

## 基于结构特征的遥感图像机场目标识别\*

肖志坚<sup>1</sup>, 周 焰<sup>1</sup>, 隋东坡<sup>1</sup>, 韩世明<sup>2</sup>

(1.空军雷达学院 自动化教研室,湖北 武汉 430019;2.华中科技大学 水电与数字化工程学院,  
湖北 武汉 430073)

**摘要:**提出了一种遥感图像中机场跑道的自动识别方法。在分析机场结构特征的基础上,首先采用形态学方法提取图像的线结构;然后通过非监督聚类方法将直线段动态分组;最后进行直线段修复和跑道配对,实现对机场的识别定位。计算机仿真验证了该方法的有效性。

**关键词:** 遥感图像; 数学形态学; 非监督聚类; 直线特征; 跑道; 目标识别

**中图分类号:** TP75 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-2276(2005)03-0314-05

## Structure based airport recognition in remote sensing image\*

XIAO Zhi-jian<sup>1</sup>, ZHOU Yan<sup>1</sup>, SUI Dong-po<sup>1</sup>, HAN Shi-ming<sup>2</sup>

(1.Command Automation Section, Airforce Radar Academy, Wuhan 430019, China; 2.School of Hydropower and  
Digitalization Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430073, China)

**Abstract:** Based on analyzing line structure of runway, a new method to automatically detect runways in remote sensing image is presented. Firstly, line structure of the image by mathematical morphology is extracted. Then straight-line is grouped through dynamic clustering. Finally lines are relinked and runway are paired. Through runway's localization, the recognition of airfield is realized. The experimental results show that this method has a perfect performance and usability to identify airfield of remote sensing images.

**Key words:** Remote sensing image; Mathematical morphology; Non-surveillance clustering; Line feature; Runway; Target recognition

### 0 引言

机场特征提取、识别与理解一直是人们感兴趣的问题。参考文献[1]提出了一种基于句法分析的机场图像理解方法。由于句法分析所要求的运行时间很长,且寻找合适的基本模式元素集合及寻找分析算法

也很困难,因此较难在实际中应用。参考文献[2]利用 Hough 变换提取两条最长直线配对判断跑道,但是计算复杂且提取直线的分辨率较低。机场所处地域虽然目标多样,信息复杂,但其结构特征是有规律的。本文从机场的直线结构特征分析入手对机场识别和理解进行了探讨。

收稿日期:2004-06-20; 修订日期:2004-08-05

\* 基金项目:国家自然科学基金资助项目(40101019)

作者简介:肖志坚(1997-),男,广西桂林人,硕士生,研究方向为数据融合、人工智能、图像理解与机器视觉。

直线是数学上一种简单的中层描述符号,具有定位准确和数据量小的优点,且受噪声的影响很小,利用它可以描述许多人造目标,如建筑物、机场、桥梁以及主要道路等,因而从图像中提取直线结构是许多目标识别和场景分析系统中的重要组成部分<sup>[3,4]</sup>。直线具有不同于一般曲线的特征,因此其提取方法也与一般的边缘检测方法不同。在直线的提取中,相位编组法的基本思想是求出图像中各个像素的梯度相位,将相邻方向相同的点编为一个直线支撑区,然后根据支撑区内像素的坐标求出直线的方程,即可将直线提取出来。由于相位编组是一种单精度方法,所以存在受噪声影响大、丢失弱线、丢失模糊线等问题<sup>[5]</sup>。Hough变换<sup>[6,7]</sup>是一种变换域提取直线的方法,它把直线上点的坐标变换到过点的直线的系数域,将直线参数空间每一维量化为一定数目的区间从而把参数空间分成一个个单元,巧妙地利用了共线和直线相交的关系,使直线的提取问题转化为计数问题。但是,Hough变换的缺点是运算量大,而且由于不考虑各点之间的距离信息,容易将不属于直线上的点也连接到直线上,产生过连接现象<sup>[8]</sup>。

针对以往直线提取方法中的不足,提出了一种分割聚类的直线提取算法,对经过数学形态学<sup>[9]</sup>细化的图像进行处理。对直线段进行正确分组是准确配对判别跑道的基础,运用非监督聚类<sup>[10-15]</sup>方法较好地解决了这一个问题,显著提高了判别的准确率。识别算法包括两个部分:跑道基本结构特征的分析及跑道的判断识别。文中所有涉及距离计算的地方均采用欧几里德距离进行测量。实验结果表明文中的方法具有较好的检测效果。

