

# 高分辨率遥感影像中操场跑道的自动提取

黄海涛,柯长青

(南京大学地理信息科学系,南京 210089)

**摘要:**提出一种高分辨率遥感影像中操场跑道的自动识别方法。在分析操场跑道结构特征的基础上,采用改进的 Hough 变换方法提取操场跑道圆弧形边缘;然后结合识别出的圆弧形结构信息识别与之相连的直线形边缘;最后对识别出的操场跑道进行细化和修剪处理,实现操场跑道的自动识别。

**关键词:**Hough 变换;完整度指数;操场跑道;自动提取;IKONOS

**中图分类号:**TP751 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-3177(2009)103-0019-04

## 1 引言

数十年来遥感影像的空间分辨率不断提高,如中巴资源卫星 02B 星空间分辨率 2.36m, IKONOS 空间分辨率 1m, Quick Bird 空间分辨率 0.61m。高分辨率遥感影像纹理信息丰富,为从纹理上识别地物提供了基础。

在日常生活和城市建设决策中,经常要了解一个地区的学校分布情况。例如,距离学校远近成为购房者考虑的因素之一;而在城市建设决策中,易燃、易爆、有污染的设施需要建在学校一定范围以外。如何获取学校分布信息,并对分布信息进行及时维护和更新,是必需也是值得探讨的问题。但学校的建筑与周围居民住宅并无本质区别,也无法从植被覆盖密度上区分学校与居民住宅,但操场跑道的存在是学校区别于居民住宅的重要地物标志。因此提取操场跑道是提取学校的关键,实现对操场跑道的定位也意味着完成对学校的定位,达到获取和更新学校分布信息的目的。

Hough 变换是 Hough 于 1962 年在图像特征检测领域提出的一种几何基元提取方法<sup>[1]</sup>。经过多年的发展,Hough 变换被广泛地应用于图像中特定几何形状的识别,如利用 Hough 变换提取最长直线配对跑道,实现机场跑道的提取<sup>[2]</sup>;结合建筑物目标特征,利用 Hough 变换提取出建筑物边缘以识别建筑物<sup>[3]</sup>;通过分析隧道入口特征,利用梯度方向信息的随机 Hough 变换 (GRHT) 进行直线检测,快

速、准确地检测直线<sup>[4]</sup>;在基于 Hough 变换的遥感影像直线检测的过程中引入粒度计算的概念,建立粒度计算概念下的直线检测算法,实现对不同长短、粗细直线的识别<sup>[5]</sup>。大部分研究者把 Hough 变换应用于直线提取<sup>[2~6]</sup>,而且 Hough 变换本身存在缺点:影像纹理信息越丰富,影像覆盖范围越大,变换之后的虚警率也会越高。本文在前人研究的基础上,分析操场跑道的结构信息,利用 Hough 变换提取圆弧形结构和直线结构,并且针对 Hough 变换中存在虚警的现象,引入完整度指数的概念有效地抑制虚警,从而提取出圆弧和直线;然后对提取结果进行形态学细化与修剪,实现操场跑道的提取。

## 2 操场跑道的判断识别

### 2.1 操场跑道结构分析

通过对遥感图像中操场跑道的分析以及实地检测,得到操场跑道的结构信息如下:

(1)标准跑道全长 400m,由两个平行的直道和两个半径相等的弯道组成;

(2)跑道弯道呈半圆形,最内圈半圆半径为 36m;

(3)跑道分为 8 个分道,每条分道宽 1.2m。

(4)两个弯道的圆心连线与直道的直线形边缘平行。

图 1 为本次的研究区(截取的南京理工大学内操场跑道的 IKONOS 影像,拍摄时间为 2000 年 3 月 26 日,全色波段分辨率为 1m),可以从中识别操场跑道的结构信息。

收稿日期:2008-09-09 修订日期:2009-09-28

基金项目:国家自然科学基金项目(J0630535)。

作者简介:黄海涛(1987~),男,江苏南通人,南京大学地理信息科学系本科生。

E-mail:huanghaitao218@163.com.

