

一种改进的机场跑道异物检测算法研究

高宏伟 王慧科 李 卓

(沈阳理工大学信息科学与工程学院 沈阳 110159)

摘 要 在对国内外机场跑道异物检测算法研究综述的基础上,研究了一种机场跑道异物检测系统。首先对检测系统的算法流程进行了概述,其次对异物检测算法中的关键算法——运动目标检测算法进行了研究。提出了一种改进的帧间差分法,以及一种基于自适应混合高斯背景相减法与改进的帧间差分法相结合的算法。实验结果表明,该算法能够有效改善异物检测结果出现空洞的现象,并且能抑制背景突变下对检测结果造成的影响,可以实现对跑道路面异物的实时和有效检测。

关键词 异物检测,自适应混合高斯滤波,背景相减,帧间差分

中图法分类号 TP249 文献标识码 A

Investigation of Improved FOD Detection Algorithm

GAO Hong-wei WANG Hui-ke LI Zhuo

(School of Information Science & Engineering, Shenyang Ligong University, Shenyang 110159, China)

Abstract The airport runway foreign object debris(FOD) detection system was studied on the basis of the research of the algorithms of airport runway foreign object detection at home and abroad. First, the algorithm processes of the detection system were outlined, and then the key algorithms of foreign body detection algorithm——moving target detection algorithm was studied. We studied an improved frame difference method and an algorithm combining adaptive Gaussian mixture background subtraction and improved frame difference. Experimental results show that the foreign body detection results appear empty phenomenon can be effectively improved, and the effects of test results in background mutation can be inhibited by the improved algorithm. The foreign object detection on the runway pavement can be achieved effectively and real-time.

Keywords FOD, Adaptive mixture Gaussian filter, Background subtraction, Inter-frame difference

1 引言

机场跑道异物 FOD(Foreign Object Debris)^[1]的检测,对飞机的飞行安全以及旅客的生命财产安全有着重要的影响。机场跑道异物即可能损伤飞机或系统的一切外来物质,如车辆掉落的螺帽、小金属件、拉杆箱的滚轮、体积较大的石子、塑料碎屑以及机务人员排查事故时遗漏的工具等。机场跑道异物给机场安全带来巨大的隐患,许多飞机事故都是由于机场异物引起的,因此对机场跑道异物检测算法的研究具有重要的意义。

目前,全球绝大多数的机场的 FOD 监测仍然是靠人工完成的,这种方法不仅可靠性差(有遗漏),效率非常低,而且会使跑道使用时间缩短。目前世界上较为典型的 FOD 检测系统有 4 个:英国的 Tarsier 系统、以色列的 FODetect 系统、美国的 FOD Finder 系统、新加坡的 iFerret 系统^[1]。前三者采用地面毫米波雷达对道路异物进行检测和定位;iFerret 系统采用车载视频图像识别技术进行 FOD 的探测。前三者的系统

虽然有较强的功能,但是它的雷达系统成本非常高,而且对异物检测的尺寸要求相对较高。采用机器视觉对异物图像实时处理可控性好,容易操作,因此对基于机器视觉的机场异物检测算法研究非常重要。为此,本文研究并实现了一种机场跑道异物检测系统,研究了一种改进的帧间差分法以及一种基于自适应混合高斯背景相减法与改进的帧间差分法相结合的算法用于运动目标检测。大量的实验结果证明了本文提出算法的有效性和实用性。

2 机场异物检测系统组成

本研究为机场跑道异物检测系统。该系统为移动式车载系统,通过实时对道面图像信息采集,得到道面图像,根据相对运动原理可以将机场跑道作为背景,而将异物视作运动的目标,因此,对机场跑道异物检测算法进行研究的核心理是运动目标检测的算法。在运动目标检测算法中,最常用并且最有效的算法为背景减法^[2]、帧间差分法^[3]以及基于这两种方法的改进算法。本文研究的异物检测算法的流程如图 1 所示。

本文受中国博士后科学基金(2013M530954),辽宁省自然科学基金(2014020093),辽宁省高校杰出青年学者成长计划项目(LJQ2014021),沈阳理工大学重点学科计算机应用技术开放基金(4771004kfx09)资助。

高宏伟(1978—),男,博士,副教授,主要研究方向为计算机视觉、智能控制,E-mail:ghw1978@sohu.com;王慧科(1988—),男,硕士生,主要研究方向为计算机视觉;李卓(1991—),男,硕士生,主要研究方向为计算机视觉、智能控制。

