

# 基于直线基元角方向对几何关系直方图的目标识别方法\*

陶午沙 沈振康 李吉成

(国防科技大学电子科学与工程学院 湖南 长沙 410073)

**摘要** 针对以往“角方向对几何”同类技术<sup>[6-8]</sup>提出了新的基于直线基元的几何不变特征关系,并使用该关系针对目标集建立特征关系多维直方图,作为目标的几何不变特征,通过多维直方图匹配进行目标识别。实验证明该模式关系对于较规则的形体,其检测精度优于以往方法,可用于基于内容与结构的图像分析与目标识别系统中。

**关键词** :自动目标识别 ;几何不变特征关系直方图 ;多维直方图匹配

中图分类号 :TP18 ;O235 文献标识码 :A

## An ATR Method Based on Newly Defined Pairwise Geometric Histogram

TAO Wu-sha, SHEN Zhen-kang, LI Ji-cheng

(College of Electronic Science and Engineering, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

**Abstract** :The paper presents a newly defined pairwise geometric<sup>[6-8]</sup> invariant relationship of the line segments of the shape targets based on the formal work of this technology. The method recognizes the targets by comparing the multi-dimensional histograms which are formed by the newly defined invariant relationship. The experiments show that the new relationship is more accurate for regular shape recognition than the old methods.

**Key words** :ATR ;geometric invariant feature relationship histogram ;multi-dimensional histogram matching

基于图像内容与结构的目标识别技术是图像处理与机器视觉新研究方向。Swain 和 Ballard<sup>[1]</sup> 提出使用灰度直方图表征物体,即使用目标样本的灰度直方图同图像区域匹配识别目标。该方法对目标的平移、旋转、缩放、仿射、视点位置的改变等具有很强的鲁棒性。但当光源强度、方向、色调改变时,该方法对光照条件的变化较敏感。为减小灰度对照明强度的敏感性,一些学者研究了灰度直方图不变量<sup>[2-4]</sup>。

然而,并不是所有物体都可以只通过彩色灰度加以描述和识别的,例如遥感图像中很多同类人造目标具有相同结构,但其灰度表征由于拍摄条件以及周边环境,或使用的建筑材料的不同却差别很大。因此灰度直方图有必要合并上其他不变量信息<sup>[5]</sup>。本文将组成目标结构的线基元之间的几何不变特征及其相互关系引入直方图技术,使用多维直方图表征目标的几何不变特征关系。在基于线框架结构表示目标形体方面,N. A. Thacker 等人提出 PGH 角方向对几何直方图法表示线结构物体<sup>[6]</sup>。但在应用时,该方法对于非规则形体效果较好,对于规则形体效果并非很好,本文提出新的基于直线基元的目标“角方向对几何”不变特征关系,以提高该方法对于较规则形体的识别质量。

### 1 基于直线基元的“角方向对几何”不变特征关系直方图

#### 1.1 使用 ARG 模型描述目标的线框架结构

使用 ARG 模型  $\tilde{G}_n(V, E, \mu, \nu)$  描述目标(直线集),  $V$  为直线基元,设其二元关系  $E(E \subset V \times V)$  属性  $\mu$ 、关系属性  $\nu$  可由元素相互独立的  $n$  维参数矢量  $\tilde{\theta}_n = \{\tilde{\theta}_k \mid k = 1, \dots, n\}$  表示。由 Bayes 定理

\* 收稿日期 :2003 - 10 - 21  
基金项目 :国家部委基金资助项目(41303040204)  
作者简介 :陶午沙(1975—),男,博士生。

$$p(\tilde{G}_n | \tilde{\theta}_k) = \frac{p(\tilde{\theta}_k | \tilde{G}_n)p(\tilde{G}_n)}{p(\tilde{\theta}_k)} = \frac{p(\tilde{\theta}_k | \tilde{G}_n)p(\tilde{G}_n)}{\sum_i p(\tilde{\theta}_k | \tilde{G}_i)p(\tilde{G}_i)} \quad (1)$$

