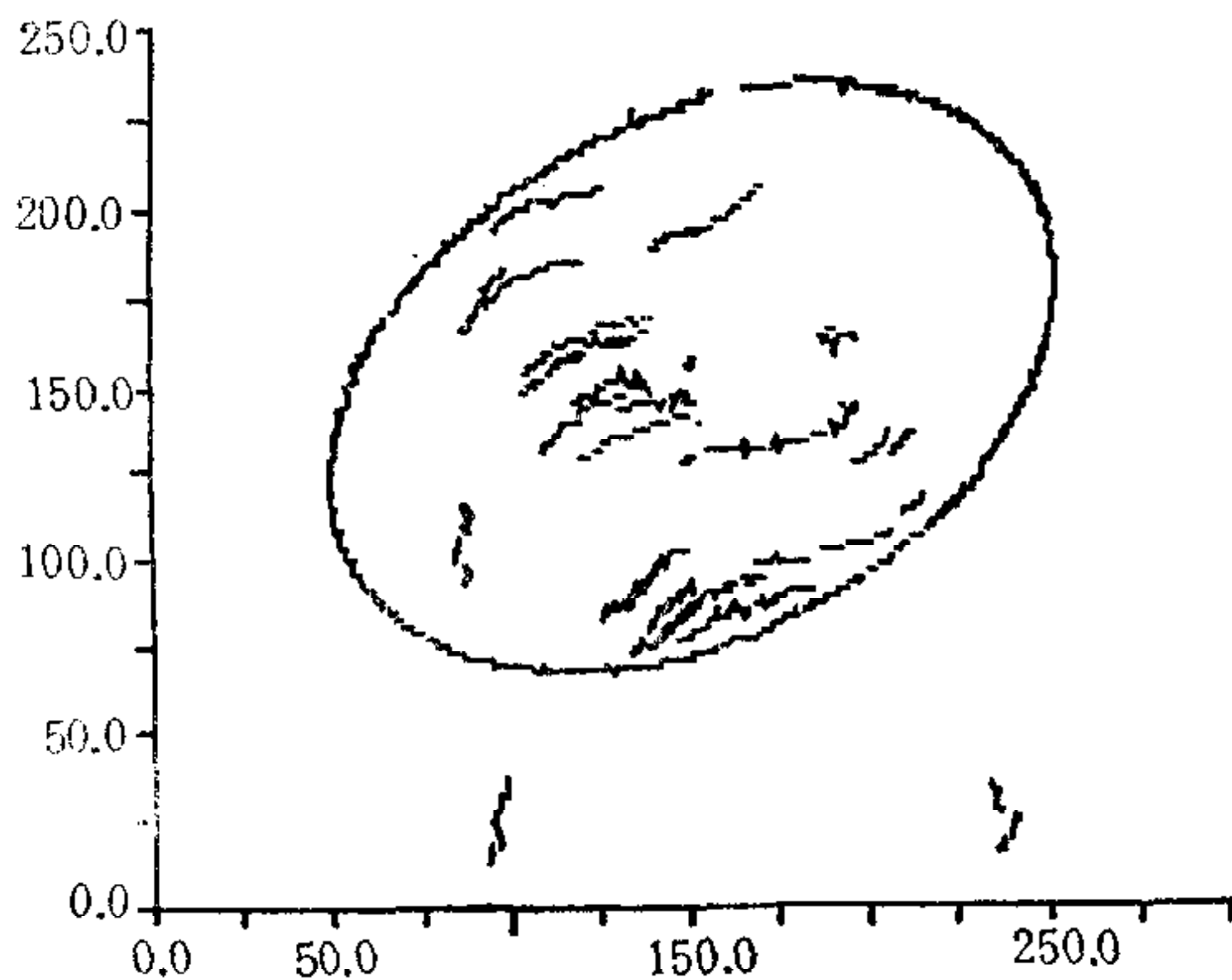


图 2 试验图象 1 $(x_0, y_0, \phi, k) = (152, 152, 30^\circ, 0.9)$

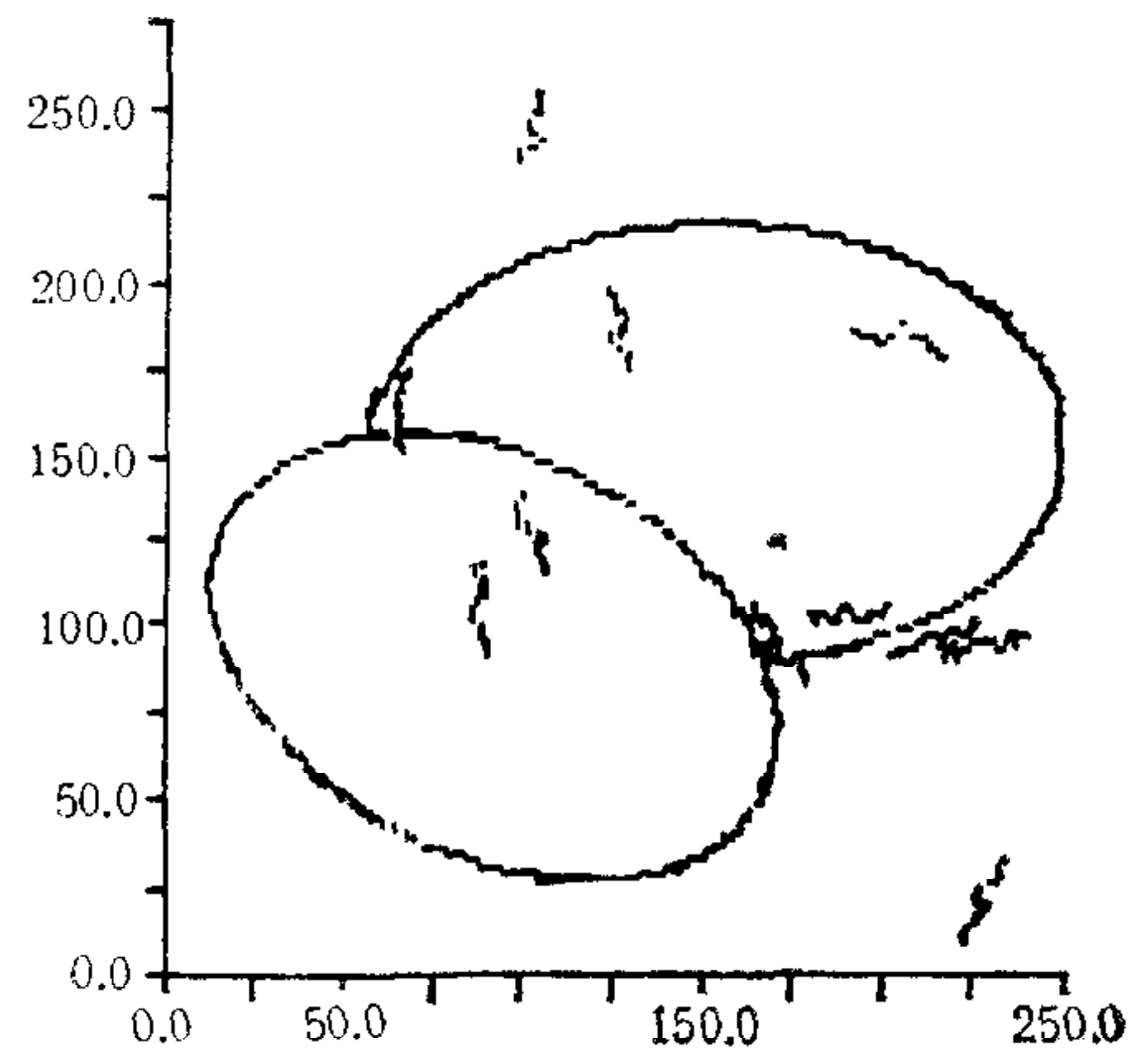


图 3 试验图象 2 $(x_0, y_0, \phi, k) = (152, 152, 0^\circ, 0.8), (92, 92, -30^\circ, 0.7)$

测算法将两个椭圆的合成边界误认为是一椭圆。但在全分辨率上,这一现象消失。

表 1

图象	极 标 编 码 HT		标准 HT	Ballard HT
	低分辨率	全分辨率		
1	152,152,28.8°,0.9	148,151,28.4°,0.87	152,153,31.2°,0.88	151,151,28.3°,0.91
2	152,152,0.0°,0.8	151,149,5.8°,0.81	152,153,0.45°,0.79	153,153,0.0°,0.81
	88,96,-21.6°,0.7	91,91,-27.3°,0.69	92,92,-29.5°,0.70	92,92,-28.1,0.71
	128,128,28.8°,1.0	/	/	/

可以看到,全分辨率的检测结果也不够精确。这主要是由于直—极坐标的转换误差所致。为了揭示此点,表中列出了在低分辨率检测的基础上用标准 HT 和 Ballard HT 所得结果。它们较为精确。

以上叙述了用于形状检测的极标编码多分辨率 HT 法。与现有同类方法相比,这种方法的计算效率高,但可能精度略低。然而,此法可和标准 HT 或约束 HT 适当结合,获得精度和效率的较好统一。

参 考 文 献

- [1] Merlin P. M., et al., A Parallel Mechanism for Detecting Curves in Pictures, *IEEE Trans. Comp.*, **24** (1975), 96—98.
- [2] Ballard D. H., Generalizing the Hough Transform to Detect Arbitrary Shapes, *Pattern Recognition*, **13** (1981), 111—122.
- [3] Ma S. D., et al., Hough Transform Using Slope and Curvature as Local Properties to Detect Arbitrary 2D Shapes, 模式识别开放研究实验室年报(National Laboratory of Pattern Recognition Institute of Automation), 中国科学院自动化研究所, **2(1988)**, 201—205.
- [4] Li H., et al., Fast Hough Transform: A Hierarchical Approach, *CVGIP*, **36(1986)**, 139—161.
