

基于 OpenCV 的机场跑道异物检测系统设计与研究

李俊锋¹, 牛合利²

(1. 郑州大学 软件技术学院, 郑州 450002; 2. 河南艺术职业学院, 郑州 450001)

摘要: 机场跑道的异物对飞机起降过程的安全带来非常大的威胁, 所以机场跑道的异物精确检测已经成为保障飞机飞行安全一个非常重大的问题。文章主要从软硬件两个部分来研究了机场跑道异物检测系统, 主要包括了机场道路监控中心和应急中心两个服务平台, 重点分析了采用 Camshift 目标跟踪算法并应用在系统中, 从而实现了监控系统前景目标识别和多目标跟踪两大功能; 最后在 Windows 系统下做了测试实验, 以 VS2008 为实验环境, 采用 OpenCV 函数库开发一款机场跑道异物监控系统; 通过实验结果的分析, 该软件系统可靠性高, 运行稳定, 满足了识别精确度高和跟踪实时可靠的要求, 显示系统具有较高的检测精确度。机场跑道异物检测系统设计度, 为机场跑道放入入侵监测系统更深入的理论和进一步的实际应用提供了方便。

关键词: 机场跑道异物; 目标跟踪; OpenCV; Camshift 算子; 监控系统

Design and Research of Airport Runway Foreign Body Detection System Based on OpenCV

Li Junfeng¹, Niu Heli²

(1. School of Software Technology, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China;

2. Henan Vocational College of the Arts, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: the foreign body of the runway for aircraft taking off and landing process safety brings the very big threat, so the accurate detection of foreign bodies in the airport runway has become ensure flight safety is a very important problem. This article mainly from the two parts of hardware and software of the airfield runway foreign body detection system, including the airport road monitoring center and the emergency center two service platform, focuses on the analysis of the Camshift target tracking algorithm and the application in the system, so as to realize the prospect target recognition system and multi target tracking two functions. At the end of the test in the windows system, the VS2008 environment, using OpenCV function library to develop a foreign object debris monitoring system, test shows that the system has high detection accuracy.

Keywords: airfield runway foreign body; target tracking; OpenCV; camshift operator; monitoring system

0 引言

机场跑道异物主要是出现在机场运行区域可能对机场造成损失或者导致飞行器发生损坏的外来物体。机场跑道的异物可以是动植物, 以及任何人工物件。机场跑道异物对飞机飞行具有非常大的威胁, 一个非常小的物体一旦被飞行器吸入了发动机就可能引起发动机的叶片损坏从而导致发动机停止运行。机场跑道异物入侵事件发生频繁, 由于 FOD 出现的情况难以预估, 所以很难确认其损害飞行器是在起飞还是降落或者空中飞行的哪个阶段, 因此很多情况都无法预知 FOD 所带来损伤。

目前毫米波雷达, 红外灯等都是机场跑道异物检测系统中的主流传感器, 不同的传感器都有不同的特点, 可以适合不同的机场场合。国内机场跑道外来物检测主要以人工检测为主, 工作人员每天必须在关闭机场和步行的情况下进行多次跑道检测, 这样不仅影响了航班效率, 而且准确率也不高。所以文章主要从软硬件两个部分来研究了机场跑道异物检测系统, 主要包括了机场道路监控中心和应急中心两个服务平台, 重点分析了采用 Camshift 目标跟踪算法并应用在系统中, 从而实现了

监控系统前景目标识别和多目标跟踪两大功能。最后在 Windows 系统下做了测试实验, 实验环境采用 VS2008, 采用 OpenCV 函数库开发一款机场跑道异物监控系统, 测试显示系统具有较高的检测精确度。

1 系统的设计方案

FOD 探测系统主要采用雷达探测技术与视频图像识别技术相结合来检测 FOD。赛英公司的研发也遵循这一思路。目前较为典型的产品有英国 Qinetiq 公司的 Tarsier 系统、以色列的 Xsight 公司的 FODetect 系统、美国 Trex Enterprises 公司的 FODFinder 系统和新加坡 Stratechsystems 公司的 iFerret 系统。

