

# 基于机器视觉技术的电梯超载自动化检测研究

严波

(广西壮族自治区特种设备检验研究院, 广西 南宁 530299)

**摘要:**为精准计算目标人员物体在电梯轿厢内的空间占有率,避免超载现象发生,保障电梯安全性,提出了基于机器视觉技术的电梯超载自动化检测方法。采集电梯轿厢图像,并对图像实施去噪处理,获取图像局部方差图,检测电梯轿厢图像目标边缘;提取电梯轿厢图像前景区域目标,计算前景面积占整体图像面积比值获取空间占有率,判断电梯人员及物体总质量是否超载;并进行仿真实验。结果表明:该方法能精准计算目标在电梯轿厢内的空间占有率,自动化检测电梯超载情况,保障电梯安全运行。

**关键词:**机器视觉技术;电梯;超载自动化检测;双三帧差分;小波阈值;空间占有率

**中图分类号:**TP391 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-5276(2023)02-0205-04

## Research on Automatic Detection of Elevator Overload Based on Machine Vision Technology

YAN Bo

(Guangxi Institute of Special Equipment Supervision and Inspection, Nanning 530299, China)

**Abstract:** To accurately calculate the space occupancy rate of the object in the elevator car, avoid the overload phenomenon and ensure the safety of the elevator, an automatic detection method of elevator overload based on machine vision technology is proposed. The elevator car image is collected and denoised to obtain its local variance diagram and to detect its target edge. The foreground area target of the elevator car image is extracted, the ratio of the foreground area to the whole image area is calculated to obtain the space occupancy rate, and whether the total weight of elevator personnel and objects is overloaded is judged. The simulation experiment results show that proposed method can accurately calculate the space occupancy rate of the target in the elevator car, automatically detect the elevator overload, and ensure the safe operation of the elevator.

**Keywords:** machine vision technology; lift; automatic overload detection; double three frame difference; wavelet threshold; space occupancy

## 0 引言

近年高层建筑如雨后春笋般不断增加,电梯成为高层建筑不可或缺的配套设备<sup>[1]</sup>。日常使用中,电梯频繁停靠、零件老化磨损及过负荷超载等问题都直接影响其安全性能<sup>[2]</sup>,存在重大安全事故风险。因此,及时检测电梯超载可大幅度降低电梯安全事故风险<sup>[3-5]</sup>。

有学者利用霍尔传感器检测电梯质量<sup>[6]</sup>,该方法能够检测电梯是否超载并进行预警,但其计算量繁杂,消耗时间成本较大,且后期维护传感器需继续投入运营成本;鄢圣华等通过设计编程软件检测电梯超重情况<sup>[7]</sup>。上述方法均采用称重式的方式检测电梯超载,但无法识别由物体等导致的空间超载的情况,导致在电梯运行时,频频停靠但无法上人,大大降低了电梯的运载效率,且不利于减少能耗。

机器视觉技术处理速度快、信息量大,广泛应用于图像识别、检测、视觉定位等各领域<sup>[8-9]</sup>,本文针对电梯未超

重但空间超载的情况,基于应用机器视觉技术,研究一种电梯超载自动化检测方法,并通过仿真实验测试了其性能。

## 1 基于机器视觉技术的电梯超载自动化检测

传统的称重式超载检测方法是通过质量传感器判定电梯承载质量是否超限,但电梯在实际应用过程中,还存在一种情况,即运送货物,如配送桶装饮用水等,此时电梯未达到质量上限,但电梯内已装满货物无法进入,此时在非目标楼层多次停靠大大降低了电梯的运行效率。因此,考虑引入机器视觉技术,采用摄像头采集电梯内图像,并分析电梯内空地面积占总面积的占比,以此判断电梯是否超载。

### 1.1 基于机器视觉的电梯超载自动化检测流程

在传统的称重式超载自动化检测方法的基础上,设计

**基金项目:**国家质量监督检验检疫总局科技项目(2014QK175);广西科学研究与技术开发计划项目(14122006-11);广西科学研究与技术开发计划项目(AB16380347)

**作者简介:**严波(1983—),男,广西南宁人,高级工程师,硕士,研究方向为特种设备安全关键技术。

了基于机器视觉技术的电梯超载自动化检测方法。当乘客进入电梯时,首先采用质量检测方法检测是否超载,若超载则响起警报;若未超载,则关闭电梯门,判定质量是否达到上限。若达到上限,到达目标楼层前不停靠;若未达到上限,采用基于机器视觉技术的电梯超载自动检测方法检测电梯内空间占有率是否达到上限。若达到上限,则到达目标楼层前不停靠;若未达到上限,电梯正常停靠运行。其中,关键环节为电梯轿厢图像处理。电梯超载自动检测环节详述如下。

