

基于视频数据的电梯门防夹检测算法研究

张磊

(北京市丰台区特种设备检测所, 北京 100161)

摘要: 针对电梯门现有防夹保护装置的缺陷, 提出了一种基于视频数据的防夹检测算法, 用于在轿厢门区内检测物体; 首先, 采用改进的双边滤波方法滤除视频帧和背景图像中的噪声; 然后, 差分视频帧与背景图像, 并采用极大熵粒子群算法来二值化差分图像; 接着, 将二值图像进行形态学滤波以检测出轿厢门区范围内的物体; 最后, 利用 Surendra 算法更新背景图像; 实验结果表明, 提出算法可以在轿厢门区范围内实时且准确地检测出物体, 为电梯门防夹功能的改进提供了可靠的保障。

关键词: 防夹检测; 物体检测; 双边滤波; Surendra 算法; 极大熵粒子群

Research on Elevator Door Anti-pinching Detection Algorithm Based on Video Data

Zhang Lei

(Special Equipment Inspection & Testing Institute of Fengtai District, Beijing 100161, China)

Abstract: For the defects of the existing anti-pinching protection device, an anti-pinching detection algorithm is proposed to detect objects in the elevator door area. First, an improved bilateral filtering method is used to remove the noise of the video frame and background image. Then, a difference image of the video frame and the background image is calculated, and the maximum entropy particle swarm optimization algorithm is employed to obtain binary image of the difference image. Next, objects in the door area are detected from the binary image by morphology processing. Finally, the Surendra algorithm is adopted to update the background image. Experimental results show that the proposed algorithm can detect objects accurately in the elevator door area. It provides a reliable guarantee for the improved anti-pinching function of elevator door.

Keywords: anti-pinching detection; object detection; bilateral filtering; Surendra algorithm; maximum entropy particle swarm optimization

0 引言

电梯的门系统是乘客出入电梯轿厢的途径, 电梯门系统的防夹安全保护非常重要, 如果发生误夹, 将直接威胁乘客的人身安全。据统计, 在电梯事故中, 发生在门系统的误夹事故所占比重最大, 发生也最为频繁。作为日常场景中使用的电梯的一项重要安全性保护措施, 电梯门防夹保护成为电梯行业重点研发的关键技术之一, 是电梯企业间进行产品竞争的重点^[1]。此外, 随着我国经济的快速发展, 在国际社会的影响力不断增加, 国家重大活动、会议频繁举办。对于涉会场所电梯的安全保障工作, 已经成为安全工作中的重要一环。一旦出现误夹等安全问题, 将会造成严重的不良影响。针对涉会场所的电梯, 如何丰富技术手段, 以提高电梯门防夹保护能力, 成为特种设备监督和检验机构面临的重要课题。因此, 本文提出的电梯门防夹保护方法具有很强的现实意义和实际应用价值。

目前常用的防夹保护装置有机械式安全触板、光束防夹设备和光幕防夹设备等^[2]。虽然这些装置都起到了较好的保护作用, 但是在使用过程中尚存在着一些问题。采用

机械式安全触板时, 只有电梯门夹到东西以后才会回缩, 容易使人或物体被轿厢门夹伤。光束防夹和光幕防夹是当有人或物体进出时, 装置会自动感应并停止关闭电梯门。此时, 电梯门不再需要碰到人的身体或物体就能回缩。光束保护和光幕保护的缺点是保护范围相对较小, 存在盲区, 并且自身容易损坏^[3]。随着机器视觉技术在生产和生活中各个领域的深入应用, 国内外电梯公司和科研机构开始尝试将其应用于电梯门防夹保护。但电梯门区附近较为复杂的环境情况导致检测目标时受到的干扰较大, 检测效果并不理想。

本文针对门区较为复杂的情况, 提出了一种基于视频数据的门区内物体检测方法。首先改进了双边滤波方法以更好地消除了图像噪声对目标准确分割的影响。然后, 差分当前视频帧与背景图像, 并采用极大熵粒子群法将差分图像进行二值化。接着, 通过形态学滤波从二值图像中检测出轿厢门区范围内的物体。最后, 采用 Surendra 算法建立和更新背景模型。通过实验对比, 提出方法得到了较高的检测准确率, 且具有实时性, 可以很好的满足电梯门防夹的要求。

