

## 基于上下文的机场目标识别方法\*

刘葱葱, 桑 农, 曹治国, 张天序

(华中科技大学 图像识别与人工智能研究所)

图像信息处理与智能控制教育部重点实验室, 湖北 武汉 430074)

**摘要:**提出了一种基于上下文的机场目标识别方法,将机场各组成部分间存在的依赖关系应用于识别技术中,以提高识别效率。根据机场目标具有明显的方向性这一特点,使用 Gabor 滤波器对输入图像进行滤波,将图像信息按不同尺度和方向分解至多个通道,获取相应的特征图,并利用 Radon 变换从特征图中提取线特征。通过分析组成机场目标的各线特征之间的相互关系,利用上下文信息,制定一系列判决准则,实现对机场目标的有效识别。

**关键词:** 机场识别; 上下文信息; Gabor 滤波器; 结构特征

**中图分类号:** TP391.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-2276(2004)01-0067-04

## Airport recognition based on contextual information\*

LIU En-en, SANG Nong, CAO Zhi-guo, ZHANG Tian-xu

(Institute for Pattern Recognition and Artificial Intelligence, Key Laboratory of Ministry of Education for Image Processing and Intelligent Control, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** An approach to incorporate contextual information into airport recognition was presented. It was helpful to reduce the ambiguity of objects in the images by utilizing other information referred to as context, which in our case was the identity of the accompanying objects. Airports were typical multi-component class of objects with obvious orientation. The original image was decomposed into multiple spatial frequencies and orientation selective channels by Gabor filters. Each channel corresponded to one feature image. Radon transform was adopted to extract line features from these feature images. According to the knowledge about the structural information of airports, a series of rules to determine the airport in the image were used.

**Keywords:** Airport recognition; Contextual information; Gabor filters; Structural features

收稿日期:2003-04-03; 修订日期:2003-06-28

\* 基金项目:国家自然科学基金重点资助项目(60135020)

作者简介:刘葱葱(1978-),女,湖北利川人,硕士生,研究方向为图像分析、图像识别等。

## 0 引言

自动目标识别(ATR)及其相关技术对航天、遥感、工业自动化、生物医学、智能机器人和智能计算机的发展具有深远的影响和推动作用。就遥感图像中地面目标的识别而言,由于各种地物都有其特定环境,目标与目标间、目标与背景间都具有内在关联。通常,一类目标的存在可以确定或排除其邻域中另一类目标出现的可能性。例如,造船厂不会设置在没有水域的地方;桥梁为跨越河道而连接两岸的建筑。另外,还有一些组合目标如机场,其跑道、滑行道、停机坪、指挥塔台等各个组合单元都是按一定的关系进行位置配置的。这样一些由周围环境所传递的信息,称为上下文信息。

国内外科研工作者已经在目标识别领域作了大量的科学研究。以机场目标的识别为例,根据机场跑道的几何、灰度特性,建立一般模型,并通过跑道模型检测机场存在与否<sup>[1]</sup>。利用边缘提取、直线段搜索、直线段拟合连接等方法则可对机场跑道进行自动识别<sup>[2]</sup>。参考文献[1,2]都详细讨论了如何通过跑道检测机场,但是没有对机场中可能存在的其他建筑物予以充分考虑。参考文献[3]对机场的整体结构作了较详细的分析,并通过图像分割、细化、断线修补等处理,提取几何特征,对机场进行理解和识别。然而,确定直线端点、进行断线修补都比较复杂,并具有一定难度。

通过对机场布局特性分析,详细介绍了利用上下文信息进行机场目标识别的方法。重点讨论识别准则的制定以及通过 Gabor 滤波获得特征图的方法。

## 1 机场布局特征分析

利用上下文信息进行目标识别,必须对欲识别目标的结构特征或者组合目标的分布特性有比较清楚的了解和认识。下面以机场为例,对目标的布局特征进行分析<sup>[1]</sup>。

图 1 是机场主要设施和建筑物分布示意图。跑道是机场中最重要的建筑物,长达 2~3 km,宽约 50~60 m。位于跑道一侧与跑道同长的土跑道可作为备用跑道,在跑道遭到破坏时,能保证飞机的正常起