## 1 跑道结构特征的分析

通常,跑道的存在标志着机场的存在,因此可以把对机场的识别定位转化为对跑道的识别,通过确定跑道的基本结构特征来检测识别机场的存在与否。经过对大量包含机场的遥感图像的分析,总结了机场跑道的基本结构特征为:

- (1) 跑道很长,能满足一般飞机的起飞助跑要求;
- (2) 跑道长度、宽度限于一定范围;
- (3) 跑道宽度基本一致且变化较慢;

(4) 跑道呈直线状,方向不发生显著变化,近似平行。

图1为包含机场的遥感图像。通过实践统计获得了机场跑道的长宽及后续计算所需的各种参数等具有实际应用性的数据。



图1 包含机场的遥感图像

Fig.1 Airport in remote sensing image

## 2 跑道的判断识别

在对原始图像进行一系列预处理的基础上,通过跟踪、平滑、判直线段、聚类、修复和直线段配对等步骤实现对跑道的判断识别。

### 2.1 原始图像预处理

在原始图像预处理过程中,利用最大类间方差进行自动阈值选择将原始图像二值化,通过对图像的直方图分析可以发现,无论图像的直方图有无明显双峰现象,此方法都能得到较满意的结果。数学形态学可以通过物体和结构元素相互作用的某些运算,使用击中击不中变换,得到物体更本质的形态,反映图像蕴含的丰富信息。文中采用数学形态学的方法实施开闭运算,对二值化后的图像进行细化处理。

### 2.2 跟踪提取曲线

一幅数字图像是一个二维阵列,其中包含像素的灰度值和坐标信息。对经过预处理的图像进行扫描跟踪,找出其中所有灰度值为1的像素点并根据它们之间的某种联系组成曲线,同时记录其坐标信息。

在采用数学形态学进行细化处理时,选择恰当的数字结构对实施击中击不中变换,使细化后图像中像素点形成八连通(8-connected)关系。对像素点的八个邻点进行方向编码,从图像左上角到图像右下角逐行进行扫描跟踪,获得由点坐标组成的曲线向量并进行存贮。

### 2.3 平滑处理

利用数学形态学方法实施开闭运算对二值化图像细化处理获得的各物体骨架,存在局部区域凹凸变

化急剧的现象,直观表现为线条中的毛刺。如果对跟踪获取的曲线不进行平滑处理,必将影响到后续一系列的操作尤其是距离和斜率的计算,从而大大降低判别的准确度。选择线性插值的方法进行修剪去除毛刺,即一个点的坐标值由其前后各两个点的坐标的平均值求得,此种方法既提高了运算速度又能满足运算精度的要求。在平滑处理时,为了适合于后续处理阶段的计算,允许对像素点坐标值计算精确到子像素级,以提高各测量值的计算精度。

### 2.4 曲线分割判直线段

经过跟踪和平滑处理,得到了图像的最基本信息,可以进行进一步分析和识别。要找到符合跑道判断条件的直线段进行跑道配对,首先必须将图像中所含的直线段提取出来。从后文所给出的细化后的效果图可以看出,图像的结构信息中含有数段斜率不同的直线相连接构成曲线的情况,如果不经处理直接提取会丢失其中某些重要的信息。因此,在判直线段的过程中采用对跟踪获得的曲线进行分割后再判的策略,提取图像中所有满足直线特性的线段。文中以曲线所包含的像素点数目代表曲线的长度值,如果待处理的曲线其长度小于某阈值,说明其对后续处理过程没有影响,作为冗余线段清除,否则进行分割处理。如图 2 所示,对某一曲线 (Begin,End),经过起始点 Begin (x<sub>b</sub>,y<sub>b</sub>)和结束点 End(x<sub>e</sub>,y<sub>e</sub>),做虚拟直线 L,从曲线

