

# 基于视频图像处理的机场航空器冲突检测

夏正洪<sup>1</sup>, 吴岳洲<sup>2</sup>, 卢国盼<sup>1</sup>

1. 中国民用航空飞行学院空中交通管理学院, 德阳 618307

2. 四川大学计算机学院图形图像研究所, 成都 610064

**摘要** 针对场面监视雷达成本较高、不适用于流量较小的中小机场等问题, 采用多摄像机对机场场面航空器进行动态跟踪, 采用图像边缘检测和形态学处理方法对目标进行识别, 跟踪和提取航空器的飞行轨迹并分析其位置和速度参数, 提出了运动目标跟踪算法和基于DCPA和TCPA的滑行冲突检测模型, 开发了基于视频图像处理的机场航空器冲突检测原型系统, 并应用于西南某通航机场。实验表明, 视频图像处理技术和冲突检测模型可用于中小机场的航空器识别和冲突检测, 提高机场安全运行水平。

**关键词** 视频图像处理; 边缘检测; 冲突检测; DCPA; TCPA

**中图分类号** TP391, V355.1

**文献标志码** A

**doi** 10.3981/j.issn.1000-7857.2015.12.003

## The detection of aircraft conflicts based on video image processing

XIA Zhenghong<sup>1</sup>, WU Yuezhou<sup>2</sup>, LU Guopan<sup>1</sup>

1. School of Air Traffic Control, Civil Aviation Flight University of China, Deyang 618307, China

2. Institute of Graphic Image Processing, College of Computer Science, Sichuan University, Chengdu 610064, China

**Abstract** The ASR (aerodrome surveillance radar) can not be applied for a medium and small airport due to its high cost, and multi cameras might be used instead of the ASR to monitor the aircraft's movements there. By using the image edge detection and morphological image process approaches, the moving targets are recognized. And the tracks of aircraft are extracted, as well as their motion parameters. The moving target tracking algorithms and the conflict detecting model based on the DCPA (distance of closest point of approach) and the TCPA (time of closest point of approach) are proposed, and a prototype system is developed and applied in one General Aviation Airport for the conflict detecting, which shows that the aircraft conflict is effectively detected by this model and the video image process approach, and the safety and the efficiency of the airport ground operation are enhanced.

**Keywords** video image processing; edge detection; conflict detecting; DCPA; TCPA

随着民用航空运输需求的快速增长, 大中型机场的跑滑系统越来越复杂, 交叉口越来越多, 航空器之间滑行冲突发生的概率越来越大, 仅2014年国内外就发生了6起航空器滑行相撞和刮蹭事件<sup>[1]</sup>。繁忙机场通过建立场面监视雷达、ADS-B (automatic dependent surveillance-broadcast)、多点定位技术 (multilateration) 提高监控效率并降低机场碰撞风险, 但这些监视手段所需成本较高, 且存在监视盲区。而中小机场主要依靠目视观察, 通过及时管制干预避免飞机滑行冲突

和碰撞, 随着机场流量的快速增长, 机场场面飞机、车辆滑行路线设计日趋复杂, 单纯依靠目视观察已经不能满足场面内航空器之间的碰撞检测和规避需求。因此, 亟需研究能普遍适用于中小机场、并能作为大型机场备用的低成本监视手段和高效准确的冲突检测模型, 保障机场运行安全。

国外学者多采用多边形区域重叠检测进行研究, 计算航空器之间安全区域的距离, 当小于设定门限时触发告警<sup>[2-5]</sup>。2008年, 严国萍等<sup>[6]</sup>提出了基于LOG (Laplacian of Gaussian)

收稿日期: 2015-03-04; 修回日期: 2015-04-28

基金项目: 中国民用航空局科技项目 (MHRD20130213); 国家自然科学基金委员会与中国民用航空局联合项目 (U1433126)

作者简介: 夏正洪, 讲师, 研究方向为空管自动化的应用、计算机仿真, 电子信箱: 66949827@qq.com

引用格式: 夏正洪, 吴岳洲, 卢国盼. 基于视频图像处理的机场航空器冲突检测[J]. 科技导报, 2015, 33(12): 24-28.