本文系统硬件设计思路参照新加坡研制的 iFerret 系统。机场跑道异物检测系统使用摄像机采集跑道图像, 由于跑道的范围很广, 系统要采用可控云台控制摄像机转动, 使每个摄像机都可以监控较长的跑道区域。由于单个摄像机无法完成对整个跑道的全范围监控, 因此系统使用摄像机组, 系统在跑道边每间隔一段距离架射一套摄像装置, 形成摄像机阵列, 实现对整个跑道的全范围监控。

本监控系统主要包括了高清长焦透雾激光夜视仪、自动变焦热成像仪、塔架等显控设备: 高清数字信号显示器、高清专用监控器或高清大屏 LED、工业级电脑服务器、PC 机、工业级高清数字硬盘录相机、带轨迹球三维操作键盘等。系统主

收稿日期: 2014-04-15; 修回日期: 2014-05-17。

作者简介: 李俊锋(1979-), 男, 河南郑州人, 硕士, 讲师, 主要从事软件工程及信息安全方向的研究。

要的部分通过有线网络进行数据交换。

首先云监控塔上的摄像机获取机场跑道实时图像, 图像信息通过数据线传输到监控中心, 监控中心通过图像处理模块对外来物 (FOD) 进行识别, 并对运动物体实现跟踪; 最后, 在接到监测系统发出的外来物警报时, 监控中心工作人员迅速查看视频确定入侵目标和目标位置, 确定之后, 再通知应急中心, 由应急中心派机务人员进行清理。

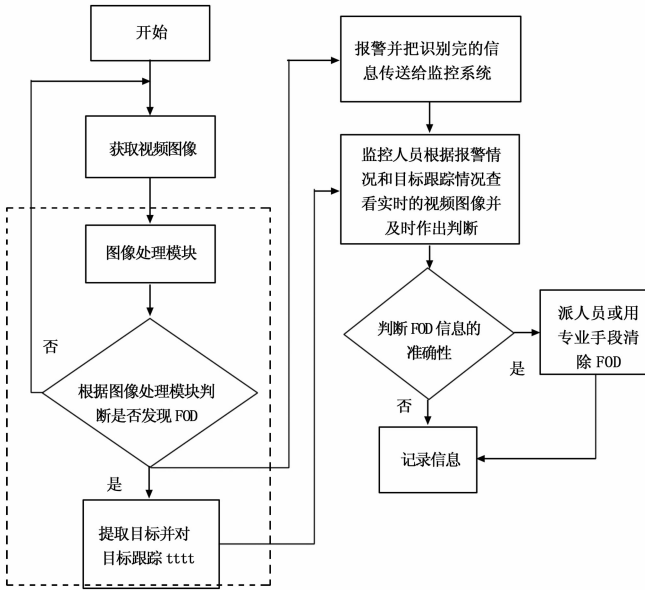


图 1 系统监测系统工作流程

2 系统异物识别模块设计

机场跑道的外来物可以分为运动物体和静止物体, 外来物目标识别是整个防入侵系统的关键, 也是更高层次视频分析, 如基于对象的视频编码、目标跟踪、运动分析的基础。目前, 目标识别主要有背景差分法、帧间差分法, 光流法, 运动能量检测法等^[4], 后两种算法比较复杂, 本文主要分析前两种方法。其中, 背景差分法在背景较为稳定的情况下, 能够较完整地提取目标点, 且检测效果好。但对于背景变化的场景, 例如背景的抖动、光照、背景中新物体的加入等情况比较敏感, 检测结果的准确性会降低。帧间差分法对背景或者光线的缓慢变化不敏感, 对动态环境有很强的适应性; 但是在检测结果中, 目标图像容易产生拉长或空洞现象, 所以这样提取的目标信息并不准确。在 OpenCV 中, 用函数 cvAbsDiff () 计算两帧图像之间的绝对差图像。