由于组成  $\tilde{\Theta}_n$  的  $n$  维向量相互独立,则

$$p(\tilde{G}_n | \tilde{\theta}_k \cup \tilde{\theta}_j) = \frac{p(\tilde{\theta}_k | \tilde{G}_n)p(\tilde{\theta}_j | \tilde{G}_n)p(\tilde{G}_n)}{\sum_i p(\tilde{\theta}_k | \tilde{G}_i)p(\tilde{\theta}_j | \tilde{G}_i)p(\tilde{G}_i)} \quad (k \neq j) \quad (2)$$

则

$$p(\tilde{G}_n | \bigcup_k \tilde{\theta}_k) = \frac{p(\bigcup_k \tilde{\theta}_k | \tilde{G}_n)p(\tilde{G}_n)}{\sum_i p(\bigcup_k \tilde{\theta}_k | \tilde{G}_i)p(\tilde{G}_i)} = \frac{\prod_k p(\tilde{\theta}_k | \tilde{G}_n)p(\tilde{G}_n)}{\sum_i \prod_k p(\tilde{\theta}_k | \tilde{G}_i)p(\tilde{G}_i)} \quad (3)$$

即

$$p(\tilde{G}_n | \bigcup_k \tilde{\theta}_k) = \frac{\prod_k p(\tilde{\theta}_k | \tilde{G}_n)}{\sum_i \prod_k p(\tilde{\theta}_k | \tilde{G}_i)} \quad (4)$$

由样本集与带检测目标各参数统计多维直方图匹配可得出  $p(\tilde{G}_n | \bigcup_k \tilde{\theta}_k)$ 。

### 1.2 以往方法的问题

在基于直线框架结构表示目标形体方面,N.A.Thacker等人提出PGH角方向对几何直方图法表示线结构物体<sup>[6]</sup>。设目标是独立的有向线段的集合,该方法通过统计组成物体的有向线段之间夹角与距离关系参数 $\theta$ 和 $\vartheta$ ,建立二维直方图表示目标几何特征,如图1(a)所示,参数 $\theta$ 和 $\vartheta$ 表示任意直线 $L_i$ 同参考直线 $L_{ref}$ 的位置关系。该方法被证实在基于线框架的形体索引与识别应用中取得较好的效果<sup>[6]</sup>,但从示意图中就可明显看出 $\theta$ 和 $\vartheta$ 两参数并不独立, $\vartheta$ 明显依赖于 $\theta$ ,并且不是尺度不变的。之后Benoit Huet等人提出基于坐标极化思想的直线关系描述<sup>[7,8]</sup>,如图1(b)所示, $i$ 为两直线交点,以该点作为极点,两参数 $\theta$ 和 $\vartheta$ 可惟一表示两直线位置,相互独立,并且 $\vartheta$ 同直线的长度(属性)相关,因此可较大程度上表示组成目标的线基元之间的几何属性及相互关系,可以看出两参数对同一目标线集是平移、旋转、缩放不变的。

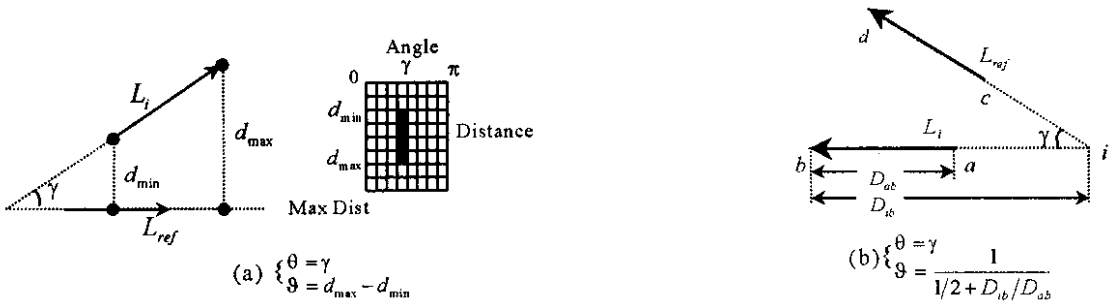


图1 N.A.Thacker(a)与Benoit Huet(b)提出几何不变关系构造方法

Fig. 1 The pairwise geometric invariant relationship of N.A.Thacker(a) and Benoit Huet(b)