算子的自适应图像边缘检测算法;陈世林等<sup>[7]</sup>将A\*轨迹预测算法联合全局Floyd预测算法对场面冲突实施探测。2010年,王俊骅等<sup>[8]</sup>采用背景消减法 and 基于区域特征的跟踪算法实现了视频图像中车辆运动目标的跟踪和提取。2011年,孙璟等<sup>[9]</sup>在视频图像分析与定位航空器跟踪技术的基础上,采用粒子滤波跟踪算法实现了航空器的监视,预防冲突发生。2012年,针对复杂场景罗光华<sup>[10]</sup>利用摄像机对视频图像中的目标进行实时跟踪;袁红照等<sup>[11]</sup>提出了多相机全景视频几何校正拼接方法。2014年,夏正洪等<sup>[12]</sup>基于场面监视雷达数据提取航空器的历史滑行轨迹,研究了机场场面滑行冲突热点识别方法;马琦等<sup>[13]</sup>提出了基于支持向量机的图像飞机目标自动识别算法。由于以上研究对象均为大型机场场面活动,其研究方法和成果对于基础设施不全的中小机场基本不适用。

本研究通过多摄像机对机场场面进行监视,基于视频图像处理技术对运动目标进行跟踪和识别,分析并提取航空器的滑行轨迹,提出基于最近相遇距离(DCPA)和最近相遇距离的时间(TCPA)的冲突检测模型,开发基于视频图像处理的航空器冲突检测原型系统,并运用于西南某通航训练机场的场面监视。

## 1 模型和算法研究

通过对高清摄像机的视频图像进行逐帧处理,包括去噪、滤波、图像增强、平滑处理等,利用颜色提取和边缘检测对目标进行跟踪、检测,根据物体的轮廓进行运动目标识别,跟踪并提取目标航空器轨迹,提取航空器位置、速度和加速度等重要位置参数,根据冲突检测模型完成机场滑行冲突探测。

### 1.1 基于图像处理的运动目标检测

基于图像的机场冲突识别,关键在于运动目标的跟踪、识别和轨迹的提取,本研究通过视频图像的颜色提取、滤波和平滑处理、边缘检测和形态学的图像处理、背景去除等方法进行运动目标识别;通过分析视频图像相邻帧之间的目标位置关系,获取目标的飞行轨迹参数,通过对轨迹的平滑处理即可获得运动目标的速度加速度信息,之后利用冲突检测模型和算法判断机场可能出现的冲突并进行告警提示。基于图像处理的运动目标检测流程,如图1所示。

视频图像的预处理为高斯滤波,旨在去除图像中的噪声,通过摄像机的位置标定和单应变换对运动目标的图像像素坐标和世界坐标进行转换;边缘检测模块中选取二阶拉普拉斯算子,采用循环方式对图像 $f(x,y)$ 求二阶倒数的零交叉点实现边缘检测。拉普拉斯算子的二阶偏导数为

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} = f(x,y+2) - 2f(x,y+1) + f(x,y) \quad (1)$$