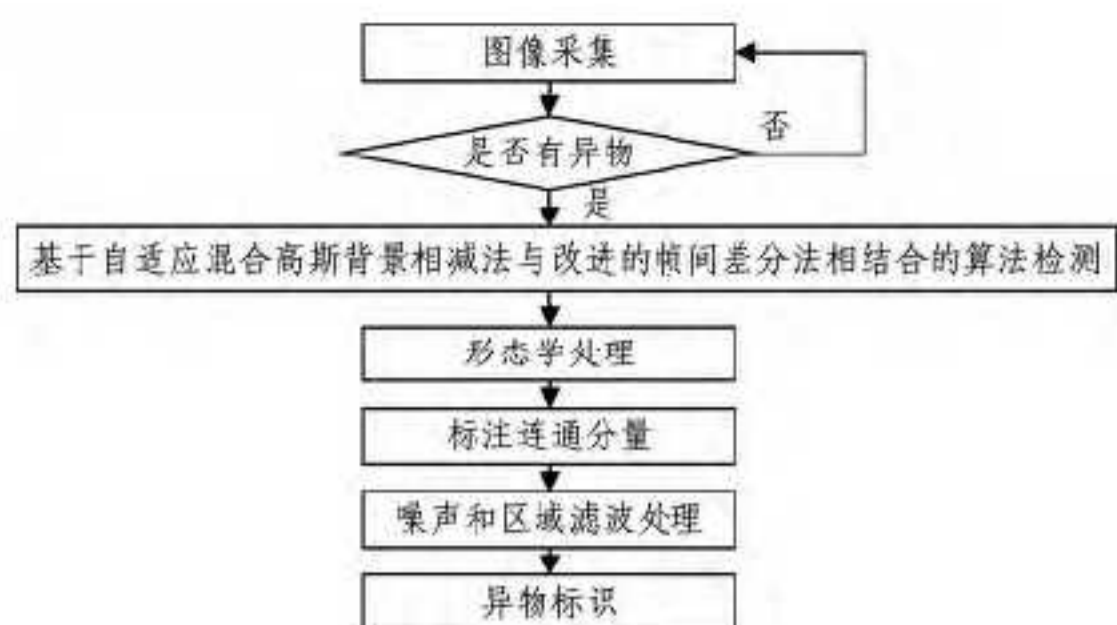


图1 机场跑道异物检测算法流程

2.1 基于自适应混合高斯背景相减法与改进的帧间差分法相结合的算法

帧间差分法^[4-7]的原理是通过视频序列中连续的两帧或几帧图像的差异阈值进行判定来检测和提取目标。该方法算法简单,程序计算复杂度低,比较容易实现。但是其缺点是不易检测静止物体或者运动速度较慢的物体,对于高速运动的目标又会使得分割区域远远大于真实目标,容易在运动目标内部产生空洞。背景减法^[8-10]实现的原理是将采集的图像序列与背景模型相减来实现目标的检测。若当前图像像素点与背景图像像素点的灰度值差别较大,则可认为此像素点为运动目标,否则认为此像素点为背景点。该方法的优点是实现简单,计算量小,而且能够精确地检测运动目标的位置、轮廓等信息,缺点是在实际的应用中,背景容易受到光照变化、噪声等干扰,需实时更换背景,且对于与背景灰度接近的目标(如与跑道灰度接近的石子)不能够完整地检测出来。因此,本文针对传统帧间差分法易产生空洞以及传统的背景减法的缺点分别进行了改进,并且将这两种方法相结合,使得改进的混合高斯背景相减法与改进的帧间差分法相结合算法能够有效地检测出运动目标。

2.1.1 基于自适应混合高斯背景建模的背景减法

混合高斯模型^[11]是将图像的每一个像素点 $X_{i,t}$ 通过 N 个高斯模型来表征,即

$$P(X_t) = \sum_{n=1}^N w_{n,t} * \eta(X_t, \mu_{n,t}, \Sigma_{n,t}) \quad (1)$$

式中, $w_{n,t}$ 为权重, $\eta(X_t, \mu_{n,t}, \Sigma_{n,t})$ 表示高斯概率密度函数,其定义为:

$$\eta(X_t, \mu_{n,t}, \Sigma_{n,t}) = \frac{1}{(2\pi)^{\frac{n}{2}} |\Sigma_{n,t}|^{\frac{1}{2}}} e^{-\frac{1}{2}(X_t - \mu_{n,t})^T \Sigma_{n,t}^{-1} (X_t - \mu_{n,t})} \quad (2)$$