- [5] Milenkovic V. J., Multiple Resolution Search Techniques for the Hough Transform in High Dimension Parameter Spaces, *Techniques for 3D Machine Perception*, A. Rosenfeld (Editor), North-Holland, 1986, 231—254.
- [6] O'Rourke J., et al., Dynamic Quantization: Two Adaptive Data Structures for Multidimensional Spaces, *IEEE Trans. PAMI*, **6(1984)**, 266—279.
- [7] Illingworth J., et al., The Adaptive Hough Transform, *IEEE Trans. PAMI*, **9(1987)**, 690—697.

POLAR CODING MULTIPLE RESOLUTION HOUGH TRANSFORM FOR SHAPE DETECTION

WU JIANGFENG PAN SHIXIAN

(*Beijing University of Aero. & Astro., Beijing 100083*)

ABSTRACT

A new technique of using Hough transform for shape detection is proposed, which we call the Polar Coding Multiple Resolution Hough Transform (PCMRHT). In the PCMRHT, both template and image are coded into 1D sequences in polar coordinate representation. This technique simplifies the mapping operation of Hough transform, and also, makes it possible to develop a multiple resolution representation of both image and parameter spaces, thereby enabling the task of detection to be efficiently performed at successively higher resolution levels in a tree-search-like manner. Experiment results are also presented.

Key words : Shape detection; Hough transform; polar coding; multiple resolution.