$$\frac{\partial^2 f}{\partial^2 y} = f(x+1,y) - 2f(x,y) + f(x-1,y) \quad (2)$$

式中, $x,y$ 分别为图像像素位置坐标,由于拉普拉斯算子对离

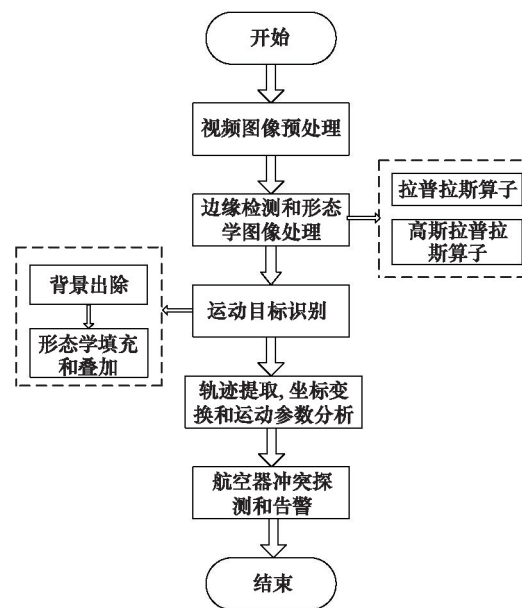


图1 基于图像处理的运动目标检测流程

Fig. 1 The flow chart of the moving target detection based on image processing

散点和噪声比较敏感,本研究首先对图像进行二维高斯 $G(x,y,\sigma)$ 降噪,然后采用LOG算子(对高斯函数求二阶导数 $\nabla^2 G(x,y,\sigma)$ )进行边缘检测。

$$G(x,y,\sigma) = \left( \frac{1}{2\pi\sigma^2} \right) \exp\left( -\frac{1}{2} \frac{x^2 + y^2}{\sigma^2} \right) \quad (3)$$

$$\nabla^2 G(x,y,\sigma) = k(2-A) \exp\left( -\frac{1}{2} \frac{x^2 + y^2}{\sigma^2} \right) \quad (4)$$

式中, $k$ 为比例因子, $\sigma$ 为高斯函数方差。针对边缘检测结果做形态学图像处理,针对边缘检测图像中的背景差异,选用包容性检测和形态学开运算与前景的叠加,最终可获得飞机目标,并标定其在图像帧中的位置。

### 1.2 运动目标跟踪算法

多摄像机视频目标跟踪的关键问题,是解决多摄像机间目标关联匹配问题,通过为每个摄像机进行独立的背景建模,进行基于Kalman的运动目标检测跟踪,然后基于全局单应时空约束模型实现相邻摄像机间的目标关联,实现对运动目标的跟踪。如图2所示,基于视频图像的目标识别结果,遍历运动目标的所有轨迹,根据目标以前的运动轨迹对运动目标在下一帧中的位置进行预测,然后以该预测位置为中心确定大小适当的搜索范围,从而提高搜索精度和速度。

### 1.3 运动目标速度和间距

通过对图像帧循环进行分析,求取相邻帧之间的目标位置即可得到运动目标的速度,运动目标间距等参数。

假设 $(x_i, y_i)$ 为在某帧图像中第 $i$ 个目标的地面坐标; $(x_j, y_j)$ 为在某帧图像中第 $j$ 个目标的地面坐标。则两目标在同一帧图像中的距离 $D_{ij}$ 为

$$D_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad (5)$$

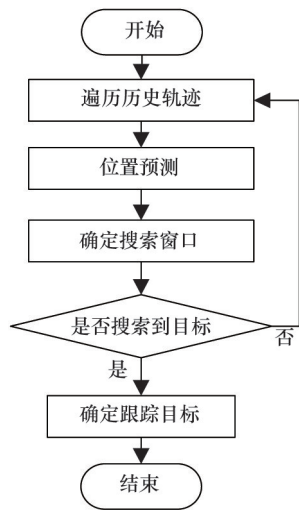


图2 运动目标跟踪算法

Fig. 2 Moving target track algorithm

航空器实时运动速度为

$$v_t = \sqrt{(x_t - x_{t+1})^2 + (y_t - y_{t+1})^2} / \Delta t \quad (6)$$

式中,  $v_t$  为第  $t$  帧时运动目标的瞬时运动速度;  $(x_t, y_t)$  为第  $t$  帧时运动目标的地面坐标;  $(x_{t+1}, y_{t+1})$  为第  $t+1$  帧时运动目标的地面坐标;  $\Delta t$  为视频文件相邻两帧之间的时间间隔。