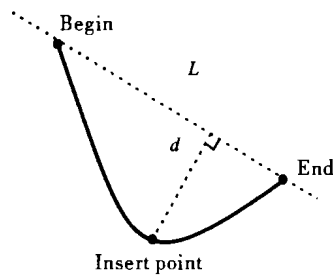


图 2 曲线分割示意图  
Fig.2 Curve splitting

中找出与直线 L 距离最大的点 Insertpoint 并记录此点与直线 L 的距离值 d。若 d 小于某阈值,则判曲线具有直线特性;否则以点 Insertpoint 为分割点进行曲线分割,并将分割所得两子线段 (Begin, Insertpoint)和 (Insertpoint, End)重复分割操作判直线段。

距离计算公式为:

$$d = \frac{|AX + BY + C|}{\sqrt{A^2 + B^2}}$$

式中  $A = y_b - y_e; B = x_b - x_e; C = x_e y_b - x_b y_e$ 。

经过曲线分割和直线判断处理,获得图像中所有满足条件的直线结构。

### 2.5 动态聚类分组

在经提取获得的直线段集合中直接寻找满足跑道条件的直线段进行配对是不可取的,因为需要穷举搜索俩俩配对的判别量是  $C_n^2$ , 这样会加大配对判别的复杂度,增加运算成本。跑道的基本结构特征之一是跑道对具有平行特性,因此首先对直线段集合进行分类,然后在各类中根据跑道的其他特性再进行判断识别。在平面上具有相同斜率的直线是平行的,可以通过对斜率的分类依据平行关系间接达到对直线段分类的目的。同时,由于跑道对不可能是绝对意义上的平行,因此若两直线段斜率差值满足某一条件,我们仍然认为它们符合平行关系。简单的分类方法是根据斜率预先设定区间,如果直线段的斜率满足某一区间条件,则将其归于此区间表示的类别。研究中发现,采用此种方法有可能使两条满足平行条件但是斜率位于两个区间临界点的直线段被分别归类。这样就会影响跑道对的判别,降低识别的准确率。

在模式识别领域,对这种没有类别标签的样本集进行分类采用的是非监督聚类。动态聚类是非监督聚类中普遍运用的一种方法,具有以下特点:

- (1) 选定某种距离度量作为样本间的相似性度量;
- (2) 确定某个评价聚类结果质量的准则函数;
- (3) 给定某个初始分类,利用迭代找出使准则函数取极值的最好聚类结果。通过计算各直线段的斜率获取分类样本,选定误差平方和作为相似性度量进行直线段的迭代动态聚类。方法如下:

(1) 计算各直线段的斜率作为表征直线段的分类样本,记为  $N_i$ ;

(2) 直线段经过初始划分成 C 个聚类,记第 i 个聚类  $\Gamma_i$  类直线段数目为  $n_i$ ;

1) 按照搜索的先后顺序,取  $N_1$  为聚类  $\Gamma_1$ ,此时  $\Gamma_1$  类的均值  $m_1 = N_1, n_1 = 1$ 。

2) 若  $|N_2 - m_1| \leq S$  (S 为初始分类阈值),则  $N_2 \in$

$\Gamma_1$ , 修改  $m_1$  及  $n_1$  的值:

$$m_1 = \frac{N_2 + n_1 m_1}{n_1 + 1} \quad n_1 = n_1 + 1 = 2$$

否则  $N_2$  为新的聚类  $\Gamma_2, m_2=N_2, n_2=1$ 。

3) 同理, 若  $|N_i - m_j| \leq S$ , 则  $N_i \in \Gamma_j$ , 修改  $m_j$  及  $n_j$  的值:

$$m_j = \frac{N_i + n_j m_j}{n_j + 1} \quad n_j = n_j + 1$$

否则  $N_i$  为新的聚类  $\Gamma_i, m_i=N_i, n_i=1$ 。

反复执行(3)直至所有直线段均已归类, 初始分类结束。

(3) 计算初始分类后的误差平方和准则  $J_e$ :

$$J_e = \sum_{i=1}^C \sum_{y \in \Gamma_i} \|y - m_i\|^2$$

式中  $y$  为  $\Gamma_i$  中各直线段。

(4) 重新聚类。

$J_e$  度量了用  $C$  个聚类中心  $m_1, m_2, \dots, m_C$  代表  $C$  个直线段子集  $\Gamma_1, \Gamma_2, \dots, \Gamma_C$  时所产生的总的误差平方。对于不同的聚类,  $J_e$  的值是不同的, 使  $J_e$  极小的聚类是误差平方和准则下的最优结果。采用迭代的方法寻找满足条件的极小  $J_e$ 。