$\mu_{n,t}$ 和 $\Sigma_{n,t}$ 分别表示在 t 时刻第 n 个混合高斯模型的平均值和协方差。 N 的取值越大,对复杂背景描述得越细,但是同时也使得计算量增加,检测的实时性降低,所以 N 一般取值为 3~5。考虑到机场跑道路面的复杂度较低,本文 N 取值为 3。

混合高斯模型的参数更新过程为对新帧的图像像素 $x_{i,t}$ 与已存在的 N 个混合高斯模型进行匹配,如果满足 $|x_{i,t} - \mu_{n,t-1}| < 2.5\sigma_{n,t-1}$, 则判定当前像素值 $x_{i,t}$ 与此高斯分布 η_n 匹配,否则判定为不匹配。

若新帧图像像素 $x_{n,t}$ 与当前的 N 个混合高斯模型匹配,则 t 时刻的 N 个分布函数的权值按照式(3)来更新。

$$w_{n,t} = (1-\beta)w_{n,t-1} + \beta(M_{n,t}) \quad (3)$$

其中, β 是更新率。当模型匹配时 $M_{n,t}$ 取 1,不匹配时取 0。通过上面的过程,权值就被更新了。匹配的高斯分布的均值 μ 和方差 σ 按照式(4)和式(5)更新。

$$\mu_{n,t} = (1-\rho)\mu_{n,t-1} + \rho X_{n,t} \quad (4)$$

$$\sigma_{n,t}^2 = (1-\rho)\sigma_{n,t-1}^2 + \rho(X_{n,t} - \mu_{n,t-1})^T (X_{n,t} - \mu_{n,t-1}) \quad (5)$$

$$\rho = \beta \eta(X_t | \mu_n, \sigma_n) \quad (6)$$

如果新帧图像像素 $x_{n,t}$ 与当前的 N 个混合高斯模型匹配,则用当前像素值的分布函数的平均值将权值最小的概率分布函数的平均值替换掉,剩余的模型保持其原来的均值,方差不变,权值依照式(3)更新。

将每个像素的 N 个高斯分布按照比值 $w_{n,t}/\sigma_{n,t}$ 由大到小进行排序,描述稳定背景的高斯分布函数最有可能位于序列的顶部,因此,将序列的前 M 个高斯分布作为背景模型,其他高斯分布模型为前景模型。 M 取值为:

$$M = \arg \min \left[\sum_{n=1}^m w_{n,t} > T \right] \quad (7)$$

阈值 T 通常选取经验值 0.85。

将像素点的值与前 M 个高斯分布匹配,如果匹配,则将该像素判定为背景点,否则将像素判定为前景点,即为目标异物点。

2.1.2 改进的帧间差分法

帧间差分法算法简单,处理速度快,在运动目标检测中应用广泛。传统的两帧差分法虽然运算简单,但是当移动车载系统在跑道移动很慢时,采集的相邻两帧异物图像间就存在很多重叠的区域部分,若直接对这两帧图像做差分,重叠的区域部分会被当作背景忽略,相对变化的不重叠部分区域保留,这样就会导致检测出的异物内部出现空洞,并且会造成伪目标误检的情况。因此采用三帧差分法,并将 Canny 边缘检测与三帧差分法结合,从而提高了传统三帧法检测边缘的完整性。流程如图 2 所示。