机场跑道摄像头是固定安装, 因此其背景固定, 显然背景差分法更加适用, 但其对于光线变化敏感, 所以此文提出在自动阈值分割的基础上采用背景差分法与三帧法结合的方法来消除光线变化的影响, 流程图如图 2 所示。

2.1 自适应阈值分割算法

阈值分割技术因其实现简单、计算量小、性能较稳定而成为图像分割中最基本和应用最广泛的分割技术, 已被应用于很多的领域, 在很多图像处理系统中都是必不可少的一个环节。阈值分割图像的基本原理描述如下: 利用图像中要提取的目标物与其背景在灰度特性上的差异, 把图像视为具有不同灰度级的两类区域 (目标和背景) 的组合, 选取一个合适的阈值, 以确定图像中每个像素点应该属于目标区域还是背景区域, 从而

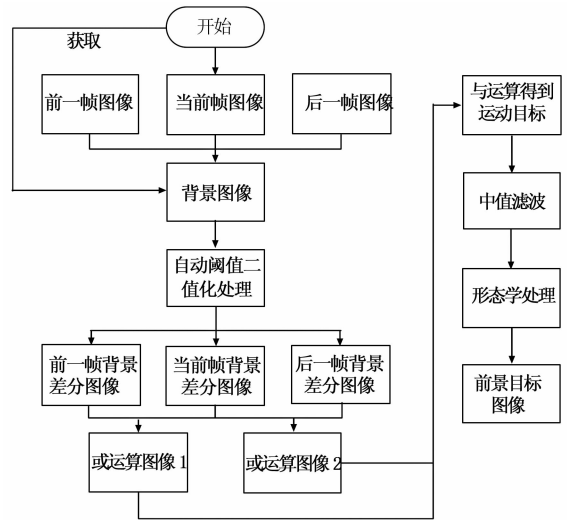


图 2 目标识别模块流程

产生对应的二值图像。

$$即: B(i, j) = \begin{cases} 0 & I(x, y) < T. \\ 1 & I(x, y) \geq T. \end{cases}$$

本文提出用变化的自动阈值来消除背景变化的影响。由于天气变化引起的是整体图像灰度值的变化, 相当于是把图像的整体像素度平移了一个数值, 而阈值也是平移了一个同样的数值。自动阈值化是把图像所有的像素分为两组, 对两组像素的组内方差求最小来确定阈值, 从而做到对差分图像进行二值化处理^[6]。

最大类间方差法又称为 OTSU 算法, 该算法是在灰度直方图的基础上用最小二乘法原理推导出来的, 具有统计意义上的最佳分割阈值。它的基本原理是以最佳阈值将图像的灰度直方图分割成两部分, 使两部分的方差取最大值, 即分离性最大。

设 X 是一幅具有 L 级灰度级的图像, 其中第 i 级像素为 N_i 个, 其中 i 的值在 0~L-1 之间, 图像的总像素点个数为:

$$N = \sum_{i=0}^{L-1} N_i$$

第 i 级出现的概率为:

$$P_i = \frac{N_i}{N}$$

在 OTSU 算法中, 以阈值 k 将所有的像素分为目标 C₀ 和背景 C₁ 两类。其中, C₀ 类的像素灰度级为 0~k-1, C₁ 类的像素灰度级为 k~L-1。