1)采集电梯轿厢图像。为获取电梯空间图像信息,在电梯轿厢顶部安装 CCD 工业摄像头,实时采集电梯轿厢内部图像信息。

2)电梯轿厢图像预处理。通过小波阈值算法对电梯轿厢图像进行预处理,去除噪声。为将其噪声干扰降至最低,引入人工蜂群算法求解了噪声去除的最佳阈值及调节参数,以此提升电梯轿厢图像质量,为图像目标进一步提取提供支撑。

3)检测电梯超载与否。基于积分图像求解电梯轿厢图像局部方差,通过二值化处理可快速简便地得到目标边缘区域,利用 Otsu 方法计算其阈值,实现目标边缘检测。采用双三帧差分算法进行目标提取,优化了轮廓提取的完整性。求解电梯轿厢图像中前景面积占比,计算电梯轿厢内人员及物体的空间占有率,从而判定电梯空间是否超载。

该方法通过利用机器视觉技术测量电梯内人或物体的体积,计算空间占比,从而判断电梯空间超载的情况。特别提出的是,在电梯内乘客目标提取的过程中,考虑到传统三帧差分算法对目标信息轮廓提取不完整,且提取不连贯的问题,进行了改进。通过求连续两帧图像的差值得到灰度差分图像,再与设定的阈值对比,从而将目标前景区域完整提取。在此基础上进行电梯乘客空间超载运算,提高了占比运算的准确率,从而在保障电梯安全性的同时提升其运行效率。

## 1.2 人工蜂群算法的小波阈值电梯图像去噪

利用 CCD 摄像头采集电梯轿厢图像,但由于受到工作环境和感光元件过热的影响,初步采集的图像含有噪声干扰,导致图像质量不佳,特征提取不准。且由于电梯轿厢中内部的相机端和外部的控制端接地时,在地电阻和电缆外皮电阻的影响下,有电位差的存在,导致采集的视觉图像中含有大量的椒盐噪声。为此本文通过小波阈值对电梯轿厢图像进行去噪,并利用人工蜂群算法选取最佳阈值和调节参数。人工蜂群算法简称 ABC 算法,利用迭代思想进行循环搜索距离最优值最近的解<sup>[10]</sup>。ABC 算法优化流程主要由初始化蜂群、雇佣蜂、观察蜂、侦察蜂阶段四步骤构成。可利用该方法有效选取合适的阈值和调节参数,实现电梯轿厢图像去噪。电梯轿厢原始图像及去噪后图像分别为  $g(i,j)$ 、 $f(i,j)$ ,计算电梯图像的均方误差及信噪比<sup>[11]</sup>。依据 ABC 算法蜂蜜食物源的适应值目标函数求解。为去除电梯轿厢图像中的噪声,采用基于 ABC 算法的小波阈值来更好地实现,提升去噪效果<sup>[12]</sup>。ABC 算法的小波阈值电梯轿厢图像去噪流程为:

- 1)小波分解带噪电梯轿厢图像,获取小波系数;
- 2)最优阈值及调节参数采用 ABC 算法求解获取,再利用新小波阈值函数对电梯轿厢图像开展去噪处理;
- 3)重建去噪后的小波系数,并将去噪指标及去噪后电梯轿厢图像输出。

## 1.3 基于双三帧差分算法的电梯超载自动化检测

### a) 电梯轿厢图像目标边缘检测

鉴于传统图像局部方差边缘检测算法计算较为繁杂且消耗时间成本高,实用性不高<sup>[13]</sup>。本文采用积分图像求解去噪处理后的电梯轿厢图像局部方差,并利用 Otsu 方法设置电梯轿厢图像灰度阈值,缩短计算时间及繁杂度,实现电梯轿厢图像目标边缘的快速检测。

1)结合积分图像的电梯轿厢图像局部方差快速算法。灰度值大幅度波动的区域为电梯轿厢图像边缘,而数据的波动程度便是局部方差,因此,根据局部方差检测电梯轿厢图像目标边缘。在传统局部方差边缘检测算法中,设一幅  $M \times N$  电梯轿厢灰度图像  $f$ ,则该图像上点  $(x,y)$  的灰度值为  $f(x,y)$ ,归一化处理其灰度值,计算中心点  $(x,y)$  的  $k \times k$  邻域内的平均灰度值和局部方差,结合平均灰度值和局部方差对图像进行二值化处理,求解获得基于积分图像的电梯轿厢局部方差图。