#### 1.4 冲突检测模型

假设航空器  $i$  和  $j$  在某时刻的直线距离为  $D_{ij}$ , 两机之间的航向差为  $H_{ij}$ , 航空器目标  $i$  和  $j$  在某时刻的坐标分别为  $(x_i, y_i)$  和  $(x_j, y_j)$ , 速度分别为  $v_i$  和  $v_j$ , 滑行的航向为  $\theta_i$  和  $\theta_j$ , 以航空器  $j$  的位置坐标原点建立直角坐标系, 可计算以航空器  $j$  为参考点时,  $i$  相对于  $j$  的速度和航向为

$$\begin{cases} v_x = v_i \sin \theta_i + v_j \sin(\theta_j + \pi) \\ v_y = v_i \cos \theta_i + v_j \cos(\theta_j + \pi) \end{cases} \quad (7)$$

$$H_{ij} = \begin{cases} \arctan \frac{v_x}{v_y} & v_x \geq 0, v_y \geq 0 \\ 90 & v_x > 0, v_y = 0 \\ 180 + \arctan \frac{v_x}{v_y} & v_x < 0 \end{cases} \quad (8)$$

当  $0^\circ < H_{ij} < 180^\circ$ ,  $D_{ij}$  会随着两航空器到交叉口距离的减小而减小, 此时容易产生交叉冲突。当  $H_{ij} = 0^\circ$  时, 若前机  $i$  滑行速度大于后机  $j$  的滑行速度, 则两机距离  $D_{ij}$  会逐渐变大; 若后机  $j$  滑行速度小于前机  $i$  的滑行速度, 则两机距离  $D_{ij}$  会逐渐变小, 此时容易产生追尾冲突。当  $H_{ij} = 180^\circ$ , 航空器  $i$  和  $j$  在同一滑行路段上相向滑行, 距离  $D_{ij}$  迅速减小, 可能会产生对头冲突。

航空器  $i$ 、 $j$  最近相遇距离  $DCPA$  为

$$DCPA = |D_{ij} \sin(\theta_i - \theta_j)| \quad (9)$$

航空器  $i$  到达最近相遇距离的时间  $TCPA$  为

$$TCPA = \frac{D_{ij} \cos(\theta_i - \theta_j)}{\sqrt{v_x^2 - v_y^2}} \quad (10)$$

根据航空器冲突分类可知, 当  $DCPA = 0$  且  $TCPA \geq 0$  时, 表明航空器  $i$  和  $j$  在未来的  $TCPA$  时刻会相遇, 且会造成严重的碰撞冲突; 当  $DCPA > 0$  且  $TCPA \geq 0$  时, 表明航空器  $i$  和  $j$  在  $TCPA$  后存在一个最近相遇距离, 可以根据航空器  $i$  和  $j$  之间的最短相遇距离  $DCPA$  是否小于最小安全间隔, 作为判断航空器之间是否存在碰撞冲突的基准。根据《中国民用航空飞行规则》, 航空器滑行过程中至少保持 50 m 以上的滑行间隔。因此, 当  $DCPA \leq 50$  m 时, 可根据两机相遇时间  $TCPA$  判断飞机是否在安全滑行时间内会发生场面冲突。

## 2 实例分析

本研究利用成本低廉的多摄像头技术对西南某通航训练机场场面(飞行区等级 4C)进行监控, 跑道规格为 2200 m × 30 m, 跑道号 13/31(其中 13 号跑道为主要起降方向), 与跑道连接的交叉道口 A 和 B 用于航空器进跑道起飞, 而落地的航空器滑行距离较短, 主要从交叉道口 C 脱离。因此, 本研究使用 3 个三星网络枪式高清摄像机(SNB-6004P, 镜头 8 mm)对机场场面运动进行视频监控。根据机场的运行规则, 交叉道口 A 和 B 均可能存在起降航空器的交叉冲突, 分别由摄像机 1 和 2 进行重点监控; 交叉道口 C 可能出现落地航空器的追尾冲突, 使用摄像机 3 进行监控。同时, 为方便进行摄像机的标定以及世界坐标到图像坐标的转换, 以 13 号跑道的接地地点作为坐标原点建立直角坐标系, 并以 13 号跑道方向作为直角坐标的  $x$  正方向, 而从磁北方向顺时针转动到垂直于跑道的方向为  $y$  正方向。3 路摄像机的视角范围如图 3 所示。