1 改进的双边滤波

在拍摄和传输视频数据时, 非常容易产生随机噪声,

收稿日期: 2018-10-16; 修回日期: 2018-11-10。

作者简介: 张磊(1982-), 男, 北京人, 硕士, 高级工程师, 主要从事机电类特种设备安全及节能方向的研究。

噪声会影响目标的准确分割。双边滤波器是一种非线性滤波器,可以理想地去除这些随机噪声。而且双边滤波器能够在降低边缘模糊效应的同时起到降噪的作用,以较好地保留视频帧的边缘细节信息^[4]。双边滤波器由两个高斯函数构成,即空间高斯函数和值域高斯函数,使得视频帧中距离边缘较远的像素不会对边缘处的像素产生较大的影响,可以较好地保持边缘特性^[5]。双边滤波定义如式(1)所示:

$$F_l = \frac{\sum_{i,j=-\omega}^{\omega} G_s(x,y,x_i,y_j)G_r(x,y,x_i,y_j)I_l(x_i,y_j)}{\sum_{i,j=-\omega}^{\omega} G_s(x,y,x_i,y_j)G_r(x,y,x_i,y_j)} \quad (1)$$

式中,

$$G_s(x,y,x_i,y_j) = \exp\left[-\frac{((x-x_i)^2+(y-y_j)^2)}{2\sigma_s^2}\right] \quad (2)$$

$$G_r(x,y,x_i,y_j) = \exp\left[-\frac{(I_l(x,y)-I_l(x_i,y_j))^2}{2\sigma_r^2}\right]$$

其中: I_l 为时刻 t 采集到的视频帧; $I_l(x,y)$ 为视频帧 I_l 中坐标为 (x,y) 的像素点; F_l 为滤波后得到的图像; G_s 是方差为 σ_s 的高斯滤波函数,其以距离作为自变量,表示空间相似性; G_r 是方差为 σ_r 的高斯滤波函数,其以像素灰度差值作为自变量,表示像素相似性。与 σ_s 相比, σ_r 对图像滤波质量的影响更大。

双边滤波器虽然能较好地保留图像的边缘细节,但还是会在一定程度上改变边缘点的灰度值。噪声点的像素值一般都是其邻域内的极值,而边缘点的像素值则不是,噪声像素的这个特性可以被用来改进双边滤波器。逐行扫描视频帧 I_l ,当处理像素点 $I_l(x,y)$ 时,判断 $I_l(x,y)$ 是否是其滤波窗口覆盖下邻域像素的极大值或者极小值。如果是,则采用正常的双边滤波器处理该像素点;如果不是,则不处理。改进方法可以有效地滤除噪声点,而且几乎不影响视频帧的边缘特性。根据实验经验,滤波窗口半径 $\omega = 3$, $\sigma_s = 3$, $\sigma_r = 10$ 时的滤波效果更理想。

2 二值化分割与目标检测

为了分割出运动目标,根据式(3)差分 F_l 与背景图像 B_{t-1} ,并根据式(4)对差分图像 D_l 进行二值化处理。式(4)中 $A_l(x,y)$ 为二值化图像, T 为采用极大熵法^[6]和粒子群法^[7]共同确定的最佳二值化阈值。

二值化分割图像 D_l 时,首先采用极大熵算法求得图像二值化阈值,然后采用粒子群算法优化阈值,选取最佳二值化阈值 T 。

$$D_l = |F_l(x,y) - B_{t-1}(x,y)| \quad (3)$$

$$A_l = \begin{cases} 1, & D_l(x,y) > T \\ 0, & D_l(x,y) \leq T \end{cases} \quad (4)$$

最大熵算法使用图像灰度直方图的最大熵所对应的灰度值作为阈值来分割图像。对于灰度范围为 $[0, 256]$ 的图像,其直方图的熵 H 如式(5)所示:

$$H = -\sum_{p=0}^{255} (p_r \lg p_r) \quad (5)$$

式中, p_r 为第 r 个灰度级的概率。

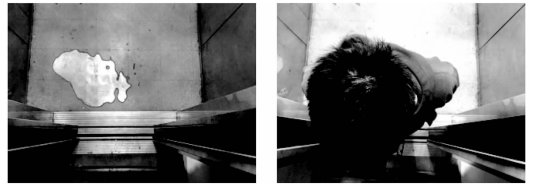
粒子群优化算法是一种具有鲁棒性的智能优化算法,其从随机解出发,通过迭代寻找最优解。粒子群优化算法通过适应度来评价解的品质,联合最大熵算法后,能够很好地对图像进行二值化处理。算法初始化一群随机粒子后,随机粒子跟随当前的最优粒子在解空间中迭代地搜索最优解。在第 d 维搜索空间,第 n 个粒子通过跟踪个体极值 p 和全局最优解 g 来更新其位置 $X_n = (x_{n,1}, \dots, x_{n,d})$ 和速度 $V_n = (v_{n,1}, \dots, v_{n,d})$:

$$x_{n,m}(l+1) = x_{n,m}(l) + v_{n,m}(l+1) \quad (6)$$

$$v_{n,m}(l+1) = \omega_i v_{n,m}(l) + c_1 r_1 [p_{n,m} - x_{n,m}(l)] + c_2 r_2 [g_{n,m} - x_{n,m}(l)] \quad (7)$$

$$\omega = \omega_{\max} - \frac{l(\omega_{\max} - \omega_{\min})}{l_{\max}} \quad (8)$$

其中: C_1 和 C_2 是学习因子,在 $[0, 1]$ 之间随机选取; $m = 1, \dots, d$; ω_i 为惯性权重; l 为当前迭代次数; ω_{\max} 为最大惯性权重; ω_{\min} 为最小惯性权重; l_{\max} 为最大迭代次数。粒子群优化算法联合最大熵算法确定二值化阈值的步骤为:1)初始化粒子群;2)根据最大熵算法计算各个粒子个体的适应度值;3)根据适应度值获得各个粒子的个体极值和种群极值,如果个体极值优于现有的种群极值,则种群极值更新为该个体极值;4)更新各粒子的位置 X_n 和速度 V_n ;5)达到最大迭代次数时获得的全局极值即为二值化阈值。如图1(a)所示,为电梯轿厢处摄像机在时刻 t 拍摄的视频帧 I_l 滤波后的 F_l ;如图1(b)所示,为 B_{t-1} 。如图2所示,为根据上述方法得到的二值化图像 A_l 。



(a) 滤波后的 F_l (b) 背景图像 B_{t-1}

图1 差分与二值化结果

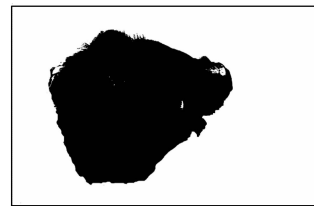


图2 二值化图像 A_l

为了满足系统对实时性的要求,只需要检测轿厢门区中心范围内的物体。以图像中心为中心选定一个感兴趣区域,该感兴趣区域监控尺寸为 $0.8 \text{ m} \times 1.3 \text{ m}$ 的轿厢门区中心,后续只在此感兴趣区域内检测物体。得到二值化图像 A_l 后,对 A_l 的感兴趣区域进行开运算^[8]和连通分量提取^[9],并计算各连通分量中的像素点数目。当有一个或多个连通分量的像素点数目大于阈值 T_c 时,可认为这些连通分量在视频帧 I_l 中对应的区域包含物体,反之则忽略该连通分量。

T_c 根据经验选取。检测到的物体如图 3 所示。

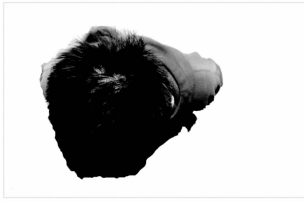


图 3 检测到的物体

3 背景更新

常用的背景更新算法有混合高斯模型算法^[10]、多帧平均算法^[11]和 Surendra 算法^[12]等。混合高斯模型算法可以平滑地近似任意形状的密度分布,即能够克服背景模型中复杂的场景,但背景建模的耗时较长^[13]。多帧平均算法相对简单,但背景更新的准确度较低。与多帧平均算法相比,Surendra 算法虽然同样相对简单,但能够自适应且准确地更新背景图像^[14]。因此本文采用改进的 Surendra 算法进行背景建模与更新,如式(9)所示:

$$B_i(x, y) = \begin{cases} B_{i-1}(x, y), A_i(x, y) = 1 \\ \alpha F_i + (1 - \alpha)B_{i-1}(x, y), A_i(x, y) = 0 \end{cases} \quad (9)$$