本文将上述两方法通称为“角方向对几何(Pairwise Geometry)”<sup>[6]</sup>方法。但通过实验发现,实际在使用上述两种方式描述目标时,存在两个明显的问题。第一,对如图2(a)所示的平行线情况,两方法难以加以区分,使用Benoit Huet方法描述图中直线 $L_1, L_2$ 同参考直线 $L_{ref}$ 关系时,参数 $\theta$ 和 $\vartheta$ 均为零,N.A.Thacker的方法中 $\theta$ 为零, $\vartheta$ 都相等,而平行线却是人造物体线框架描述中最常见的关系。第二,图像的数字化影响了以像素表示的直线求夹角,其中尤以短线为明显,如图2(b)所示,有向线段 $L_i$ 由两个像素组成,其方向只能有8个,这使得直接使用上述方法得出的直方图呈现角度参数上的不连续性,如实验结果中的图4(b),图中距离方向上的暗条纹是不能达到的角度,而我们知道形体的较精细结构正是由短线所描述。

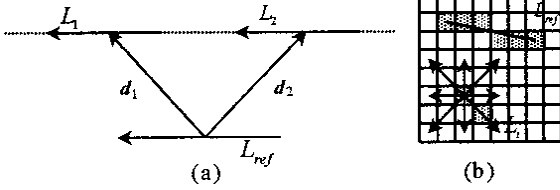


图2 以往构造方法中的问题  
Fig.2 The problem of the relationship of N. A. Thacker and Benoit Huet

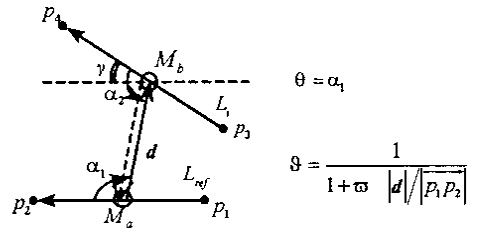


图3 本文提出的几何不变特征关系  
Fig.3 The newly defined pairwise geometric invariant relationship

1.3 新的“角方向对几何”关系

本文针对上述方法的两个问题,提出了新的基于直线模式的“角方向对几何”参数描述方法,通过提取线集中有向直线之间显著的几何不变特征关系建立二维直方图,描述目标形体的线框架结构,如图3。

由图3可看出,在直角坐标系中,借助辅助矢量  $d$ ,任何有向直线  $L_i(p_3, p_4)$  同参考有向直线  $L_{ref}(p_1, p_2)$  的几何关系可由两有向线段的夹角  $\gamma$ 、两有向线段质心(文中取直线的中点  $M$ )的距离  $|d|$  以及  $L_i$  同  $L_{ref}$  的方位角  $\alpha_1$  三个参数惟一决定。为降低参数维数,注意到  $\gamma = \alpha_1 + \alpha_2 - \pi$ ,  $\alpha_2$  是以  $L_i$  为参考直线时  $L_{ref}$  相对  $L_i$  的方位角,  $\alpha_1, \alpha_2$  相互独立,即  $\gamma$  可由两直线相互方位关系线性表示,则通过统计任意两有向线段之间方位以及质心距离的关系直方图可较全面地描述组成目标直线集的几何特征关系的统计特性。

本文提出的两参数  $\theta$  和  $\vartheta$  如图3所示为  $\theta = \alpha_1, \vartheta = \frac{1}{1 + \omega \times |d| / |p_1 p_2|}$ , 矢量  $d$  为参考直线  $L_{ref}$  质心到任意直线  $L_i$  质心的方向矢量,代表了  $L_i$  相对  $L_{ref}$  的方位,  $\alpha_1$  为  $L_{ref}$  和  $d$  带符号夹角(角方向)<sup>[6]</sup>, 逆时针为正,顺时针为负,角方向符号可以通过两矢量差积得到,从而  $\theta \in [-\pi, \pi], \vartheta \in (0, 1]$ 。注意到  $\theta \in \nu, \vartheta$  中的量  $|d| / |p_1 p_2|$  结合了直线长度属性,  $\vartheta \in \nu$  对组成同一形体的线集是尺度无关的,因此两参数是平移、旋转、缩放不变的,并可用来有效区分图  $\chi(a)$  中所示平行线情况,实验结果见图  $\chi(a)$ 。特别地,当两直线相交且交点都为质心时,定义  $\theta = \gamma, \vartheta$  为1。虽然  $\vartheta \in (0, 1]$ ,但实际应用中,短线多,因此  $|d| / |p_1 p_2| \rightarrow \infty, \vartheta \rightarrow 0$ ,即参数  $\vartheta$  更多分布在靠近零的区域,  $\vartheta$  中的  $\omega$  权值可有效调整直方图中参数  $\vartheta$  的分布形状,便于匹配。