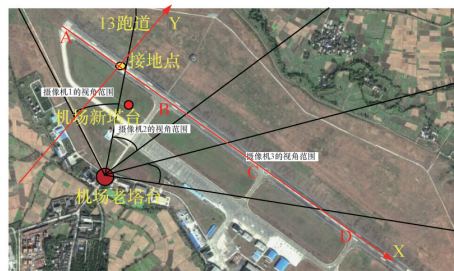


图3 机场平面坐标和摄像头安装位置

Fig. 3 The positions of cameras and airport coordinates

### 2.1 目标识别

本研究通过对视频图像图 4(a) 进行高斯滤波和二值化预处理, 针对常用的一阶边缘检测算子抗干扰能力差、易受噪声影响等缺点, 分别选取二阶拉普拉斯算子对滤波和二值化处理后的图像进行边缘检测, 所得结果如图 4(b) 所示。由于拉普拉斯算子通过对图像的微分进行边缘检测, 所以在图 4(b) 中出现一些离散点和噪声; 于是, 又对图像进行高斯卷积滤波降噪, 再采用拉普拉斯算子进行边缘检测, 结果如图 4(c) 所示。针对边缘检测结果对比度较差的缺陷采用了形态学的腐蚀膨胀以及开运算, 得到的结果如图 4(d) 所示, 并对其进行了包络检测去除背景如图 4(e), 最后通过与前景的叠加可得目标识别结果如图 4(f) 中红色标记所示。

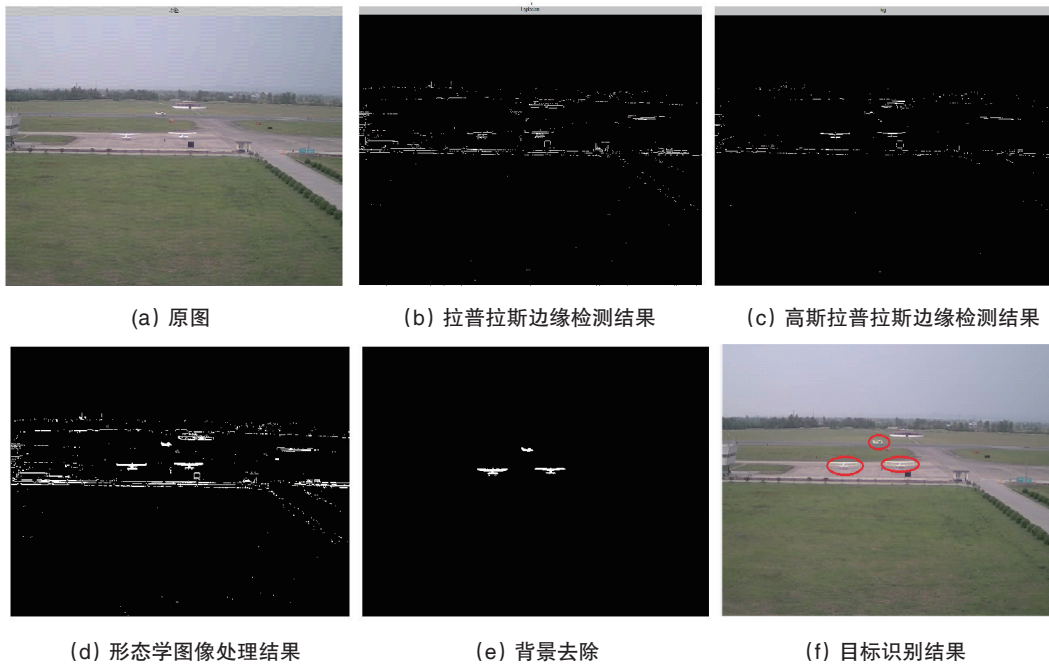


图4 目标识别过程和结果

Fig. 4 Process and results of object recognition

### 2.2 目标跟踪

根据本研究提出的目标跟踪算法分别对每个通道的摄像机视频进行背景建模和目标跟踪,单摄像机的跟踪结果直接影响到后续多摄像机间目标匹配、目标交接的准确性,是多摄像机跟踪的基础和关键。

当航空器做落地连续训练(落地之后不做全停,而是加速滑跑并离地)时会经过3路摄像机,所记录的跟踪结果分别如图5所示,之后基于全局的单应变换将每个通道的跟踪轨迹映射到一个全局坐标系,并选择二维卫星纹理图作为全局约束坐标系,如图6所示。