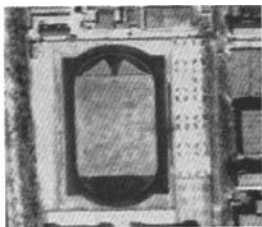


图1 IKONOS影像中的操场跑道

## 2.2 原始影像预处理

在操场跑道识别之前,需要对原始影像进行预处理。首先采用数学形态学方法对原影像进行滤波:利用开运算去除小的亮细节,利用闭运算去除小的暗细节<sup>[7~8]</sup>。利用数学形态学进行滤波的优点是在保持图像整体灰度值不变的情况下去除图像的噪声点。然后采用 Roberts 梯度算子进行高通滤波,检测图像的边界。分析高通滤波后得到的影像,发现影像直方图无明显的双峰现象,因而采用最大类间距法进行图像分割,得到包含边缘信息的二值图像。

## 2.3 圆弧形边缘提取

Hough 变换是图像处理中从图像中识别几何形状的基本方法之一。其基本原理在于利用点与线的对偶性,将原始图像空间中给定的曲线通过曲线表达形式变换为参数空间的一个点。这样就把原始图像中给定曲线的检测问题转化为寻找参数空间中的峰值问题。在使用 Hough 变换提取圆弧时,得到的标记都处于物体中心,不易与背景标记相连<sup>[9]</sup>。

假设原图像中存在半径为  $r$  的圆,在  $O-xy$  平面中其表达式为

$$(x-a)^2 + (y-b)^2 = r^2 \quad (1)$$

式中,  $a$ 、 $b$  为圆的圆心坐标。则在变换空间  $O-ab$  中存在点与原图像中的圆对应。同样对于变换空间的圆:

$$(a-x)^2 + (b-y)^2 = r^2 \quad (2)$$

在  $O-xy$  平面中也存在点  $(x,y)$  与之对应。所以在  $O-xy$  平面中的所有共圆点在变换域中会交于一点,该点的坐标值为共圆点的圆心坐标。因而可以通过在变换域中寻找峰值点来确定原图像中圆的圆心坐标。变换域相当于一个计数阵列,每条曲线所经过的各小格区域对应的计数阵列元素加 1。由操场跑道的结构信息可得出最外圈跑道的弯道半径约为 46m,即在检测中用 46m 作为圆的半径  $r$ 。

但 Hough 变换存在其缺点:当影像纹理信息丰富时,图像的虚警率会提高,变换域中的峰值点并非

对应于原图像中的圆或弧的圆心,而是纹理信息丰富的地区。这种丰富纹理造成的虚警严重影响圆、尤其是圆弧的提取。为了抑制虚警,提高圆弧的识别率,本文提出完整度指数的概念,定义完整度指数为:

$$k = m/n \quad (3)$$

式中,  $m$  为经过变换域中计数阵列元素的曲线数,  $n$  为变换域中点对应于原图像中的共圆点经过的连通区域数。  $m$  即为原来 Hough 变换中计数阵列元素值;而  $n$  越大表明变换域中点对应的原图像中共圆点的连通性越差,这些共圆点所在区域为纹理丰富地区,  $n$  越小表明变换域中点对应的原图像中共圆点的连通性越好,这些点在同一个圆或弧上的可能性更大。

图 2 为传统 Hough 变换结果,图 3 为引入完整度指数后 Hough 变换的结果:

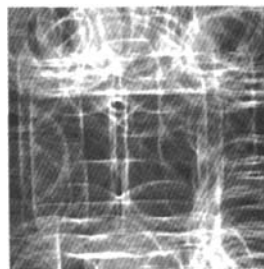


图2 传统 Hough 变换结果

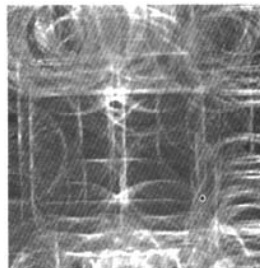


图3 引入完整度指数后 Hough 变换结果

从图 2、图 3 对比可以看出:图 2 中变换结果虚警率较高,大量纹理丰富地区在变换后的参数空间中形成峰值,影响了操场跑道中圆弧的提取。而在图 3 中,由于引入了完整度指数的概念,纹理丰富造成的虚警得到很好的抑制,而原图像中圆弧对应的变换结果仍保持较大值,通过分析引入完整度指数后 Hough 变换的表面图,可以发现图像中存在两个明显的峰值点,即操场跑道圆弧形边缘的圆心,从而证明了完整度指数的有效性。在此基础上设置阈值剔除变换域中数值较小的像元,获取变换域的峰值