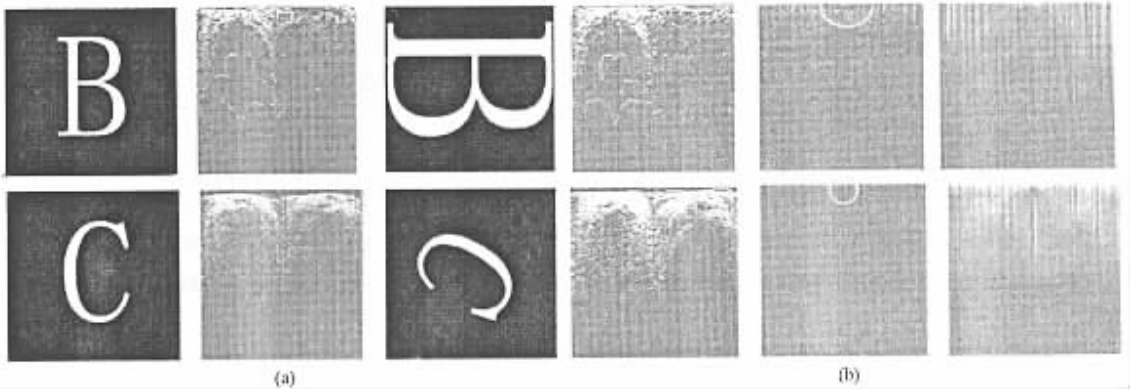
上述方法同样较大程度上描述了组成目标的线基元之间的几何属性及相互关系,可有效解决 Benoit Huet 和 N. A. Thacker 方法中平行线问题,减轻角度离散化。对于平行线的问题,结合  $d$  与  $\alpha_1$  区分,如图  $\chi(a)$  中  $L_1, L_2$  对应的  $d$  与  $\alpha_1$  是不同的。对于角度离散化的问题,一般  $|d|$  值较大,  $\alpha_1$  能取到更多的值,从实验结果图  $\chi(a)$  中可看到,角度方向上基本连续,可以较精确鉴别以短线描述的形体。

2 多维直方图匹配

本文采用 Partial Hausdorff 距离<sup>[9]</sup>进行直方图匹配。Partial Hausdorff 距离是较有效的比较任意两集合间距离的方法,且具备一定的抗噪声能力。设两个集合  $A, B$  表示经归一化的两大小相同的二维直方图  $h_A(m, n), h_B(m, n)$ ,其中  $h_A(m, n) = \frac{H_A(m, n)}{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N H_A(m, n)}$ ,  $M, N$  为直方图维大小,  $H_A$  为直方图累加值,  $p, q$  为集合  $A$  与  $B$  元素个数,  $p = M \times N, p = q$ , Partial Hausdorff 距离,  $Dist_{LH}(A, B) = \max(dist_L(A, B), dist_L(B, A))$  其中,  $dist_L(B, A) = K_b^{th} \in B \min_{a \in A} \|a - b\|$  ( $1 \leq K \leq q$ ),  $K_b^{th} \in B$  表示第  $K$  个大的距离(文中  $\|\cdot\|$  使用欧式距离),该方法的计算量级别是  $O(pq)$ ,可以提高到  $O((p+q) \log(p+q))$ <sup>[9]</sup>。但当  $p, q$  较大时(文中使用了  $64 \times 128$  矩阵存储二维直方图的值),计算量仍然庞大。