图5 单摄像机目标跟踪结果

Fig. 5 Target tracking results of single camera

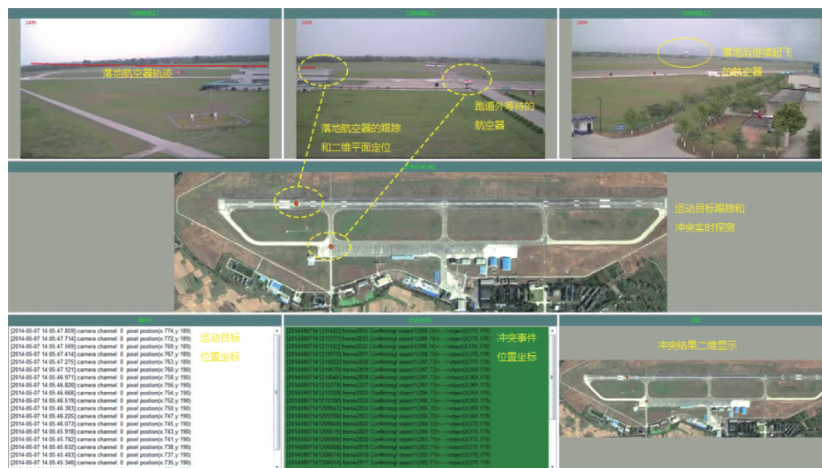


图6 基于视频图像处理的航空器滑行冲突检测原型系统

Fig. 6 Aircraft taxi conflict detecting prototpye system based on multi cameras

### 2.3 冲突检测

在冲突检测流程和算法的基础上,开发了基于视频图像处理航空器滑行冲突检测原型系统,系统自动读取并显示3路摄像机所获得的视频图像,通过位置标定将图像进行关联和定位,基于图像的边缘检测和形态学处理等手段对机场的起降航空器进行有效地识别,通过分析相邻图像帧之间的目标位置关系获取航空器的轨迹和重要的位置和速度参数。如图6所示,落地航空器*i*正在做落地连续训练,在此过程中航空器的运动轨迹将被3路摄像机所记录下来,而跑道外等待起飞训练的航空器*j*启动(飞机静止的时候,系统是无法检测到目标的),此时系统通过视频处理技术自动识别并跟踪该目标,发现航空器*i*与*j*有交叉运动趋势,此时两机之间的航向差 $H_{ij}=90^\circ$ ,且距离间隔越来越小,冲突的可能性越来越大;当两机的最近相遇距离 $DCPA < 50$  m时,满足滑行冲突检测模型的约束条件,系统将自动产生黄色告警,定位航空器的冲突位置并给出冲突信息,提醒管制员密切监控这两架可能存在冲突的航空器,极大地提高了机场的安全运行水平。图6中上面的3个窗口显示3路摄像机的视频图像和目标跟踪结果以及轨迹,中间的窗口是运动目标的二维位置显示,左下角的窗口为运动目标的位置坐标,下侧中间窗口是冲突事件的详细信息,右下角窗口定位航空器冲突位置。

### 3 结论

采用成本低廉的多摄像机,实现了对中小机场场面活动的监视和航空器滑行的冲突检测。通过对视频图像的滤波、边缘检测和形态学的图像处理,完成对机场运动目标的识别、跟踪并获取目标的飞行轨迹参数。提出了基于DCPA和TCPA的航空器冲突检测模型,开发了基于视频图像处理的航空器滑行冲突检测原型系统并成功应用于西南某机场。结果证明,成本低廉的多摄像机可用于中小机场的场面运行监视,提高机场运行效率,保障机场运行安全。