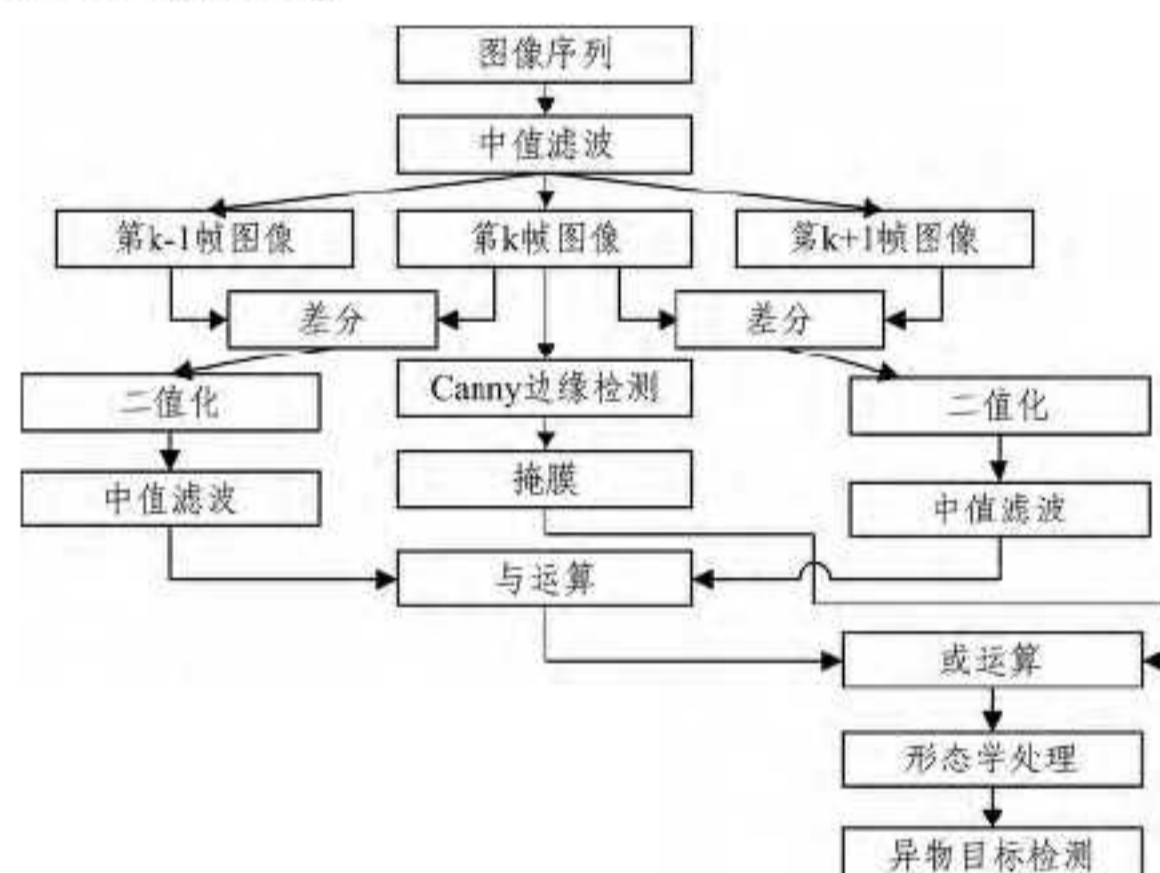


图2 Canny 边缘检测与三帧差分法结合

对输入的连续 3 帧($k-1, k, k+1$) 图像进行中值滤波,除去孤立的噪声点,将相邻的两帧灰度差分,然后二值化,并将处理后的图像进行与运算,同时将第 k 帧的图像进行 Canny 边缘检测,利用掩膜运算得到异物目标区域的边缘,并去除其他部分,然后再和三帧法得到的图像进行或运算。改进的三帧差分法在很大程度上抑制了检测的异物目标出现空洞现象。

2.1.3 自适应混合高斯模型背景相减法与改进的帧间差分法相结合

与 Canny 边缘检测结合后的三帧差分法在很大程度上抑制了检测的异物目标出现空洞。为了使检测的目标更完整,将基于自适应混合高斯模型背景减法与改进的帧差分法相结合,具体步骤为:

- (1) 采集图像序列,对采集的图像序列进行预处理。
- (2) 对连续的 3 帧图形序列采用改进的三帧差分法进行处理,得到初级检测目标 A ,同时采用混合高斯背景建模提取背景图像,将当前帧的图像与背景做减运算,得到初级检测的

目标 B, 并且采用 2.1.1 节提出的更新方法更新背景参数。

(3) 将得到的初级检测目标 A 和初级检测目标 B 进行与操作, 然后对操作后的灰度图像二值化, 得到检测的异物目标。

(4) 对检测的异物进行形态学处理, 使异物目标封闭、完整。

2.2 噪声区域滤波处理

经过上面的处理后, 有可能将很小的异物检测出来, 而这些异物是不需要被标定出来的。所以必须在标定之前将这些噪声去除。采用形态学方法先腐蚀再膨胀可以将较小的噪声去除。对于面积较大的噪声区域, 采用 8 连通方法先标记连通域, 然后计算连通域的面积 A_i , 设定面积的阈值 $Threshold$, 如果第 i 个连通域面积 A_i 小于设定的阈值 $Threshold$, 将该连通域对应的像素的灰度值变为 0, 置成背景; 大于设定的阈值则保留。