图像的总平均灰度级为:

$$\mu = \sum_{i=0}^{L-1} iP_i$$

C₀ 类像素所占面积的比例为:

$$\omega_0 = \sum_{i=0}^{k-1} P_i$$

C₁ 类像素所占面积的比例为:

$$\omega_1 = 1 - \omega_0$$

C₀ 类像素的平均灰度为:

$$\mu_0(k) = \mu_0(k) / \omega_0$$

C₁ 类像素的平均灰度为:

$$\mu_1(k) = \mu_1(k) / \omega_1$$

其中:

$$\mu_0(k) = \sum_{i=0}^{k-1} iP_i$$

$$\mu_1(k) = \sum_{i=k}^{L-1} iP_i = 1 - \mu_0(k)$$

则类间方差公式为：

$$\delta^2(k) = \omega_0(\mu - \mu_0)^2 + \omega_1(\mu - \mu_0)^2$$

令 k 从 $0 \sim L-1$ 变化，计算在不同 k 值下的类间方差 $\delta^2(k)$ ，使得 $\delta^2(k)$ 最大时的那个 k 值就是所要求的最优阈值。Ostu 的自动阈值寻找器假设灰度值呈双模式分布，而机场跑道前景图像和背景图像灰度值差别明显，满足双模式分布情况。

2.2 异物跟踪模块设计

机场异物识别系统首先是对异物进行识别，识别之后就是要跟踪异物，由于 Camshift 能有效解决目标变形和遮挡的问题，对系统资源要求不高，在简单背景下能够取得良好的跟踪效果，所以本文采用了 Camshift 目标跟踪算法。Camshift 是一种应用颜色信息的跟踪算法，在跟踪过程中，Camshift 利用目标的颜色直方图模型得到每帧图像的颜色投影图，并根据上一帧跟踪的结果自适应调整搜索窗口的位置和大小，从而得到当前图像目标尺寸和中心位置。OpenCV 已实现了该跟踪算法。

算法流程如图 3 所示。由于搜寻窗口寻找的范围是当前帧目标的附近区域，所以会节省大量的时间，从而使该算法具有比较好的实时性，同时由于 Camshift 处理的主要是颜色特征，而在目标运动过程中其颜色信息变化是不大的，也就是说目标每帧的信息都比较相似，因此 Camshift 算法具有良好的鲁棒性。

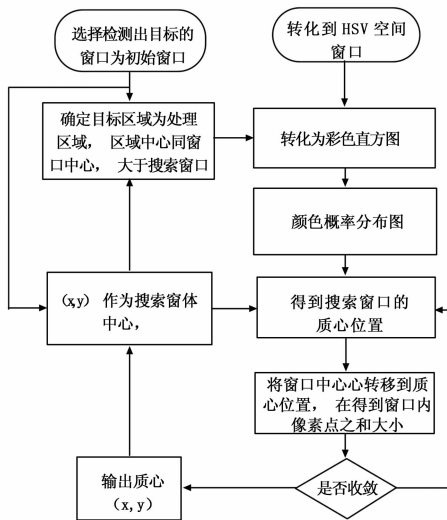


图 3 Camshift 算法流程

3 实验结果分析

按民用机场与军用机场跑道的长度不同，常规情况，跑道长度为 2.8~3.6 公里、宽度为 40~80 m 不等，按成像比例将跑道分割为 8~12 个检测区域，进行 PTZ 检测，可设计按 300 m 长度分段检测，通过激光夜视仪 (laser night vision) 和热成像仪实时巡航检测，经对所检测跑道面异物形态与轮廓分析比对处理，联动报警提示，通过本系统显示异物的精确位置，同时可将检测到的异物进行图像放大观察，同时通知跑道巡检人员异物所在位置与路径进行快速处理。一旦检测到跑道异物时，可弹出操作系统界面提示，针对跑道固定的场景与非遗留物不做报警动作。

本文基于 OpenCV 平台，利用图像处理技术设计并实现机场跑道防入侵监测系统。系统基于 VS2010 软件平台，利用 OpenCV 视觉库设计了机场跑道监测系统。为了验证系统的可靠性，本文在高速路路口取景进行测试，硬件参数如表 1 所示，系统测试结果如图 6 所示。

表 1 测试设备参数

设备及参数	规格
摄像头	MEGAPIXEL 10X DIGITAL ZOOM F=3.85 mm 0.3 M
CPU	Intel(R) Pentium(R) CPU G465 @2.90 GHz 2.90 GHz
显示质量	屏幕尺寸(cm) 20×15, 分辨率 640×480