2)Otsu 方法求解电梯轿厢图像局部方差阈值:利用阈值  $k$  将图像划分为两大类,两类灰度级像素分别为  $C_0$ 、 $C_1$ ,阈值的类间方差为  $\sigma_B^2(k)$ ,最佳阈值为  $\sigma_B^2(k^*) = \max_{0 \leq k \leq L-1} \{\sigma_B^2(k)\}$ 。基于最佳阈值在电梯轿厢图像局部方差图中获取目标人员及物体的二值化图像,检测目标区域图像内各个像素点,将最先出现的非 0 像素点视为目标区域边缘边界点。至此,实现电梯轿厢图像内目标人员及物体的边缘检测。

### b) 双三帧差分的电梯轿厢前景区域目标提取

鉴于传统三帧差分算法存在目标信息轮廓提取不完整与实际相差甚远、产生空洞及断连情况概率较大、致使目标漏检风险增大的弊端,对其进行优化后提出双三帧差分算法。其流程为将连续的两帧图像相减求差,获取灰度差分图像,并对其进行阈值化处理,依据设定的阈值将目标前景区域提取出来。双三帧差分算法详细的电梯轿厢目标提取思想为:随机选取边缘检测后电梯轿厢图像中四帧相连图像,分别设为  $F_{i-2}$ 、 $F_{i-1}$ 、 $F_i$ 、 $F_{i+1}$ ,并将相连两帧电梯轿厢图像依次求差分,差分灰度图像分别为  $D_{i-1}$ 、 $D_i$ 、 $D_{i+1}$ ,阈值设为  $T_1$ 、 $T_2$ 、 $T_3$ ,阈值化分割  $D_{i-1}$ 、 $D_i$ 、 $D_{i+1}$  获取电梯轿厢内的阈值化图像  $A_{i-1}$ 、 $A_i$ 、 $A_{i+1}$ ,基于阈值化图像获取电梯轿厢目标区域。将获取的二值化图像  $A_{i-1}$ 、 $A_i$ 、 $A_{i+1}$ ,依次进行相“与”得到  $A_{i-1}$ 、 $A_i$ 、 $A_{i+1}$ ,插值图像阈值化后的交集点为  $T_i$ 、 $A_{i+1}$ 、 $A_i$  描述提取电梯轿厢目标。

为保证电梯轿厢目标轮廓信息更加清晰,求“或” $T_i$ 、 $T_{i+1}$ ,获取电梯轿厢内目标人员及物体最终结果。

### c) 电梯超载检测实现流程

利用双三帧差分对已提取电梯轿厢图像目标边缘区域中的人员及物体进行目标提取。以此计算空间占有率并判定电梯是否超载。电梯超载检测流程详述如下:

- 1) 电梯轿厢图像当前帧、前一帧及后一帧为  $f(x, y, t)$ 、 $f(x, y, t-1)$  与  $f(x, y, t+1)$ , 对其分别进行去噪处理;
- 2) 差分处理  $f(x, y, t)$ 、 $f(x, y, t-1)$  与  $f(x, y, t+1)$ , 处理后获取电梯轿厢差分图像, 分别得到电梯轿厢图像当前帧、前一帧及后一帧差分图像为  $D_1(x, y, t)$ 、 $D_2(x, y, t)$ 、 $D_3(x, y, t)$ ;
- 3) 阈值二值化处理步骤 2) 中获取的电梯轿厢差分图像结果  $D_1(x, y, t)$ 、 $D_2(x, y, t)$ 、 $D_3(x, y, t)$ ;
- 4) 计算阈值二值化处理结果后, 依据计算结果分析即可获取阈值化结果  $B(x, y, t)$ ;
- 5) 将获取  $B(x, y, t)$  阈值化图像结果不清晰的局部图像进行修复填补;
- 6) 采用 Otsu 算法检测去噪后电梯轿厢图像当前帧  $f(x, y, t)$  边缘并将其提出, 获取电梯轿厢图像当前帧人员及物体边缘框架;
- 7) 融合上一步骤得到的电梯轿厢图像当前帧人员及物体边缘框架及步骤 5) 中修复填补局部图像结果, 求解电梯轿厢图像中人员及物体的目标边界线;
- 8) 实现电梯轿厢图像前景目标提取;
- 9) 基于已获取的电梯轿厢前景目标图像, 求解前景面积, 并计算电梯轿厢前景面积占电梯轿厢整体图像面积比值获取空间占有率, 判断电梯空间满载阈值, 并以此检测电梯是否超载。

