

基于子形心集 Hausdorff 距离的 平面形状识别新方法*

谷红勋

钟春香 刘华方

(华中理工大学图像识别与人工智能研究所,
武汉 430074)

(北京大学视觉与听觉信息处理重点实验室,
北京 100871)

摘要 本文在定义了平面形状边缘子形心概念的基础上,综合形状识别的 Hausdorff 距离法和形殊点法的思想,提出了一种形状分类新方法,并将它用于含刚性变化的封闭形状识别问题中。实验证明,此法在提高分类精度的同时使计算代价大大下降,较过去的形状识别方法来说更加快速有效。

关键词 Hausdorff 距离,形殊点,形状识别,图象处理

Hausdorff 距离^[1]可以被用来从匹配的角度对形状进行识别分类,但此法在形状有刚性变化时计算代价很大。这里汲取形状的形殊点与 Hausdorff 距离的思想,提出了一种快速有效的形状识别方法。本法的基本思路是:首先定义了形状边缘轮廓子形心的概念,接着引入了一个度量形状间相似性大小的参数,最后通过计算比较每次刚性变化时待识别形状的 M 分子形心集到各标准形状 M 分子形心集的相似性度量参数值的大小来对待识别形状进行分类。此法适用于平移、比例、旋转、加噪等各种情况,较过去的各种形状识别方法具有较高的分类精度和较低的计算代价。

1 基于子形心集的 Hausdorff 距离的 平面形状相似性新度量

1.1 平面封闭形状边缘轮廓形心的计算

形殊点^[2]的定义为:给定一位于平面 P 的形状 S 和 P 中的形状变换集 T ,设 p 是 S 经变换过程 f 所得到的一点,即 $p=f(S)$,又设形状 S' 由 S 经变换 t 所得,即 $S'=t(S)$,其中 $t \in T$ 。再设 p' 是 S' 的形殊点,那么 p 是 S 的形殊点当且仅当 $p'=t(p)$ 。

形心是表征平面形状的形殊点之一。设一平面形状轮廓由一点集 $\{(x_i, y_i), i=1, \dots, n\}$ 组成,则其形心坐标为:

$$x_B = \frac{1}{R} \sum_{i=1}^n r_i \cdot x_i, y_B = \frac{1}{R} \sum_{i=1}^n r_i \cdot y_i \quad (1)$$

其中 $x_A = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, y_A = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$,

$$r_i = \sqrt{(x_i - x_A)^2 + (y_i - y_A)^2}$$

1.2 点集间 Hausdorff 距离的概念

点集 Hausdorff 距离的定义是:给定有限点集 $A=\{a_1, \dots, a_p\}$ 和 $B=\{b_1, \dots, b_q\}$,则

$$H(A, B) = \max\{h(A, B), h(B, A)\} \quad (2)$$

其中 $h(A, B) = \max_{a \in A} \min_{b \in B} \|a - b\|$ 。 $\|\cdot\|$ 表示范数,为 L_1, L_2 , 或 L_∞ 。 $H(A, B)$ 的含义则是:若 $H(A, B) = d$, 那么一点集中每一点一定在另一点集中对应一点,它们之间的距离小于 d , 反之亦然。 $H(A, B)$ 体现了两固定位置点集间的相似性的大小。若两个要比较的形状边缘轮廓点集中有一个进行了形状刚性变换,此时最小 Hausdorff 距离变为:

$$M_G = \min_{g \in G} H(A, gB) \quad (3)$$

上式的一种特例为单个点到有限点集的 Hausdorff

* 北京大学视觉与听觉信息处理国家重点实验室基金资助。
收稿日期:1996年10月;收到修改稿日期:1997年1月。

距离, 设平面 P 中有一有限点集 $A = \{a_1, \dots, a_p\}$, b 为 p 上一点, 同时考虑对 A 有一群 G , 那么 b 到 A 的 Hausdorff 距离为:

$$H_G(b, A) = \min_{g \in G} H(b, gA) \quad (4)$$

若考虑对点 b 有一变换过程 $f, f \in F, F$ 是一变换集, 则在变换过程 f 下, 上式变为:

$$H_f(b, A) = \min_{f \in F} H(f(b), A) \quad (5)$$

1.3 封闭形状边缘轮廓的子形心集间的相似性度量

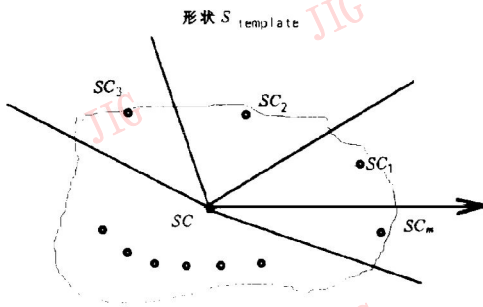


图1 形状的 M 分子形心

Fig.1 Subcenters of shape divided into M parts.