其中: α 为背景更新尺度。

4 实验结果与分析

根据经验,本实验中参数设置为:滤波窗口半径为 $\omega = 3$,方差 $\sigma_s = 3$,方差 $\sigma_r = 10$,最大惯性权重为 $\omega_{\max} = 0.9$,最小惯性权重为 $\omega_{\min} = 0.1$,学习因子 C_1 和 C_2 分别取为 0.3,最大迭代次数为 $l_{\max} = 100$,背景更新尺度为 $\alpha = 0.02$,经验阈值为 $T_c = 20$ 。

为了验证提出方法的准确性,对从 Youtube 获取的 10 段电梯运行视频进行检测。5 段测试视频分别有 340 帧、276 帧、537 帧、243 帧、196 帧、638 帧、367 帧、489 帧、526 帧和 313 帧,分辨率 320×240 。提出算法和文献 [3] 方法在上述 10 段视频上的检测准确度进行了对比,结果如表 1 所示。通过对比可以发现,提出方法在所有 10 段视频中的平均准确率为 98.0%,高于文献 [3] 的平均准确率 97.0%。提出方法的准确率满足也可以电梯门防夹检测的需要。

表 1 轿厢门区范围内物体检测准确率对比

视频	帧数	准确率/%	
		提出方法	文献[3]
视频 1	340	98.8	97.1
视频 2	276	97.5	97.8
视频 3	537	98.3	96.6
视频 4	243	97.1	95.5
视频 5	196	99.0	96.4
视频 6	638	98.4	97.2
视频 7	367	98.1	97.5
视频 8	489	97.8	96.9
视频 9	526	96.8	96.5
视频 10	313	98.4	97.8

该实验继续使用上述 10 段视频来验证本文提出的算法的实时性,将提出算法的平均检测时间与文献 [3] 方法的相对比,实验结果如表 2 所示。实验使用 Windows10、CPU Intel Core™ i7-4700MQ、2.4 GHz、RAM 8 GB 和 Matlab R2012b。本文算法能够较多地缩短每帧的平均检测时间为 45.8 ms,比文献 [3] 方法的平均缩短了 12.3 ms。后续实际应用中,如果用 C++ 等语言进行编程实现,平均检测时间还能够有较大降低,因此提出方法的检测效率能够满足电梯门区安全防夹保护检测的要求。

表 2 算法实时性对比

视频	帧数	平均每帧车辆检测时间/ms	
		提出方法	文献[3]
视频 1	340	45.3	58.2
视频 2	276	46.1	59.5
视频 3	537	44.9	57.7
视频 4	243	46.7	56.9
视频 5	196	45.5	58.3
视频 6	638	47.1	58.7
视频 7	367	45.4	58.3
视频 8	489	45.7	57.9
视频 9	526	46.5	58.5
视频 10	313	44.7	57.3

5 结束语

本文根据动态背景下的物体特征,提出了一种可应用于电梯门区安全防夹保护的物体识别监测算法。通过改进的双边滤波方法滤除视频帧中和经过 Surendra 算法更新的背景图像中的噪声,并差分滤波后的视频帧与背景图像。差分图像通过极大熵粒子群算法进行二值化处理。采用形态学滤波方法从二值化后的图像中检测出轿厢门区范围内的物体。提出算法解决了动态复杂背景下的物体检测问题,实现了轿厢门区内物体的实时准确识别检测。通过实验可知,该算法在电梯门防夹保护应用中取得了良好的效果,不仅适用于电梯门区安全防夹保护,而且还适用于任何自动开闭的门区区域的安全防夹保护。

参考文献:

[1] 高勇, 屈名胜. 电梯门系统的防夹保护分析 [J]. 中国特种设备安全, 2017, 33 (4): 74-76.
 [2] 回晓明. 对电梯防碰撞装置引起事故的思考 [J]. 中国特种设备安全, 2013, 29 (4): 48-49.
 [3] 曾晰, 赵国军, 王渊平, 等. 一种基于图像识别技术的电梯门控方法 [J]. 信息与控制, 2011, 40 (2): 243-247.
 [4] 程淑红, 高许, 程树春, 等. 基于计算机视觉的运动车辆检测 [J]. 计量学报, 2017, 38 (3): 288-291.
 [5] Wang M, Chen W, Li X D. Hand gesture recognition using valley circle feature and Hu's moments technique for robot movement control [J]. Measurement, 2016, 94: 734-744.