## 2 实验结果与分析

选取某市级地标建筑物写字楼电梯作为本次实验对象, 通过仿真实验验证本文方法图像去噪效果、目标提取效果及电梯超载自动化检测性能, 并选取文献[6]利用霍尔传感器检测电梯超载方法及文献[7]教学电梯超重检测方法为本文方法对比方法, 通过对比实验验证本文方法有效性。

### 2.1 图像去噪效果分析

采集该建筑电梯轿厢图像, 选取电梯轿厢图像的去噪效果作为评价指标, 分别采用 3 种方法对采集到的图像进行去噪处理, 用图 1 描述 3 种方法去噪效果对比结果。分析图 1 可得, 文献[6]方法处理电梯图像信号噪声波动幅度及波动区域不小, 且偏离正态分布曲线, 去噪效果不佳; 文献[7]方法处理电梯图像信号噪声波动幅度较大且波动区域偏大, 呈大幅度偏离正态分布曲线, 去噪效果较差, 严重影响后续目标人员及物体的提取效果; 本文方法对电梯轿厢图像去噪后信号噪声最为贴近正态分布曲线, 且波动幅度范围极小, 证明本文方法去噪效果极佳, 能够为后续目标边缘检测及目标人员、物体提取提供精准图像信息支撑。

### 2.2 前景区域目标提取效果分析

分为两步骤依次验证本文方法的电梯轿厢前景区域目标提取效果。对电梯轿厢目标边缘检测效果验证, 受篇幅限制, 仅选取其中两幅图像作为代表性结果呈现, 用图 2 及图 3 描述两幅电梯轿厢图像目标边缘检测效果。

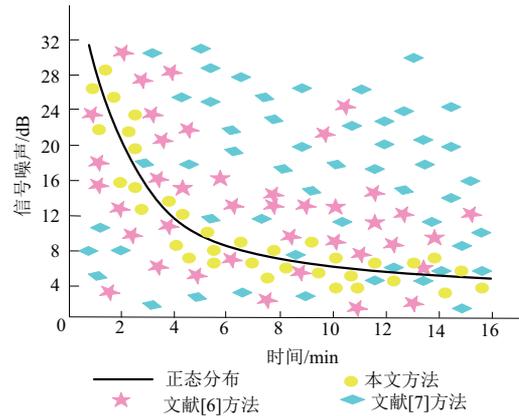


图 1 3 种方法去噪效果对比结果



图 2 图像 1 边缘检测效果



图 3 图像 2 边缘检测效果

验证提取电梯轿厢内目标人员及物体的效果, 受篇幅影响, 选取其中的图像 2 前景区域目标提取作为本次实验结果呈现, 用图 4 描述图像 2 前景区域背景提取结果。观察图 4 可知, 本文方法能够清晰提取电梯轿厢图像前景区域目标, 包括乘客和背包, 为后续求解空间占有率提供精准数据支撑。

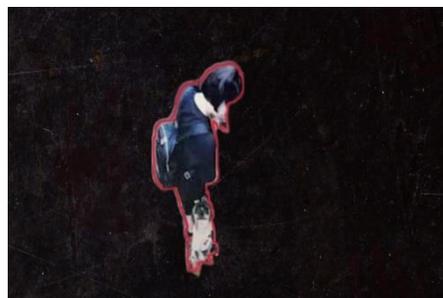


图 4 图像 2 前景区域目标提取结果

### 2.3 电梯超载检测效果分析

利用本文方法检测实验对象建筑电梯超载情况,每两小时为一检测时段,由于篇幅有限,选取一天中的4个高峰时段作为实验结果呈现。用表1描述不同时间段电梯空间占有率计算结果。分析表1可知,该电梯在4个高峰时段人员及物体的空间占有率分别为39.38%、36.22%、49.07%及18.37%,皆控制在50%以内,证明本文方法能够有效检测出电梯超载情况,并控制人员及物体在电梯内空间占有率维持在合理范围内,保障电梯运行安全性。

表1 不同时间段电梯空间占有率计算结果

| 时间段         | 电梯图像像素点总数/个 | 电梯前景图像像素点数/个 | 空间占有率/% |
|-------------|-------------|--------------|---------|
| 6:00~8:00   | 913 720     | 359 810      | 39.38   |
| 10:00~12:00 | 521 560     | 188 904      | 36.22   |
| 16:00~18:00 | 842 106     | 413 230      | 49.07   |
| 20:00~22:00 | 358 698     | 65 890       | 18.37   |