在图 4 中，图 (a) 为实时获得的图像，图 (b) 为实时多辆汽车跟踪结果，得到的图像轮廓更加准确，并且对灰度值与背景差别不大的白色汽车的检测更加完整，空洞相对较少。



(a) 视频实时图像



(b) 实时的跟踪

图 4 系统测试结果图

机场常见的外来物包括闯入的动物和机务人员遗留的工具等。动物的移动速度不会超过 40 km/h，而在测试过程中对速度在 60 km/h 以上的汽车都有较好的检测和跟踪效果，所以系统对机场各种速度的外来物均适用。机务人员的遗留工具尺寸 (如螺丝刀) 在 20 cm 左右，假设机场一个摄像区域为 1 000 m²，为了使螺丝刀有 5 mm 的显示长度，系统要求显示屏尺寸大于 64 cm×48 cm，视频分辨率达到 3 648×2 736 以上。

4 结束语

本文以图像处理技术为基础，依托 VS2010 平台，利用 OpenCV 函数库，提出了基于图像处理技术的机场跑道监测系统。通过实验结果的分析，该软件系统可靠性高，且运行稳定；满足了识别精确度高和跟踪实时可靠的要求，为机场跑道防入侵监测系统更深入的理论研究和进一步的实际应用提供了方便，具有一定的实际意义。

参考文献：

[1] 李煜, 肖刚. 机场跑道异物检测系统设计与研究 [J]. 激光与红外, 2011, (8): 05-07.
 [2] Gary Bradski Adrian Kaehler. Learning OpenCV [Z]. Published by O'Reilly Media, Inc. 1005 Gravenste in Highway North, Sebastopol, CA 95472.

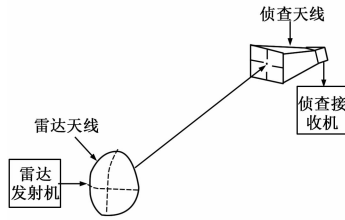


图 1 场景假设

的视轴夹角为 30° ，雷达信号的频率为 2.895 GHz ，雷达信号的脉宽为 $1\ \mu\text{s}$ ，脉冲重复周期为 $100\ \mu\text{s}$ ，占空比为 1% ，信号的上升沿时间为 $0.289\ \mu\text{s}$ ，下降沿时间为 $0.318\ \mu\text{s}$ 。相位差测频接收机的测频范围为 $[2\text{ GHz}, 4\text{ GHz})$ ，最短延迟线的延迟时间 $0.5\ \text{ns}$ ，采用 4 路延迟线， $n=4$ 。采用一维三基线相位干涉仪，其它天线与基准天线的长度分别为 $d_1=0.05\ \text{m}$ 、 $d_2=0.2\ \text{m}$ 、 $d_3=0.8\ \text{m}$ 。其中，以起始脉冲到达时间为开始，观测时间为 $100\ \text{s}$ ，间隔为 $1\ \text{s}$ 。在信噪比 $\text{SNR}=10\ \text{dB}$ 下进行仿真实验，得到的各参数测量误差如图 2~图 5 所示。