如图设标准形状边缘轮廓 $S_{template}$ 的形心为 sc , 以 sc 为极点, 沿水平向右方向为极轴建立起极坐标系, 以极轴为起点把圆周分成 M 部分, 同时也分割了此封闭形状, 把第 i 部分边缘轮廓的形心 sc 叫作整个形状在此位置的第 i 个子形心, 这样就得到了一个表征封闭形状 $S_{template}$ 在此位置下的子形心集 $C = \{sc_1, \dots, sc_M\}$, 那么同样地对另一待识别形状边缘 S_{test} 也可得到其一定位置下的子形心集 $C' = \{sc'_1, \dots, sc'_M\}$ 。

对待识别形状 S_{test} 某一位置时的每个子形心 sc'_i 利用公式(4)有

$$H(sc'_i, C) = \min_{c \in C} \| sc'_i - c \| \quad (6)$$

若 F 为对点集 C' 有一平移、比例变换集, 那么形状相似性度量可定义为:

$$Match(S_{test}, S_{template}) = \sum_{i=1}^M \| H(sc'_i, C) - \bar{H} \| \quad (7)$$

其中 $\bar{H} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M h(sc'_i, C)$ $match(S_{test}, S_{template})$ 值越小两形状就越相似。完全相同时为 0。考虑到 S_{test} 可作平移、比例等刚性变化, 利用式(5)该相似性度量公式变为:

$$Match_f(S_{test}, S_{template})$$

$$= \sum_{i=1}^M \| H_f(sc'_i, C) - \bar{H}_f \| \quad (8)$$

其中 $\bar{H}_f = \frac{1}{M} H_f(sc'_i, C)$ 。若针对 S_{test} 有一旋转变换集 R , 则最终的相似性度量为:

$$Match(S_{test}, S_{template}) = \min_{r \in R} Match_f(r(S_{test}), S_{template}) \quad (9)$$

需要强调的是子形心为本法中定义的一类点, 它虽依然遵循着形心的计算公式, 但它对整个形状来说只满足平移, 比例不变性, 而不再是整个形状的形殊点。

1.4 封闭形状边缘轮廓相似性度量计算的算法描述

设模板形状为 $S_{template}$, 待识别形状为 S_{test} , 具体算法如下:

1) 计算 $S_{template}$ 的形心 sc 及标准位置下的 M 分子形心集 C ;

2) 计算 S_{test} 的形心 sc' , 在一定的坐标系下重合 $S_{template}$ 和 S_{test} 的形心;

3) 以形心为中心在 360° 的范围内离散旋转 S_{test} ;

(a) 求出每次旋转后的 S_{test} 的 M 分子形心集 C' ;

(b) 在一定的比例变化范围内变换 S_{test} 的 M 分子形心集 C' , 并根据公式(8)求出每次变换时的 $Match_f(S_{test}, S_{template})$;

(c) 取所有比例变换相似性值中的最小值作为此次旋转形状 S_{test} 的相似性值;

4) 增加旋转角度值, 重复进行步骤 3);

5) 利用式(9)求出 $S_{template}$ 和 S_{test} 的相似性度量值。

本算法节约计算量之处在于: 第一, 二形心重合首先保证了计算直接排除平移变化; 第二, Hausdorff 距离计算和比例变化仅在子形心间进行, 而非对轮廓上所有点。

2 形状识别分类与实验结果

利用上述度量形状相似性的算法可从匹配的角度对形状进行识别分类, 其本质就是在满足一定的阈值的条件下寻找与待识别形状最相似的模板形状。我们做了大量实验检验了本法在平移、比例、旋转、加噪、边缘模糊等情况下的可行性。这里我们给

出一组计算 4 等分子形心的 4 类舰船形状识别分类的实验,实验的识别率接近 100%。标准舰船形状及边缘轮廓(图 2)及一些待识别的样本(已分割图 3),其中 A—F 是几种无噪刚性变化的情况,包括了平移、比例、旋转的各种典型情况;G 是加噪的情况;H 是边缘模糊的情况;I 是对 F 的加噪与边缘模糊;



图 2 4 类标准舰船形状及对应的边缘轮廓
Fig. 2 Four kinds of template ship shapes and corresponding edge contours.