经过噪声区域滤波处理后, 小噪声被去除得非常干净, 为后续的异物标定和跟踪创造了良好的基础。

2.3 异物的标识

经对检测完成后的异物图像进行扫描后, 分别将异物对应的连通域最左边、最右边、最上边、最下边的像素位置的横纵坐标记录下来, 然后在对应位置处改变像素的灰度值, 用矩形框对异物标识。标识图像的原理图如图 3 所示。

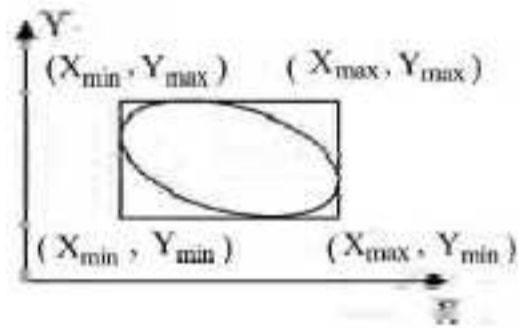


图 3 异物标识原理图

3 实验结果与分析

机场跑道异物检测系统主要是由全方位移动机器人和基于 DM6437 的图像处理设备组成。CCD 采集到的视频图像的分辨率为 800×600 个像素。实验环境选择的是接近于机场跑道的校园内的水泥路面。实验设备组成与软件界面如图 4、图 5 所示。



图 4 实验设备组成



图 5 软件界面

3.1 单异物目标检测

如图 6 所示, 其中图 6(a) 为视频流中第 61 帧、第 62 帧和

第 63 帧连续 3 帧异物图像, 图 6(b) 为采用传统的三帧法对异物检测, 图 6(c) 为改进三帧法对异物检测, 图 6(d) 为基于自适应背景相减法与改进的三帧法相结合算法的处理结果。