信息,得到原图像中圆弧的圆心,根据圆心在原图像中提取出共圆点。

图4为根据变换域中峰值点提取出的圆弧与原图像的套合,可以看到提取的圆弧与跑道圆弧形边缘吻合,结果令人满意。

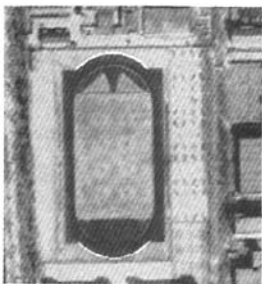


图4 提取出的圆弧与原图像套合

## 2.4 直线形边缘提取

### 2.4.1 Hough 变换检测直线

同样使用 Hough 变换提取直线形边缘:把直线上点的坐标变换到直线的系数域,利用原图像中点与变换域中直线的对应关系,把原图像中直线的提取问题转化为变换域中的计数问题,通过在变换域中寻找峰值获得原图像中直线的参数。

假设平面  $O-xy$  中的直线方程为

$$y=ax+b. \quad (4)$$

式中, $a$ 为直线斜率, $b$ 为直线截距。在给定的情况下,直线唯一确定。因而可以把直线变换到坐标平面  $O-ab$  中去, $O-ab$  中的一点唯一确定  $O-xy$  中的一条直线;同样  $O-xy$  中的一条直线也唯一确定  $O-ab$  中的一点,相应直线方程为:

$$b=-ax+y. \quad (5)$$

所有  $O-xy$  平面中共线的点对应的变换域中的直线相交于一点,该点的坐标值即为  $O-xy$  中直线斜率和截距。同样可以通过在变换域中寻找峰值点来检测原图像中直线。

实际运用中有可能出现直线斜率非常大的情况,这要求变换域的计数阵列足够大,以满足斜率增加的需求,计数阵列增加会导致运算速度减慢,降低算法性能。所以在实际运用中采用法线方程:

$$x\cos\theta+y\sin\theta=\rho. \quad (6)$$

式中, $\theta$ 是直线法线与  $x$  轴的夹角, $\rho$ 是坐标原点到直线的距离。

通过以上方法,利用共线和变换域中曲线相交的关系计数检测出图像中的直线,实现直线的提取。

### 2.4.2 操场跑道直线形边缘筛选与修复

在原图像中存在众多直线形边缘,所以需要选

取出属于操场跑道的直线形边缘。

从操场跑道的结构信息可知:操场跑道两个弯道圆心的连线与直道的直线形边缘平行,以此作为识别提取操场跑道直线形边缘的依据。设定以下准则提取所需直线形边缘:

(1)直线形边缘与弯道圆心连线夹角小于  $3^\circ$ ;

(2)直线形边缘与弯道圆心连线距离介于 40m 与 50m 之间。

利用 Hough 变换提取的直线若满足以上两点要求,则将它筛选出来,不满足则剔除。筛选之后可以减少干扰信息,提高识别准确率,加快运行速度。

由于光照、地物阴影影响或者物体本身明暗的差别,原本连通的直线在二值化处理以后变为两条或多条不连通的线段,需要将这些断开的线段再次连接为一条完整的直线。假设存在两条线段  $L_a$  和  $L_b$ ,  $L_a$  的两端点为  $Pa1$  和  $Pa2$ ,  $L_b$  的两端点为  $Pb1$  和  $Pb2$ ,当两线段满足以下条件时将两线段连接:

(1)两线段所在的直线间距小于阈值  $a$ ,此次  $a$  设为 1m,即一个像元宽度;

(2)两直线端点距离的最小值小于阈值  $b$ ,如式(7)所示:

$$\min(\text{Dis}(Pa1, Pa1), \text{Dis}(Pa1, Pb2), \text{Dis}(Pa2, Pb1), \text{Dis}(Pa2, Pb2)) < b \quad (7)$$