降。跑道两头的端保险道主要是为了确保冲出跑道的飞机仍可安全地滑跑。根据不同的用途,停机坪分为:个体停机坪、集体停机坪、警戒停机坪、加油坪等。在跑道一侧有一条与跑道平行的滑行道,称为主滑行道。跑道、主滑行道与联络道一起构成类似于“目”或“日”字形的结构。

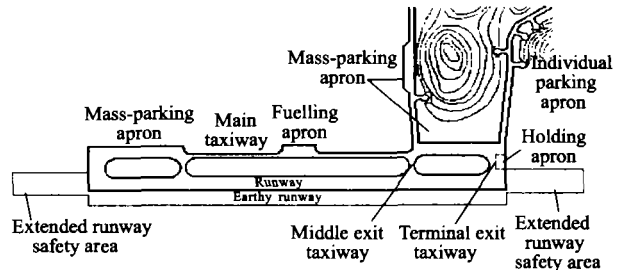


图 1 机场分布示意图

Fig. 1 Structural image of airport

图 2 是一幅典型的机场图像,由美国 IKONOS 侦察卫星拍摄。从图像可清楚地看到机场中的两条平行跑道——主跑道和主滑行道(由于主滑行道在紧急情况下也可作备用跑道,通常又称为辅助跑道)。两条跑道之间有 4 条联络道,与跑道垂直相交。另外还有滑行道(称为拖机道)通往停机坪等地。紧邻主滑行道分布有 3 个集体停机坪和一个加油坪;警戒停机坪位于两条端联络道处。另外,主滑行道的一侧还有两个较大的个体停机坪(群),如图中方框“1”和“2”所示。图 3 为“1”区的放大图像,包括数个近似圆形的机窝,每个机窝均可停放 1 或 2 架飞机。



图 2 典型机场图像

Fig. 2 Typical airport image



图 3 停机坪放大图像

Fig. 3 Magnified image of parking apron

通过分析机场的布局特性可知,两条平行跑道是机场中最明显的建筑物。因此,跑道的检测对于机场的识别非常重要,但平行直线并不是机场跑道所独有的特征。在图像中提取到平行的长直线,也并不能就此断定其为机场跑道。如果图像中平行直线之间还有若干条与其垂直的直线段,甚至还能检测到其附近

存在若干个分布有序的圆形物体(机窝群),则该图像中存在机场的可能性极大。反之,如果在平行直线附近没有检测到机场中可能出现的其他建筑物,则认为提取的平行直线会降低机场跑道的可能性。这就是利用上下文信息进行目标识别的基本思想。

## 2 基于上下文的目标识别方法

### 2.1 特征图的获取

#### (1) Gabor 滤波器

Gabor 滤波器可以将输入信号在不同尺度、不同方向上进行分解,从而提取具有方向和尺度信息的相关特征。二维 Gabor 滤波器是经有向复正弦函数调制的二维高斯函数,它由实部和虚部两部分组成。其中实部可表达为由有向余弦函数调制的二维高斯函数,称为实 Gabor 滤波器;而虚部为由有向正弦函数调制的二维高斯函数,称为虚 Gabor 滤波器。实 Gabor 滤波器的函数表达式为:

$$f(x, y, \sigma_x, \sigma_y, \omega_l, \theta_l) = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} \exp\left\{-\left(\frac{(x\cos\theta_l + y\sin\theta_l)^2}{2\sigma_x^2} + \frac{(-x\sin\theta_l + y\cos\theta_l)^2}{2\sigma_y^2}\right)\right\} \cdot \cos\{2\pi(\omega_l x \cos\theta_l + \omega_l y \sin\theta_l)\}$$

式中  $\sigma_x$  为水平方向上的空间尺度因子;  $\sigma_y$  为竖直方向上的空间尺度因子;  $\omega_l$  为滤波器的中心频率;  $\theta_l$  为滤波器的方位角。

#### (2) 计算特征图

因为机场目标具有明显的方向性,为了能够有效地提取图像中可能目标的特征,首先用 Gabor 滤波器对输入图像进行滤波。

滤波器的参数  $\sigma_x$ 、 $\sigma_y$  和  $\omega_l$  可以根据待识别目标的实际情况确定。如果目标的实际长、宽及大小范围已知,且具备图像分辨率等先验知识,则  $\sigma_x$ 、 $\sigma_y$ 、 $\omega_l$  比较容易确定(一组或多组);如果缺乏先验知识,则可根据需要确定多组参数备选。Gabor 滤波器的方位  $\theta_l$  可根据实际需要选取,例如,设定方位数为 8,则  $\theta_l$  取  $0, \frac{\pi}{8}, \frac{\pi}{4}, \frac{3\pi}{8}, \frac{\pi}{2}, \frac{5\pi}{8}, \frac{3\pi}{4}, \frac{7\pi}{8}$  等 8 个角度。