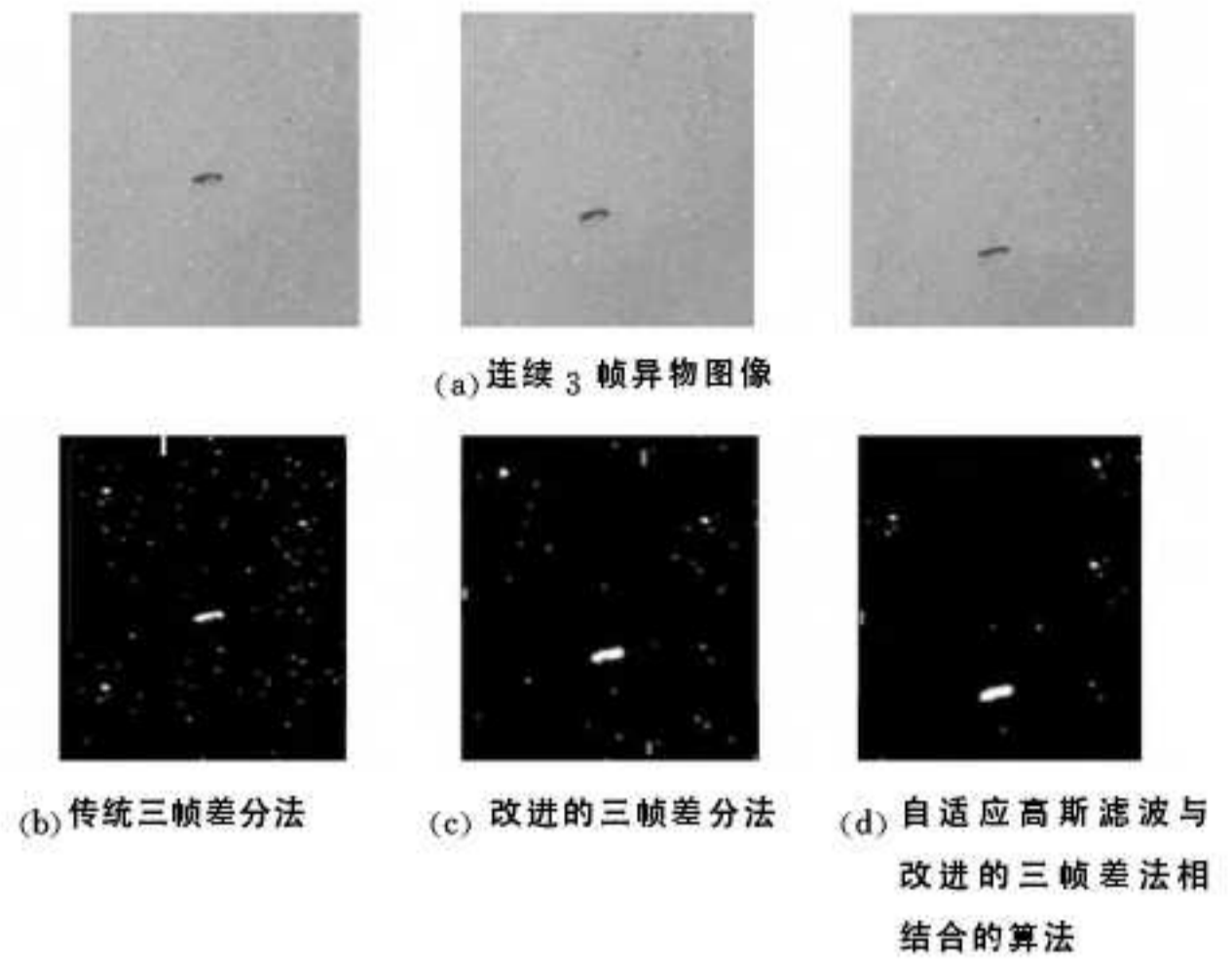


图 6 异物检测算法

图 6(b) 采用传统三帧算法对跑道异物进行检测, 可以看到检测异物有较大空洞, 并且干扰背景中的干扰噪声非常多, 这些噪声不仅会增加后续图像噪声处理时间, 影响整个异物检测系统的实时性, 而且会对后续图像标识产生干扰, 造成对异物的误检。异物内部出现的空洞可能会将一个异物区域分割成为几个较小的区域, 区域面积变小, 在这种情况下, 在标定连通域计算面积去除噪声部分, 会将其错误地判定为噪声区域, 造成异物的漏检。图 6(c) 是对传统的三帧差分法改进的算法, 相比图 6(b), 改进后的三帧法使检测目标的轮廓边缘趋于完整, 异物目标内部的空洞得到抑制, 同时误检出的背景噪声明显减少。图 6(d) 为采用自适应高斯滤波与改进的三帧法相结合算法得到的结果, 检测的异物轮廓边缘完整, 能够部分抑制异物内部空洞的出现, 并且能够使背景中误检的噪声减少, 缩短了后续连通域标定、噪声去除以及异物标识部分的算法的运行时间, 提高了检测的实时性。

图 7 为异物检测系统中, 中值滤波、噪声区域滤波处理以及异物标识后的结果。

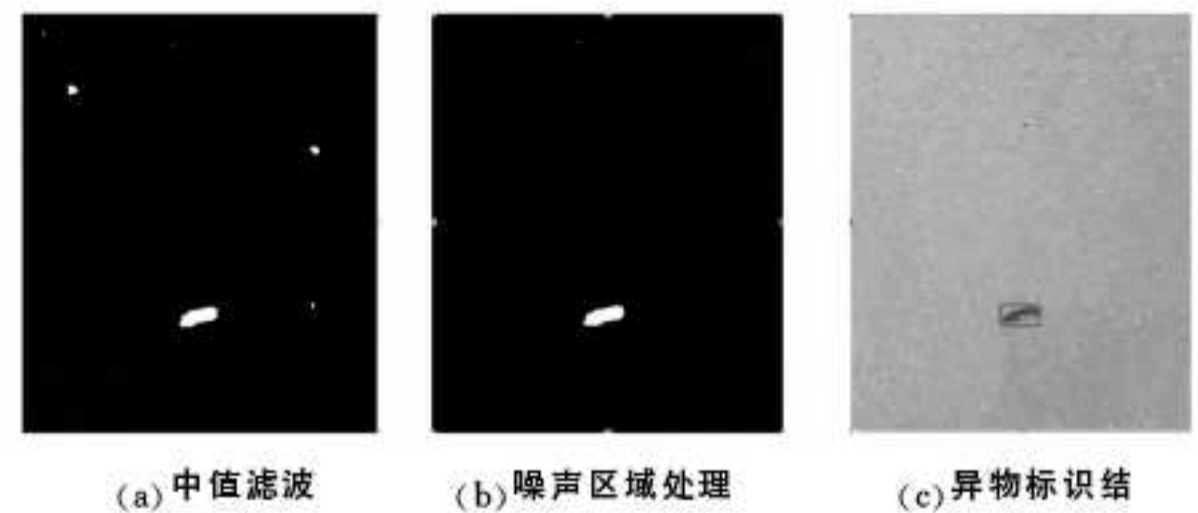


图 7 异物检测去噪与异物标识

在图 7 中, 图(a) 为采用改进算法检测, 然后经过中值滤波后得到的图像; 图(b) 是对图(a) 进行噪声区域处理, 经过噪声区域滤波处理后, 能将小噪声去除得非常干净, 为后续的异物标定和跟踪创造了良好的基础; 图(c) 为采用 2.3 节中异物标识算法对异物的标识, 效果较好。