式中, $\min()$ 为求最小值的函数, $\text{Dis}()$ 为求两点距离的函数。本次  $b$  值设为 10m,即 10 个像元宽度。

通过以上的筛选和修复,可以把平行于两个弯道圆心连线的直线形边缘提取出来。

### 2.5 圆弧形边缘与直线形边缘的连接

从影像结构中分析可知,圆弧形边缘与直线形边缘之间还存在一条较短的线段,但由于线段较短,用 Hough 变换难以检测得到,因而需要将这条丢失的线段找回。

假设圆弧形边缘为  $arc$ ,  $arc$  的两端点分别为  $Parc1$  和  $Parc2$ ; Hough 变换检测出的直线形边缘为  $L$ ,  $L$  的两端点分别为  $Pl1$  和  $Pl2$ ; 另有一条待检测线段为  $Ld$ ,  $Ld$  的两端点分别为  $Pd1$  和  $Pd2$ 。要求满足式 8:

$$\min(\text{Dis}(Parc1, Pd1), \text{Dis}(Parc1, Pd2), \text{Dis}(Parc2, Pd1), \text{Dis}(Parc2, Pd2)) < m \quad (8)$$

$$\text{and} \quad \min(\text{Dis}(Pl1, Pd1), \text{Dis}(Pl1, Pd2), \text{Dis}(Pl2, Pd1), \text{Dis}(Pl2, Pd2)) < n$$

式中, $arc$  可以是提取出的任意圆弧形边缘,  $L$

可以是经过筛选与修复后的任意直线形边缘,  $m, n$  为预先设定的阈值, 本次取  $m, n$  均为  $3m$ , 即 3 个像素宽度。在线段满足以上条件时, 将这条线段提取出来, 完成圆弧形边缘与直线形边缘的连接。

图 5 为通过以上方法提取出的操场跑道轮廓。

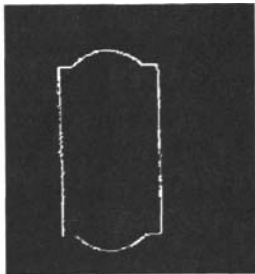


图 5 提取出的操场跑道轮廓

## 2.6 识别后处理

由于提取出的目标比较粗糙, 故需要对识别出的图像进行识别后处理。本次使用数学形态学方法进行细化 and 修剪。

数学形态学是以集合论作为基础, 用具有一定形态的结构元素去度量和提取图像中的对应形状以达到对图像分析和识别的目的。形态学基本运算包括腐蚀、膨胀、开运算、闭运算<sup>[10]</sup>。细化是通过设定结构元, 对图像进行形态学运算, 使处理图像中目标宽度为单像素; 在细化后图像可能会产生一些多余的分支, 修剪就是通过形态学运算将这些多余的分支剔除掉。

图 6 为经过细化、修剪处理后的图像。从图 5、

图 6 的对比中可以看到: 经过细化、修剪处理以后的图像保留了图像中目标的整体结构形状和具有连通性的骨架, 使图像中目标变为单像素宽度, 并且处理后图像去除了原图像中目标的细小分支。

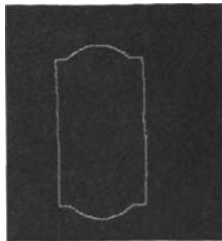


图 6 细化、修剪后的结果

## 3 结束语

本文在分析操场跑道结构特征的基础上, 利用改进的 Hough 变换, 提取操场跑道圆弧形边缘, 并用 Hough 变换提取操场跑道直线形边缘, 对提取结果进行直线选取与修复, 再在此基础上连接圆弧形边缘与直线形边缘, 最后对识别出的操场跑道进行细化 and 修剪处理, 实现操场跑道的自动识别。

针对传统 Hough 变换存在的缺点: 当将 Hough 变换应用于纹理复杂的地区时虚警率较高的现象, 本文使用完整度指数有效去除 Hough 变换中的虚警, 提高 Hough 变换的识别率, 并将其应用到高分辨率遥感影像中操场跑道的自动识别, 效果令人满意, 从而证明了这种方法的可行性。同样, 这种方法也可以推广到直线提取时虚警率较高的情况下, 提高直线识别率。