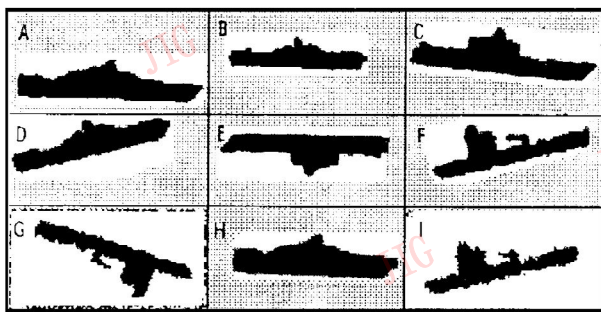


图 3 几幅待识别的船船形状样本
Fig. 3 Several test samples of ship shape.

把形状 F、I 相对于四类模板形状离散旋转一周得到的相似性度量数据的变化情况作一对比(比例变化倍数范围为 0.9~1.1)(图 4,5)。形状 F 分别相对于 4 类标准形状的相似性度量值如下:

$$\begin{aligned} \text{Match}(1) &= 1.034281, \\ \text{Match}(2) &= 0.720996, \\ \text{Match}(3) &= 0.468011, \\ \text{Match}(4) &= 0.999715; \end{aligned}$$

因为值最小的最相似,将 F 归入第 3 类。形状 I 相对于 4 类标准形状的相似性度量值如下:

$\text{Match}(1) = 0.644301, \text{Match}(2) = 0.626034, \text{Match}(3) = 0.547135, \text{Match}(4) = 0.668184$; 将形状 I 归入第 3 类。形状 F、I 相对于每一模板形状的数据曲线趋势和极值相对大小基本保持不变,由此可以发现本法具有一定的抗噪性和抗模糊性。总之本法较 Hausdorff 距离法来讲大大降低了分类时的运算量;较形殊点法来讲则提高了抗噪性与精确性。

参考文献

- 1 Huttenlocher D P, Klanderman G A. Comparing images using the hausdorff distance. IEEE Trans, on PA & MI, 1993, 15: 850~863.
- 2 Amar M, Aggarwal J K. Contour registration by shape-specific points for shape matching. CVGIP 1983, 22: 396~408.

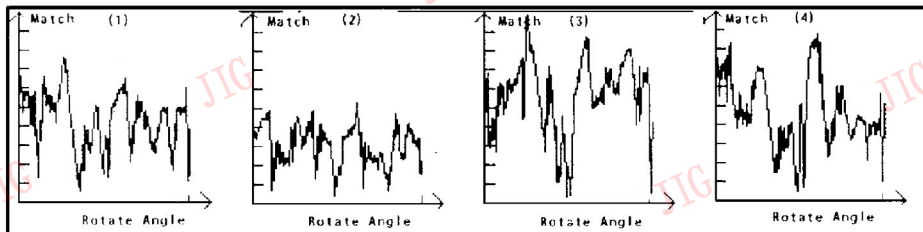


图 4 形状 F 分别相对于 4 类标准形状离散旋转一周相似性度量数据变化曲线
Fig. 4 Similarity measurement curves about shape F compared with four template shapes after rotating discretely.

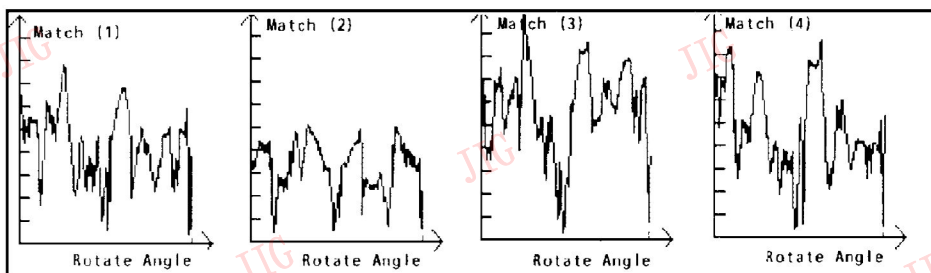


图 5 形状 I 分别相对于四类标准形状离散旋转一周相似性度量数据变化曲线
Fig. 5 Similarity measurement curves about shape I compared with four template shapes after rotating discretely.



谷红勋 1994年毕业于华中理工大学光电子工程系,现为该校图象识别与人工智能研究所模式识别与智能控制专业的硕士研究生。

Planer Shape Recognition based on Shape Subcenter Hausdorff Distance

Gu Hongxun

(Institute of Pattern Recognition & Artificial Intelligence Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074)

Zhong Chunxiang Liu Huafang

(Center for Information Science, Peking University, Beijing 100871)

Abstracts Combined with shape-specific points and Hausdorff Distance, a new shape matching measurement based on the concept of shape subcenters is given here. It is used for shape recognition under rigid transformations, brings about great improvements on precision, while decreases calculating cost very sharply. The test shows it's more effective and faster than any old method.

Keywords Hausdorff distance, Shape-specific points, Shape recognition, Image processing