3.2 对多异物目标检测

对于异物检测图像中有多个异物, 采用本文的机场跑道

异物检测算法的检测结果如图 8 所示。

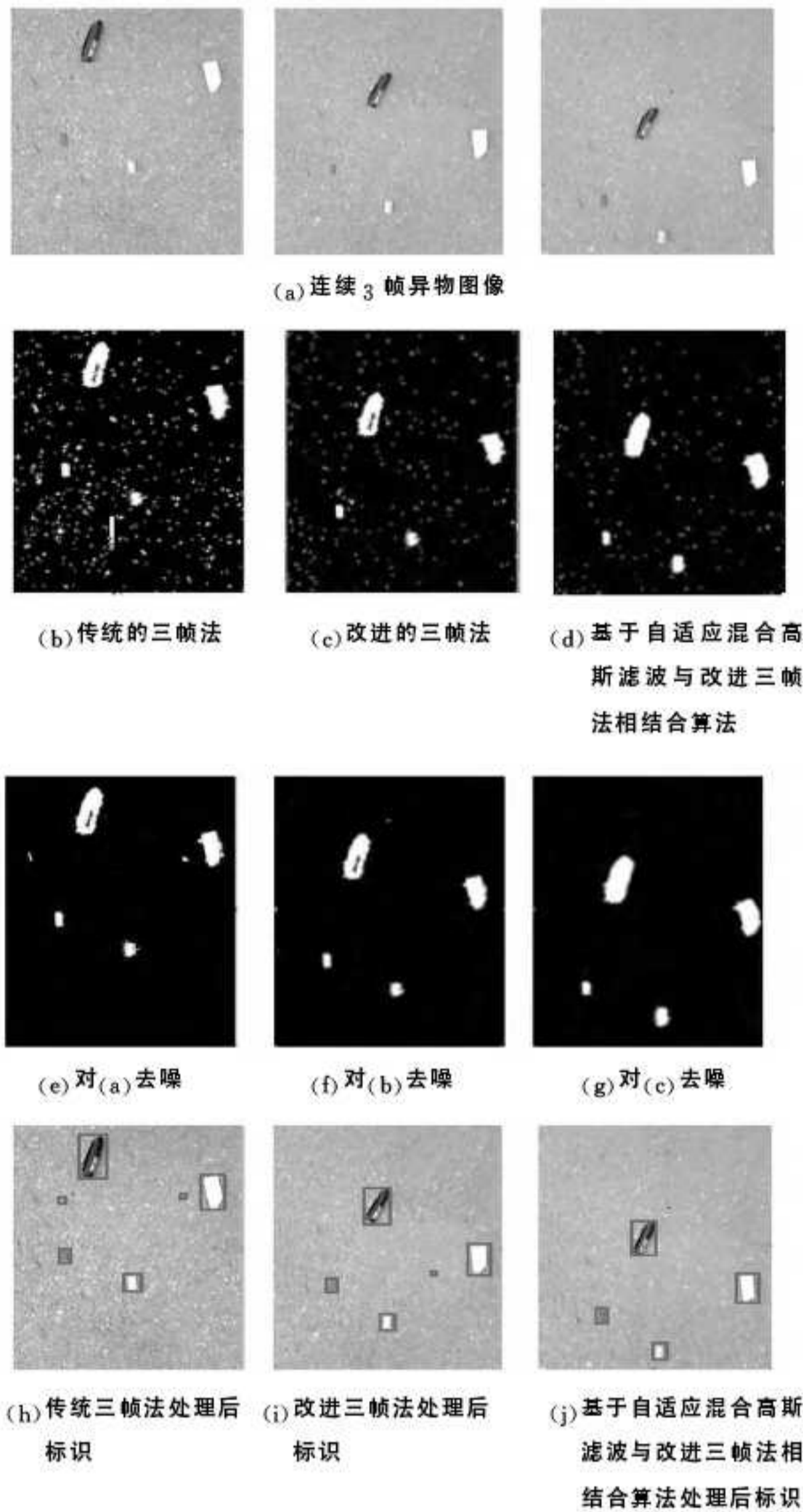


图 8 多目标异物检测算法实现

表 1 中运算时间为图 8 多目标检测中,采用传统三帧法和采用基于自适应混合高斯滤波与改进三帧法结合算法,从图像输入到完成异物目标的标识整个过程需要的时间。对 50 组不同背景下的异物分别采用这两种方法检测,统计误检异物的图片数目和漏检异物的图片数目,然后计算误检率和漏检率。从运行时间上看,改进的算法更耗时,但也基本满足实时应用。由于算法中加入了更多的约束,因此,改进算法的异物漏检率有所降低。

表 1 系统检测时间与误差统计

	运行时间(s)	漏检率(%)
传统三帧法	0.05	12.5
改进的三帧法	0.07	9.4
自适应高斯滤波背景差分与改进的三帧法相结合的算法	0.12	8.2

改进后的算法能够有效抑制噪声的检测和异物空洞情况的发生,由此能缩短形态学去噪和连通与标记去噪的时间,实时性好,同时改进后的算法对外部环境变化敏感性强,能够有效抑制噪声,使误检率和漏检率降低。改进后算法的误检和漏检主要是由与道路路面灰度非常相近的小石子造成的,所以在今后的研究中会对阈值判定做改进,从而提高对小石子的识别率。

结束语 本文对机场跑道异物检测系统的关键算法进行了详细而深入的研究,采用自适应混合高斯滤波背景相减法与改进的帧间差分法相结合的算法对异物进行检测,然后通过形态学处理算法与连通域标记,计算连通域像素面积,对噪声和不符合条件的小面积异物去除,从而将符合条件的异物完整地检测出来。实验结果表明,该异物检测算法能够将道路路面异物有效地检测出来,抑制异物目标出现的空洞现象,检测的实时性也较好。

参考文献

- [1] 张敏. 基于移动机器人视觉的道路异物检测方法研究[D]. 沈阳, 沈阳理工大学, 2011
- [2] 陈文会, 张晶. 一种基于背景减法和帧差的运动目标检测算法[J]. 电子设计工程, 2013, 2(21): 24-26
- [3] 华媛媛, 刘万军. 改进混合高斯模型的运动目标检测算法[J]. 计算机应用, 2014, 34(2): 580-584
- [4] 赖作镁, 王敬儒, 张启衡. 基于 RBF 神经网络的复杂背景下的运动目标检测[J]. 计算机科学, 2007, 2(34): 250-252