- 1) 选择一个备选直线段  $y$ , 设  $y$  在  $\Gamma_i$  中。
- 2) 若  $n_i=1$ , 则执行 1), 否则继续。
- 3) 计算

$$\rho_j = \begin{cases} \frac{n_j}{n_j+1} \|y - m_j\|^2 & j \neq i \\ \frac{n_i}{n_i-1} \|y - m_i\|^2 & j = i \end{cases}$$

式中  $\rho_j$  表示直线段  $y$  从  $\Gamma_i$  移进  $\Gamma_j$  时对这两类误差平方和的影响, 且  $y$  的移动只影响这两类而对其他类无任何影响。

4) 对于所有的  $j$ , 若  $\rho_k \leq \rho_j$ , 则把  $y$  从  $\Gamma_i$  中移到  $\Gamma_k$  中去。

5) 重新计算  $m_i$  和  $m_k$  的值, 并修改  $J_e$ :

$$J_e' = J_e - \left( \frac{n_i}{n_i-1} \|y - m_i\|^2 - \frac{n_k}{n_k+1} \|y - m_k\|^2 \right)$$

6) 若连续迭代  $N$  次  $J_e$  不改变, 则停止, 否则执行 1)。

经过迭代动态聚类, 以斜率表征的各直线段已依据平行特性经由最小误差平方和准则被聚类分组, 后续的处理将针对每一组分别进行。

### 2.6 直线段修复

由于光照、目标本身的明暗不均等各种原因, 本来是直线的目标, 二值化以后可能会断成两条直线。细化不改变图像的连通性, 所以细化后的图像还会存在断点(使细线断开的点)。断点使本来连续的线段变得不连续了, 并且使得视觉上属于同一条直线的直线段在跟踪的过程中被分割, 这对后面的目标识别和理解影响很大, 有可能导致错误的判别结果。因此, 有必要在各组中寻找符合连接条件的直线段进行连线修复, 得到最终的能够参与跑道判断配对的直线段。

定义:

- (1) 两点  $p_1, p_2$  之间距离  $d$  为:  $d=d(p_1, p_2)$ ;
- (2) 两直线段  $L_1, L_2$  之间的垂直距离  $D_{LL}$  即其中一条直线段上每一点到另一直线段距离的平均值;
- (3) 直线段  $L_1$  具有端点  $p_1, p_2$ , 直线段  $L_2$  具有端点  $p_3, p_4$ , 则:  $D_{PP} = \min(x(d(p_1, p_3), d(p_1, p_4), d(p_2, p_3), d(p_2, p_4)))$ ;  $D_{PP}$  称为两直线段的直线距离。

经过动态聚类分组, 各组组内的直线段呈近似平行的关系, 但是由于动态聚类追求的是一个总体最优, 所以仍然存在组内某些直线段之间夹角过大从而明显出现延长相交的情况, 则此种情形下无修复必要; 对于满足夹角阈值条件的两直线段, 若  $D_{LL}$  大于某一阈值  $D_1$ , 说明两直线段不共线, 无连接修复必要; 若  $D_{PP}$  大于某一阈值  $D_2$ , 说明此两直线段不具有连续性, 则也无连接修复必要。故符合下列三个条件的直线段方可进行连接:

- (1) 两直线段夹角  $Angle(L_1, L_2) \leq 2^\circ$ ;
- (2)  $D_{LL} \leq D_1$ ;
- (3)  $D_{PP} \leq D_2$ 。

从运算成本和运算精度考虑, 把直线段八等分, 选择中间七点进行距离和的平均值计算获取  $D_{LL}$ 。

将此两直线段与它们的连接段合并为一条新的直线段重新放入本组中, 继续与本组其他直线段进行连接条件判断, 直至各组中再无连接修复必要的直线

段。至此得到能够最终进行跑道配对判断的直线段向量组。

### 2.7 跑道配对

定义:  $OverlapX$  为两直线段在  $X$  方向的重叠长度,  $OverlapY$  为两直线段在  $Y$  方向的重叠长度, 直线段  $L_1$  的两端点坐标为  $(x_{b1}, y_{b1}), (x_{e1}, y_{e1})$ ,  $L_2$  的两端点坐标  $(x_{b2}, y_{b2}), (x_{e2}, y_{e2})$ , 则重叠度  $Overlap$  为:

$Overlap = \max$

$$\left( \frac{OverlapX}{\min(|x_{b1} - x_{e1}|, |x_{b2} - x_{e2}|)}, \frac{OverlapY}{\min(|y_{b1} - y_{e1}|, |y_{b2} - y_{e2}|)} \right)$$

对于同一组中某两条直线段, 若  $L_1, L_2, L_1$  和  $L_2$  的垂直距离  $D_{LL}$  以及  $Overlap$  满足条件:

$$\begin{cases} L_1 \in [\text{minlength}, \text{maxlength}] \\ L_2 \in [\text{minlength}, \text{maxlength}] \\ D_{LL} \in [\text{minxwidth}, \text{maxwidth}] \\ Overlap \geq 0.5 \end{cases}$$

则判  $L_1, L_2$  为跑道对。其中  $[\text{minlength}, \text{maxlength}]$   $[\text{minxwidth}, \text{maxwidth}]$  为跑道的长宽参数。

依次在各组中找出符合条件的跑道对, 用特殊标志对它们进行标定, 完成机场的识别定位。

### 3 实验结果及分析

图 3 是某机场遥感图像原图。从图中可以看到有三组跑道, 其中一组有三条主辅跑道。图 4 为二值化和细化后的结果, 图像中的直线特征已经非常明显。在图 5 中经过曲线分割判直线段处理后, 图像中的大部分冗余线段已经被去掉。图 6 中, 经由聚类分组修

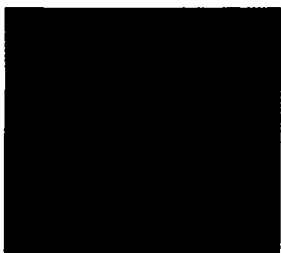


图 3 机场图像  
Fig.3 Image of an airport

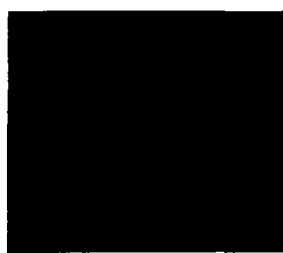


图 4 二值化及细化后图像  
Fig.4 Thresholded and thinned image



图 5 曲线分割后判直线结果  
Fig.5 Line segments after splitting

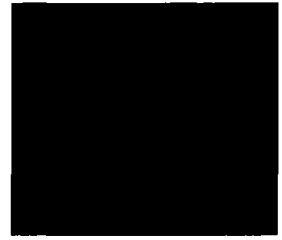


图 6 聚类分组修复后图像  
Fig.6 Line segments after clustering and connecting

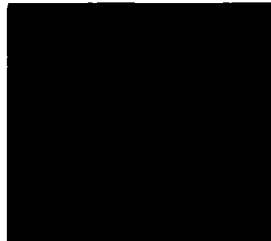


图 7 跑道配对结果  
Fig.7 Result of runways' matching

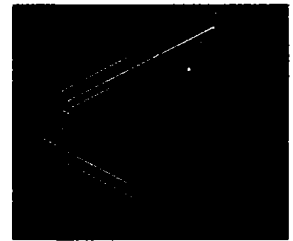


图 8 机场识别定位效果  
Fig.8 Localization of airport runway



图 9 另一个机场图像  
Fig.9 Image of another airport

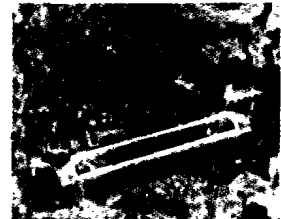


图 10 图 9 中跑道的识别定位效果  
Fig.10 Localization of runway in Fig.9

复处理, 由前面各步骤引起的跑道所在直线段断裂处已被连接, 使之能被正确配对。图 7 和图 8 是跑道配对及依据配对情况进行机场识别定位的效果。对于图 3 这种含有多跑道的大型机场, 并没有进行整体区域标注, 而是依然采取跑道配对的方法, 使其中的跑道信息更为一目了然。图 10 为另一幅机场遥感图像的识别效果图, 从定位结果可以看出, 对含有较大噪声干扰的遥感图像, 算法仍具有良好的稳健性。