## 参考文献

- 1 Hough P V C. Method and means for recognizing complex patterns[P]. U. S. Patent;306954,1962-12-05.
- 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 侯蕾, 尹东, 尤晓建. 一种遥感图像中建筑物的自动提取方法[J]. 计算机仿真, 2006, 23(4): 184~187.
- 4 薛东升, 尹东. 高分辨率遥感图像隧道入口自动识别方法的研究[J]. 遥感技术与应用, 2005, 20(5): 243~248.
- 5 巫兆聪, 万茜婷, 梁静, 等. 粒度 Hough 变换及其在遥感影像直线检测中的应用[J]. 武汉大学学报, 2007, 32(10): 860~863.
- 6 李海月, 王宏琦, 陆见微, 等. 遥感图像中建筑物自动识别与标绘方法研究[J]. 电子测量技术, 2007, 3(2): 15~20.
- 7 翟辉琴. 基于数学形态学的遥感影像水域提取方法[J]. 测绘科学, 2006, 31(1): 22~24.
- 8 张莉, 贾永红, 程刚. 基于数学形态学的遥感影像边缘检测研究[J]. 地理空间信息, 2006, 4(4): 52~54.
- 9 丁家锐, 李中健, 安锦文, 等. 基于数学形态学的灰度图像连接物体分割方法[J]. 计算机测量与控制, 2007, 15(12): 1763~1765.
- 10 苏波. 基于形态梯度运算的遥感图像边缘检测[J]. 微计算机信息, 2007, 23(7): 309~340.

(下转第 29 页)

变化检测的精度,其检测结果更接近于实际变化情况。地管理部门即时掌握土地利用变化信息,实现土地资源的可持续利用提供了一种新的方法。

### 参考文献

- 1 佘袁勇. 基于遥感影像的变化检测研究[D]. 武汉大学, 2005.
- 2 尹作霞, 等. 面向对象的高光谱遥感影像分类方法研究[J]. 遥感信息, 2007(4): 29~32.
- 3 曹雪, 等. 基于对象级的高分辨率遥感影像分类研究[J]. 遥感信息, 2006(5): 27~30.
- 4 刘锋. 基于单时相遥感影像与 GIS 的土地利用变化检测方法研究[D]. 中国测绘科学研究院硕士学位论文, 2006.
- 5 张继贤, 程烨. 3S 技术支持的土地利用现状图更新[J]. 中国土地科学, 2002, 1(16): 20~25.
- 6 钱巧静, 等. 面向对象的土地覆盖信息提取方法研究[J]. 遥感技术与应用, 2005, 3(20): 338~342.
- 7 阳松, 等. 面向对象的模糊分类法在土地利用调查中的应用[J]. 科技情报开发与经济, 2007(3): 184~185.
- 8 Luca Gusella. Object-oriented image understanding and post-earthquake damage assessment for the 2003 Bam, Iran, earthquake[J]. Earthquake Spectra, 2005, S1(21): 225~238.
- 9 赵英时, 等. 遥感应用分析原理与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- 10 Maryna Rymasheuskaya. Land cover change detection in northern Belarus[A]. Proceedings, ScanGIS[C]. 2007.

## The Study on Land Use Change Detection Based on Object-oriented Analysis

HAN Shan-shan<sup>①,②</sup>, LI Hai-tao<sup>①</sup>, GU Hai-yan<sup>①,②</sup>

(<sup>①</sup> Chinese Academy of Surveying and Mapping, Beijing 100039;

<sup>②</sup> Liaoning Technical University, Fuxin 123000)

**Abstract:** Conventional map-to-map comparison method is used frequently to land use change detection from remote sensing data. Since only the spectral information is used in the process of classification, so its accuracy is low. This paper applies object-oriented image analysis to the change detection and can overcome the limitation stated above. Synthesizing spectral information, texture information, topological relation and thematic information, we get the classification object through multi-scale image segmentation techniques and then classify the image by selecting samples visually. In the study, it detects the land use change information of the test area during ten years through the method based on object-oriented analysis. The result is satisfying and can provide the foundation for sustainable development of land resource.

**Key words:** object-oriented; multi-resolution segmentation; classification; change detection

(上接第 22 页)

## Automatic Extraction of Playground Racetrack in High Resolution Remote Sensing Image

HUANG Hai-tao, KE Chang-qing

(Department of Geography Information Science, Nanjing University, Nanjing 210089)

**Abstract:** A method is proposed to extract the playground racetrack in high resolution remote sensing image automatically in this article. Based on the structure of playground racetrack an improved hough transform is firstly utilized to detect the arc-shaped edge of the target. Secondly, the straight-edge is identified according to the outcome of arc-shaped edge. Finally, the refinement and pruning is completed and the results are validated.

**Key words:** hough transform; integrity index; playground racetrack; automatic extraction; IKNOS