输入一幅图像,利用 Gabor 滤波器在多尺度、多方向上进行滤波,就可得到多幅特征图。例如,若滤波器选取两组  $\sigma_x$ 、 $\sigma_y$  和  $\omega_l$  参数(表示两个尺度),以及

8 个方位,则滤波可得 16 幅特征图。对于每幅特征图,原图中与对应滤波器方向、尺度一致的图像信息将得到增强,否则,信息将被抑制。这样的处理将有利于后续结构特征提取和最终的识别工作。

### 2.2 识别准则

准则 1:机场的两条跑道互相平行且长度近似相等;

准则 2:跑道与联络道(包括端联络道与中间联络道)互相垂直;

准则 3:跑道之间的联络道数目应该大于等于 2,即至少有两条端联络道存在,另外,联络道一般也不多于 10 条。

### 2.3 识别步骤

(1) 对每幅特征图分别进行 Radon 变换<sup>[5]</sup>,比较各图的投影峰值,选取最大的投影峰值所对应的特征图。根据该特征图的 Radon 变换结果,提取较长的两条直线作为候选跑道,计算跑道的置信度  $B_1 = R_1 R_2$ ,其中,  $R_1$  为两条直线的长度比(取小于 1 的值),  $R_2$  为表征两直线平行程度的值。设两条直线对应的角度分别为  $\theta_1$  和  $\theta_2$ ,若  $|\theta_1 - \theta_2| < 90^\circ$ ,则:  $R_2 = 1 - \frac{|\theta_1 - \theta_2|}{90^\circ}$ ; 若  $|\theta_1 - \theta_2| > 90^\circ$ ,则  $R_2 = 1 - \frac{180^\circ - |\theta_1 - \theta_2|}{90^\circ} = \frac{|\theta_1 - \theta_2|}{90^\circ} - 1$ 。由机场的结构特征可知,主、辅助跑道平行且长度近似相等,比值  $R_1$ 、 $R_2$  应该接近于 1。

由于利用 Gabor 滤波器得到的特征图本身具有方向信息,因此,对特征图作 Radon 变换时,投影的角度范围不必拘泥于  $0^\circ \sim 179^\circ$ 。例如,特征图对应方向  $\theta_l$  取  $0, \frac{\pi}{8}, \frac{\pi}{4}, \frac{3\pi}{8}, \frac{\pi}{2}, \frac{5\pi}{8}, \frac{3\pi}{4}, \frac{7\pi}{8}$  等 8 个角度,  $\Delta\theta = \frac{\pi}{8}$ ,则对特征图作 Radon 变换,可以根据其对应的  $\theta_l$ ,在区间  $\left[\theta_l - \frac{\Delta\theta}{2}, \theta_l + \frac{\Delta\theta}{2}\right]$  内进行投影。

(2) 根据步骤(1)选用的特征图可以确定用于检测联络道所需的特征图(两幅特征图所对应的方位角互相垂直。若 Gabor 滤波器有多个尺度,则此时对应有多幅特征图)。在已提取的两条候选跑道对应位置之间,利用 Radon 变换检测联络道,包括端联络道和中间联络道。

设检测到的候选联络道条数为  $n$ ,求联络道(数目)的置信度  $B_2$ :若  $n=0$  或  $n=1$ ,  $B_2=0.1$ ;若  $n=2$ ,  $B_2=0.8$ ;若  $3 \leq n \leq 10$ ,  $B_2=1$ ;若  $n > 10$ ,  $B_2=0.1$ 。

需要说明的是,此处 Radon 变换的角度范围也不必为  $0^\circ \sim 179^\circ$ 。依据准则 2,可以在与两条候选跑道近似垂直的方向上(例如,与其成  $90^\circ \pm 5^\circ$  的角度范围内)提取直线。