为减少计算量,可直接使用较简单的距离评价方法。Swan 提出了经典的直方图距离评价<sup>[1]</sup>  $D(h_A, h_B) = \sum_{l=1}^L \min\{H_A, H_B\}$ ,该距离对加性噪声不敏感,但缺乏列间相似性考虑。在应用中,最终距离可综合

使用具有相关性测度的距离融合,提高匹配精度,如:Bhattacharyya 距离<sup>[8]</sup>、SSD 距离、 $\chi$  距离、CORREL 距离等。这些距离的计算量量级是  $O(p)$ 。



### 3 实验结果与结论

实验结果如图 4 所示,对现有方法进行了比较。图 4(a)为使用本文提出的几何特征关系直方图得到的结果,左侧为实验数据,右侧为结果;图 4(b)为 Benoit Huet 方法(左)与 N.A. Thacker PGH 生成的直方图(右),Benoit Huet 方法有平行线造成的明显亮点(被圈点)图 4(c)为本文提出的几何特征关系直方图方法同已有同类方法的实验结果比较,采用不同形体规则度(形体变化频率)的形体进行测试<sup>[10]</sup>。

实验结果显示,提出的新的基于直线基元的目标“角方向对几何”不变特征关系较以往方法提高了针对规则形体目标的识别精度,对目标形体的细节有较好的体现,可有效区分以往方法不便区分的规则形体模式。

### 参考文献:

- [1] Swain M, Ballard D. Color Indexing[J]. International Journal of Computer Vision, 1991, 7(1): 11 - 32.
- [2] Healey G, Slater D. Using Illumination Invariant Color Histogram Descriptors for Recognition[J]. In IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 1994 355 - 360.
- [3] Funt B, Finlayson G. Color Constant Color Indexing[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1995, 17(5) 522 - 529.
- [4] Finlayson G, Schiele B, Crowley J. Comprehensive Colour Image Normalization[J]. In ECCV '98 Fifth European Conference on Computer Vision, 1998, 1: 475 - 490.
- [5] Slater D, Healey G. Combining Color and Geometric Information for the Illumination Invariant Recognition of 3D Object[J]. In ICCV '95 Fifth International Conference on Computer Vision, 1995 563 - 568.
- [6] Evans A C, Thacker N A, Mayhew J E W. Pairwise Representations of Shapes[J]. In Proceedings of the 11<sup>th</sup> IAPR International Conference on Pattern Recognition, the Hague, the Netherlands, 1992, 1: 133 - 136.
- [7] Huet B, Hancock E R. Line Pattern Retrieval Using Relational Histograms[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1999, 21(2): 1363 - 1370.
- [8] Huet B, Hancock E R. Structural Indexing of Infra-red Images Using Statistical Histogram Comparison[DB]. IWISP '96, 1996 653 - 656.
- [9] Huttenlocher D P, Klauder G A, Rucklidge W J. Comparing Images Using the Hausdorff-distance[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1993, 15 850 - 863.
- [10] Persoon E, Fu K. Shape Discrimination Using Fourier Descriptors[J]. IEEE Trans. Syst., Man, Cybern., 1977, SMC - 7: 170 - 179.

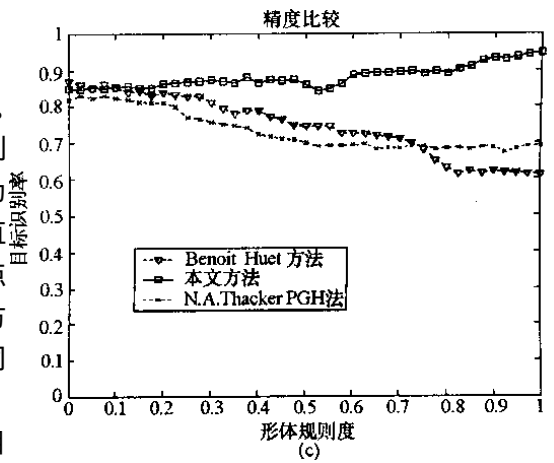


图 4 实验结果

Fig.4 The experiment result