- [5] 王引辉. 监控视频中运动目标检测算法研究[D]. 南京, 南京邮电大学, 2013
- [6] 王宇, 吴炜, 张德银. 基于计算机视觉的机场跑道异物检测识别系统[J]. 电视技术, 2010, 34(5): 102-103
- [7] 郭晓静, 于之静. 机场跑道异物定位算法研究[J]. 测控技术, 2012, 5(31): 41-43
- [8] 赵秀锦. 机场视频监控系统中的目标识别算法研究[D]. 天津, 中国民航大学, 2008
- [9] Patterson Jr J. Foreign Object Debris (FOD) detection research [J]. International Airport Review, 2008, 2: 22-27
- [10] 刘静, 王玲. 混合高斯模型背景法的一种改进算法[J]. 计算机工程与应用, 2010, 46(13): 169-170
- [11] 茅正冲, 王丹. 一种基于混合高斯模型的运动目标检测新算法[J]. 科学技术与工程, 2013, 14(13): 4011-4017

(上接第 204 页)

- [4] 马小林. 基于图像反馈的角度测量系统的集成研究[D]. 杭州, 浙江大学, 2008
- [5] Toyama A. Present State of Precision Angle Measurement Technique in Japan[J]. Bulletin of the Japan Society of Precision Engineering, 1981, 15(1): 1-6

- [6] Sinha A, Kirubarajan T, Bar-Shalom Y. Maximum Likelihood Angle Extractor for two Closely Spaced Targets[C]// Proceedings of the Radar IEEE Conference. 2001: 345-350
- [7] Portlman V, Peschansky B. Phase-statistical Method and Device for High Precise and High-efficiency Angular Measurements[J]. Precision Engineering, 2001, 25(4): 309-315