#### 参考文献(References)

- [1] 夏正洪,潘卫军,康瑞,等. 机场冲突热点识别与等级划设方法研究[J]. 科学技术与工程, 2014, 14(21): 317-321.  
Xia Zhenghong, Pan Weijun, Kang Rui, et al. Research on the identification and level ranking approaches of airport conflict hotspots[J]. Science Technology and Engineering, 2014, 14(21): 317-321.
- [2] Kim Y S, Lee J H, Ra J B. Multi-sensor image registration based on intensity and edge orientation information[J]. Pattern Recognition, 2008, 41(11): 3356-3365.
- [3] Besada J A, Garcia J, Portillo J, et al. Airport surface surveillance based on video images[J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 2005, 41(3): 1075-1082.
- [4] Lareshyn A, Ardoe H. Automated video analysis as a tool for analysing road user behaviour[C]. ITS World Congress, London UK, October 8-12, 2006.
- [5] Jones D R, Prinzel L J, Shelton K J. Collision avoidance for airport traffic simulation evaluation[C]. Digital Avionics Systems Conference,

Salt Lake City, USA, October 3-7, 2010.

- [6] 严国萍,戴若愚,潘晴,等. 基于LOG算子的自适应图像边缘检测方法[J]. 华中科技大学学报:自然科学版, 2008, 36(3): 85-87.  
Yan Guoping, Dai Ruoyu, Pan Qing, et al. Adaptive approach to image edge detection by Laplacian of Gaussian operator[J]. Journal of Huazhong University of Science & Technology: Natural Science Edition, 2008, 36(3): 85-87.
- [7] 陈世林,胡明华,张洪海. SMS中基于冲突探测的滑行道轨迹预测算法研究[J]. 四川大学学报:自然科学版, 2008, 45(6): 1357-1361.  
Chen Shilin, Hu Minghua, Zhang Honghai. Research on taxi trajectory prediction based on conflict detection in surface management system[J]. Journal of Sichuan University: Natural Science Edition, 2008, 45(6): 1357-1361.
- [8] 王俊骅,张方方,张兰芳. 基于OpenCV和Halcon的交通冲突视频自动检测及数据处理[J]. 同济大学学报:自然科学版, 2010, 38(2): 238-244.  
Wang Junhua, Zhang Fangfang, Zhang Lanfang. Halcon and OpenCV based traffic automatic conflicting detecting method and data transaction [J]. Journal of Tongji University: Natural Science Edition, 2010, 38(2): 238-244.
- [9] 孙瑾,顾宏斌,侯建波. 基于梯度方向二值模式特征的飞机翼尖跟踪技术[J]. 航空学报, 2011, 32(11): 2062-2072.  
Sun Jing, Gu Hongbin, Hou Jianbo. Aircraft wingtip tracking algorithm based on oriented gradient local binary pattern[J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2011, 32(11): 2062-2072.
- [10] 罗光华. 视频监控中运动目标检测与跟踪方法研究[D]. 泉州: 华侨大学, 2012.  
Luo Guanghua. A research in video based motion object detecting and tracking[D]. Quanzhou: Huaqiao University, 2012.
- [11] 袁红照,李晓峰,吴岳洲,等. 全景视频摄像机的非参数化几何校正与拼接[J]. 光电子·激光, 2012, 23(4): 762-767.  
Yuan Hongzhao, Li Xiaofeng, Wu Yuezhou, et al. Non-parametric geometric correction and mosaic of panorama camera[J]. Journal of Optoelectronics. Laser, 2012, 23(4): 762-767.
- [12] 马崎,马蔚鹏,刘彦,等. 基于支持向量机的图像飞机目标自动识别算法研究[J]. 计算机测量与控制, 2014, 22(9): 2851-2889.  
Ma Qi, Ma Weipeng, Liu Yan, et al. Research on automatic identification of aircraft target in images based on support vector machines[J]. Computer Measurement & Control, 2014, 22(9): 2851-2889.

(编辑 陈华姣)

#### 《科技导报》征集“封面文章”

为快速反映中国最新科技研究成果,《科技导报》拟利用刊物最显著位置——封面将最新科研成果第一时间予以突出报道。来稿要求:研究成果具创新性或新颖性;反映该领域中国乃至世界前沿研究水平;可以图片形式予以反映,图片美观、清晰、分辨率超过300dpi;文章篇幅不限,要说明研究的背景、方法、取得的结果,以及结论。在线投稿:www.kjdb.org。