### 4 结束语

利用含有机场的遥感图像, (下转第 332 页)

定,采用参考文献[2]中提出的方法得到融合图像的高频分量,视觉效果和实验数据表明本文方法得到的融合图像清晰度和对比度都较好,是一种可行有效的多传感器图像融合方法。

#### 参考文献:

- [1] 刘贵喜.多传感器图像融合方法研究[D].西安:西安电子科技大学,2001.
- [2] Li Hui,Manjunath B S,Mitra S K.Multi-sensor image fusion using

the wavelet transform[A].IEEE International Conference On Image Processing[C].1994,1.51-54.

- [3] Cambell F W,Robson J.Application of Fourier analysis to the visibility of gratings [J].Journal of Physiology,1968,197:551-556.
- [4] Li Shutao,Kwok J T,Wang Yaonan.Multifocus image fusion using artificial neural networks[J].Pattern Recognition Letters,2002,23(8):985-997.
- [5] 蒲恬,方庆喆,倪国强.基于对比度的多分辨图像融合[J].电子学报,2000,28(12):116-118.
- [6] 陶观群,李大鹏,陆光华.基于小波变换的不同融合规则的图像融合研究[J].红外与激光工程,2003,32(2):173-176.

(上接第 318 页)

基于结构特征采用直线段配对判别跑道的方法对机场进行识别定位。文中针对二值图像进行了算法处理,结合模式识别中的动态聚类方法,通过简单的运算,使识别算法具有高效性、应用性和稳健性,实验取得了令人满意的效果。本算法仅是针对遥感图像中机场这一特定类别目标的识别处理进行了讨论,以后我们将结合多源图像的数据融合,对类似的地物人工目标例如桥梁、港口、立交桥等的识别定位问题展开更为广泛深入的研究。

#### 参考文献:

- [1] Halem N.Contextual image understanding of airport photographs [A].SPIE[C].1981,1521-1532.
- [2] 叶斌,彭嘉雄.基于结构特征的军用机场识别与理解[J].华中科技大学学报,2001,29(3):39-42.
- [3] Huerlas A,Cole W,Nevatia R.Detecting runways in complex airport scenes[J].Computer Vision,Graphics and Image Processing,1990,51(2):107-145.
- [4] Huerlas A,Nevatia R.Detecting buildings in aerial images[J].Computer Vision,Graphics and Image Processing,1988,41(2):131-143.
- [5] Burns B,Hanson A,Risemon E.Extracting straight lines[J].IEEE Trans Pattern Analysis Machine Intelligence,1986,8(4):78-96.
- [6] Christian Daul,Pterre Graebbling,Ernest Hirsens.From the Hough transform to a new approach for the detection and approximation

of elliptical arcs[J].Computer Vision and Image Understanding,1998,72(3):215-236.

- [7] Stockman G,Agrawala A.Equivalence of Hough curve detection to template matching[J].Communication of ACM,1977,820-822.
- [8] Risse T.Hough transformation for line recognition:complexity of evidence accumulation and cluster detection[J].Computer Vision,Graphics and Image Processing,1989,46(3):327-345.
- [9] Bhattacharya P,Zhu W,Qian K. Shape recognition method using morphological hit-or-miss transform[J].Optical Engineering,1995,34(6):1728-1725.
- [10] Pal N R.On minimum cross-entropy thresholding[J].Pattern Recognition,1996,29(4):575-580.
- [11] 边肇祺,张长水,张学工.模式识别[M].北京:清华大学出版社,2001.
- [12] Geman D,Jedynak B.An active testing model for tracking roads in satellite images[J].IEEE Trans Pattern Analysis Machine Intelligence,1996,18(1):1-14.
- [13] Gerhard Roth.Extracting geometric primitives[J].CVGIP:Image Understanding,1993,58(1):1-22.
- [14] Barzohar M,Cooper D B. Automatic finding of main roads in aerial images by using geometric stochastic models and estimation[J].IEEE Trans Pattern Analysis Machine Intelligence,1996,18(7):707-721.
- [15] Michel A. Airport detection using a simple model,multi-source images and altimetric information[A]. SPIE[C].1998,2315.604-615.