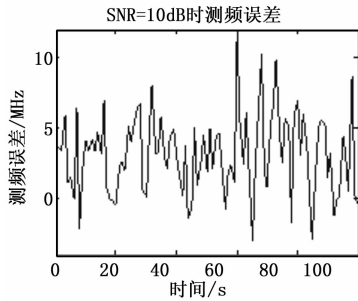


图 2 SNR=10dB时测频误差

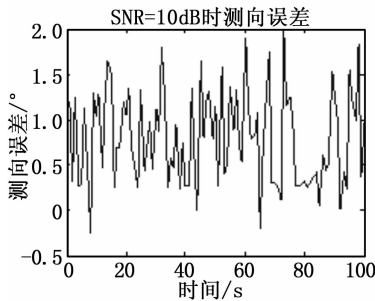


图 3 SNR=10dB时测向误差

5 结束语

本文在分析雷达侦察系统前端对雷达信号参数测量原理的

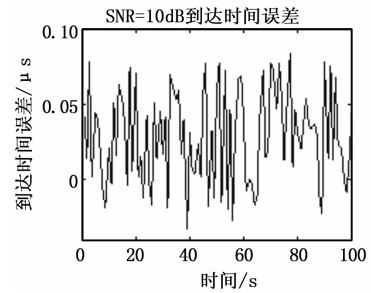


图 4 SNR=10dB时到达时间误差

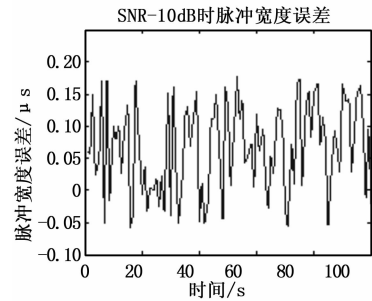


图 5 SNR=10dB时脉冲宽度误差

基础上，建立了雷达侦察系统对信号参数测量的数学模型，并对其进行了仿真实验，结果表明所建模型是合理的、有效的，并能比较精确地模拟雷达侦察系统参数测量的过程，对雷达侦察仿真具有一定的参考意义。以后的研究中还可加入信号分选和辐射源识别的仿真模块，进一步模拟真实的雷达侦察系统，进而实现整体的雷达侦察仿真系统。

参考文献:

[1] 张海瑛,袁超伟. 一种新的相位差测频法研究 [J]. 西安电子科技大学学报(自然科学版), 2007, 34 (6): 969-973.
 [2] 修继信,崔积丰,陈洪辉. 内场干涉仪测向误差分析及相位误差校正方法 [J]. 雷达与对抗, 2012, 32 (2): 17-20.
 [3] 刘春辉,丁文锐,李红光. 基于相位差测量的无人机单站无源定位系统 [J]. 计算机测量与控制, 2011, 19 (9): 2105-2108.
 [4] 宋李彬. 雷达脉冲参数的测量与分选 [J]. 电子工程师, 2006, 32 (10): 1-4.
 [5] Vaccaro, D D. Electronic Warfare Receiving Systems. New York: Artech House, 1993. - [6] 赵国庆. 雷达对抗原理 [M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1999.
 [7] 唐勇年. 雷达对抗工程 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2012.

(上接第 2738 页)

[3] 陈吉庐. 基于 OpenCV 的红外运动目标检测与跟踪算法研究及实现 [D]. 南京: 南京理工大学, 2001.
 [4] Otsu N. A measure of circularity of digital figures [J]. IEEE Trans. Syst. Man and Cybern. V. SMC-9, 1979; 62-66.
 [5] Linda G, Shapiro George C. Stockman. 计算机视觉 [M]. 赵清杰, 等译. 北京: 机械工业出版社, 2005.
 [6] 陈 楸, 王晓臻, 马松辉. 复杂背景下下视机场的跑道检测 [J]. 计算机测量与控制, 2010, (10): 2259-2261.
 [7] 李洪雷, 管群等. VC++ 环境下基于 OpenCV 的摄像机标定系统

的开发 [J]. 计算机应用与软件, 2011, (6): 19-21.
 [8] 李 煜, 肖 刚. 机场跑道异物检测系统设计与研究 [J]. 激光与红外, 2011, 41 (8): 909-915.
 [9] 樊曼劼. 机场跑道异物 (FOD) 检测研究 [D]. 北京: 北京交通大学, 2011.
 [10] 孙 源, 孙灿飞, 刘佳伟. 数字视频监控技术在机场跑道异物监测系统中的应用 [J]. 电子技术与软件工程, 2013, (15): 91-93.
 [11] 赵锦华, 张 军. 机场跑道异物检测系统研究 [J]. 现代电子技术, 2012, 35 (19): 120-122.