另外,为了确定联络道的数目,有必要对 Radon 变换提取出的各条直线进行考察,检验其是否有联络道的特征。对特征图作 Radon 变换时,每个投影值对应一个角度和坐标,并可确定直线的位置。设在两条候选跑道对应位置之间提取出  $m$  条直线,根据投影角度和坐标确定的位置,在原始图像中统计第  $i$  条直线在候选跑道区域内所有点的灰度,  $i=1,2,\dots,m$ , 记灰度中值为  $\mu_g$ 。继续搜索直线  $i$  在候选跑道所界定区域之外的延长线,判断其上各点的灰度值是否都在  $\mu_g \pm \Delta g$  的范围内。如果属于该范围,认为直线  $i$  不符合联络道的特征,视其为虚假联络道;反之,认为该直线符合联络道的特征(因为联络道上各点灰度分布均匀,且与周围场景灰度相差较大),这样即可确定候选联络道的数目  $n$ 。其中,  $\Delta g$  表示灰度偏差阈值。

(3) 由步骤(1)、(2)得到的结果计算机场的置信度  $B=B_1 B_2$ 。设  $B_0$  为机场置信度阈值,若  $B > B_0$ , 则判定从图中检测到的可能目标为机场;否则,认为该目标不是机场,返回步骤(1),选择投影峰值次大的特征图,重复前述步骤。如果遍历了所有特征图,均没有机场目标存在,则认为该图像中不存在机场目标,退出识别系统。

### 3 实验结果

输入的原图像如图 2 所示。选取一个尺度、8 个方位的实 Gabor 滤波器对原图进行滤波,得到的特征图如图 4(a)~(h)所示。为便于显示,此处各图均归一化至  $[0, 255]$ 。

对图 4 中的 8 幅特征图分别进行 Radon 变换,选取投影峰值最大的图(c),提取图中的直线特征。候选跑道如图 5 中直线所示。再根据候选跑道提供的位置和角度信息,检测可能的联络道,标记如图 6 所示。

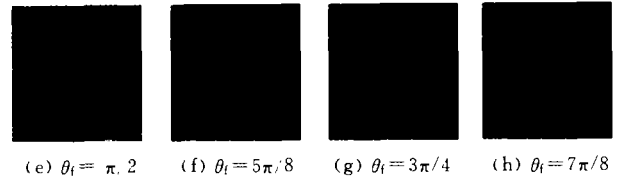
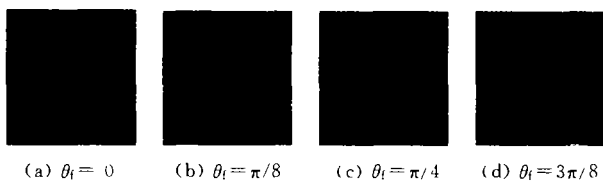


图 4 特征图

Fig. 4 Feature images

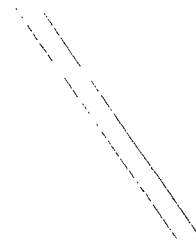


图 5 提取可能的跑道  
Fig. 5 Extracted candidates  
for runways



图 6 提取可能的联络道  
Fig. 6 Extracted candidates  
for exit taxiways

根据各识别准则,计算机场的置信度  $B$ ,从而可以判定输入图像中有机场目标存在。

### 4 总结

以机场为例,对欲识别目标的结构特征进行了详细地分析,并根据获得的结构和位置关系,制定了一系列判决准则,将上下文信息有效地应用于识别过程中。在介绍的识别方法中,输入图像首先需经过 Gabor 滤波器处理,得到对应于多个尺度、多个方向的特征图。对于机场等具有方向性的目标,由于使用 Gabor 滤波器,图像信息在不同尺度和方向上进行分解,有利于联络道等短小直线的提取(参见图 4(f)和(g)),从而便于用判决准则对目标进行识别。

### 参考文献:

- [1] 邓湘金,彭海良.一种基于遥感图像的机场检测方法[J].检测技术学报,2002,16(2):96-99.
- [2] 张会章,郭雷.一个机场跑道的自动识别系统[J].计算机工程,2001,27(12):77-78.
- [3] 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.
- [4] 姚祖康.机场规划与设计[M].上海:同济大学出版社,1994.
- [5] 伯晓晨,李涛,刘路,等. Matlab 工具箱应用指南——信息工程篇[M].北京:电子工业出版社,2000.143-147.