### 2.4 运行效率验证

以某型号电梯为实验对象,该电梯匀速运行速度为2m/s,加速度为 $1\text{m/s}^2$ ,额定载重为1350kg,停靠加速/减速时间为2s,加速/减速运行2m,停靠时开关门时间为3s。楼层为6层,层高4m。设置除1层外每层均有4名乘客等候,且携带大小不一、质量不一的行李箱,行李箱质量在[1.5, 20]kg范围内,乘客体重在[43, 105]kg范围内,乘客进入和离开电梯的时间均需2s,电梯初始停靠位置在6层。以文献[6]的超重检测方法作为对比方法,测试不同方法的运行效率。统计结果如表2所示。

表2 不同方法的运行效率

| 方法      | 运行次序/次 | 停靠次数/次 | 运行时间/s |
|---------|--------|--------|--------|
| 文献[6]方法 | 第1次    | 6      | 78     |
|         | 第2次    | 5      | 72     |
|         | 第3次    | 3      | 52     |
| 本文方法    | 第1次    | 3      | 64     |
|         | 第2次    | 3      | 56     |

由表2可知,文献[6]方法需要运行3次才可以将乘客全部运至目标楼层,总共停靠了14次,总运行时间为202s,而本文方法仅运行2次就将全部乘客运送至目标楼层,共停靠6次,总运行时间为120s。在6、5、4层停靠后,乘客及行李箱未达到上限质量,但空间已不足够再上乘客及行李,但应用文献[6]方法时仅对电梯的质量进行了检测,导致电梯在各楼层均停靠,增加了无效运行时间。而

本文方法采用了机器视觉技术,对电梯内的空间进行了检测,确定空间占有率达到上限后不在中间楼层停靠,提高了电梯运行效率。

## 3 结语

本文提出基于机器视觉技术的电梯超载自动化检测方法,利用CCD工业摄像头采集电梯轿厢内部图像并对其进行去噪处理,再提取目标前景区域,将其对比电梯整体面积计算空间占有率,以此判定是否超载。大量实验数据证明,该方法能够精准提取目标区域并检测是否超载。由于时间及篇幅受限,后续仍有不同方向验证所提方法性能,以弥补不足之处使其更加完善。

### 参考文献:

- [1] 郭晓明,姚斌,李震,等. 高层建筑电梯楼梯协同人员疏散的优化模式研究[J]. 火灾科学,2018,27(1):53-61.
- [2] 金晓磊,樊明辉,潘鹏. 基于ARM的电梯轿厢内人员计数系统[J]. 自动化与仪表,2018,33(4):30-33,62.
- [3] 徐奕森,张建强,王蕊,等. 基于YOLO V3的施工电梯人数检测系统研究[J]. 现代制造技术与装备,2021,57(4):9-12,17.
- [4] 李泽华,柴铮,赵春晖. 基于轿厢加速度解析的电梯运行健康度评价[J]. 控制工程,2021,28(10):1909-1916.
- [5] 戴勇磊,吴遐,张雷,等. 基于机器视觉的电梯钢丝绳缺陷检测方法[J]. 中国电梯,2018,29(7):10-12.
- [6] 朱姗姗,吕磊,王娟. 基于霍尔传感器的电梯超载报警装置的设计[J]. 电子测试,2019(9):32-33.
- [7] 鄢圣华,徐风雷. 教学电梯超重检测系统的设计与实现[J]. 湖北理工学院学报,2019,35(6):7-10.
- [8] 贾志鑫,傅玲琳,杨信廷,等. 机器视觉技术在水产食品感官检测方面的应用研究进展[J]. 食品科学,2019,40(13):320-325.
- [9] 王延哲,陈志强,王雅婷. 基于机器视觉技术的轮轨横向位移测量方法[J]. 铁道建筑,2018,58(11):135-138.
- [10] 王志刚,尚旭东,夏慧明,等. 多搜索策略协同进化的人工蜂群算法[J]. 控制与决策,2018,33(2):235-241.
- [11] 杨勇,李荣,郭芬,等. 改进人工蜂群算法的孤岛混合可再生能源发电系统容量优化[J]. 农业工程学报,2020,36(15):217-226.
- [12] 亢洁,李晓静. 基于RPCA与三帧差分融合的运动目标检测[J]. 计算机应用研究,2018,35(6):1906-1909.
- [13] 何育欣,杨泽静,郑伯川. 基于局部阈值的Canny边缘检测算法[J]. 西华师范大学学报(自然科学版),2019,40(3):316-324.

收稿日期:2022-05-24