

DOI: 10. 13382/j. jemi. B2003151

基于背景减除和特征提取的跌倒识别方法*

司海飞^{1,2} 胡兴柳¹ 史震²

(1. 金陵科技学院 智能科学与控制工程学院 南京 211169; 2. 哈尔滨工程大学 智能科学与工程学院 哈尔滨 150001)

摘要:为了有效监测老年人是否跌倒,提出一种结合背景减除及人体边界的外部轮廓特征提取方法对人体动作行为进行识别。首先,利用背景减除法从视频中提取运动的对象,对提取的运动对象进行预处理;然后利用最小外接矩形和重心检测的方法对运动目标进行特征提取,得到老人整体外部轮廓和重心位置等运动特征;最后根据人体不同姿态,建立运动模型,有效辨识被监护对象的行走、跌倒等动作。实验结果表明,提出的方法可对实际的视频进行有效处理,对人体行为识别的准确性能达到 94.3%。

关键词:行为识别;特征提取;重心;检测;算法

中图分类号: TP391.4;TN06 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.4050

Fall recognition method based on background subtraction and feature extraction

Si Haifei^{1,2} Hu Xingliu¹ Shi Zhen²

(1. College of Intelligent Science and Control Engineering, Jinling Institute of Technology, Nanjing 211169, China;
2. College of Intelligent Systems Science and Engineering, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China)

Abstract: In order to effectively monitor whether the elderly fall, an external contour features extraction combining background subtraction based on human body boundary was proposed, which identify human movement behavior. Firstly, the background subtraction method was used to extract the moving objects from the video, and then the pictures of extracted moving objects were preprocessed. Secondly, the detection method of the minimum external rectangle and the center of gravity was used to extract the moving objects' features, so as to obtain the overall external contour and the center of gravity position of the elderly. Finally, according to the different positions of human body, the movement model was established to effectively identify the movement of the monitored object, such as walking, falling, etc. The experimental results show that the algorithm proposed in this paper can effectively process the actual video, and the accuracy of human behavior recognition reaches 94.3%.

Keywords: behavior recognition; feature extraction; center of gravity; detection; algorithm

0 引言

近年来,我国人口老龄化趋势日益明显,独居老人的日常监护已成为社会关注热点^[1]。通过对老人的有效监护,家人能在最佳救护时间发现老年人跌倒并且采取急救措施^[2]。目前发展了很多的摔倒检测技术来实现老人的有效监护。在老人的穿戴器件中加入加速度传感器,

计算空间相垂直的 3 个方向的加速度,若超过已设定的阈值则表明有跌倒现象,并利用无线技术将位置信息和活动数据将被发送到远程服务器进行处理^[3]。利用陀螺仪传感器检测角度,判断是否大于 70°,若大于则可能有跌倒现象^[4]。应用三轴加速度计和陀螺仪来进行人体跌倒检测并进行数据的收集^[5]。结合声音检测传感器检测和安装在墙上的红外线传感器检测人体姿态和速度,实现老人的跌倒检测^[6]。采用分布式传感结构,设计 3 个

收稿日期: 2020-05-17 Received Date: 2020-05-17

* 基金项目:江苏省自然科学基金面上项目(BK20171114)、国家自然科学基金(61873002)、江苏高校“青蓝工程”中青年学术带头人、金陵科技学院人才引进项目(Jit-rcyj-201604)资助

方向敏感热释电红外(PIR)传感器模块。使用分布式感知模式有效地编码头、上肢和下肢的协同运动模式,从而获得更具区分性的特征^[7]。采用两组热阵列传感器的坠落检测系统,传感器被安装在室内的天花板和墙壁上,每 16×16 pixels 获取一个温度分布。利用时间序列姿态转换图和温度,来检测老人的跌倒^[8]。利用多个多普勒传感器进行坠落检测,通过特征组合或选择方法对提取的传感器数据进行处理^[9-10]。

由于可穿戴传感器和周围环境布设的传感器具有检测精度低、携带困难和受其他因素干扰严重等缺点,随着技术发展特别是运动图像信号处理应用技术的进步,基于视觉传感器的人体跌倒检测越来越受关注。通过计算机视频识别,从视频图像序列中对人体的行为动作特征进行分类,辨识与理解,以实现智能的人机交互,可以大大减少了人们的工作量同时也能及时对异常情况作出处理^[11-13]。提出了一种用专门摄像头获取人体头部的3D运动轨迹和边缘替换识别算法,将其作为人体跌倒检测的判断依据^[14]。在多摄像机视频监控系统中实现自动坠落检测算法,来确定是否发生了坠落事故^[15-16]。通过三维深度图像形状分析计算人体质心,当人体质心距地平面的距离和人体与地平面的夹角均小于某一阈值时,就会检测到坠落事件^[17]。这些方法能有效检测人体跌倒,但涉及的算法比较复杂,处理数据量较大,对于实时性检测来说设备的要求比较高,另外也涉及到个人隐私问题,局限性较大。本文提出的背景减除法及人体边界的外部轮廓特征提取法,能快速检测视频中的运动对象及其运动特征。系统不需要进行深入计算,既可以判别动作的起止时间,又能够提高系统的准确性。而且通过本课题的研究方法只提取人体的外部轮廓信息,而不涉及其具体隐私信息,对未来推广的也是一大亮点。

1 人体行为特征提取

人体运动特征的提取有几个难点,比如动作类别繁多,环境背景的变动,时间变化等。为克服这些难点,可以从全局和局部特征出发,全局特征就是把检测的运动人体的整体轮廓分离出来,从二维图像和三维图像出发,实现人体的二维平面图像的矩形框;三维就是通过某些局部特征平面运动得到,形成三维空间剪影。其次,局部特征就是从视频序列中提取特殊点和感兴趣的点^[18-19],例如人体的重心、面积、头部运动等部位,也可以利用肤色检测检测人的脸部、手等部位。本文基于人的外形特征的方法来识别人体行为,主要包括人体外接矩形的宽长比变化,重心的提取,人体姿态变化率检测。

1.1 最小外接矩形宽长比

为了减少复杂度和运算量,降低空间维度,可以提取

运动目标,确定人体的主轴,然后从人体主轴及垂直与主轴的方向裁剪出一个最小外接矩形。研究发现人在行走时,不同动作下最小外接矩形的宽长比随动作的变化而变化,而且有一定的规律性。所谓宽长比指的是人体外接方框的宽度与长度之比。

如图1所示,人在行走时各个器官受肌肉骨骼的限制,不会产生大的幅度。通过观察图1可以发现,视频图像序列帧的宽长比呈现一定规律。正常行走的时候,人体宽度小于长度使得宽长比 <1 。

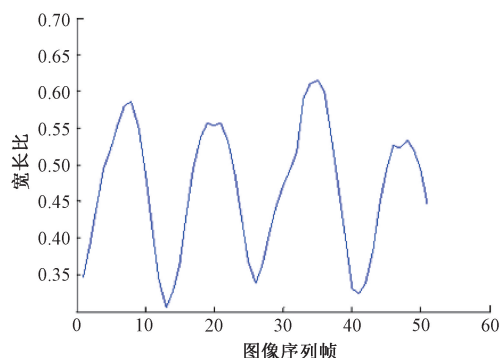


图1 人行走时外接矩形的宽长比

Fig. 1 The ratio of width to length of external rectangle while people walking

1.2 重心的检测

在基于人体外部轮廓的特征提取方法中,重心的提取能够表征人体姿态,人处于站立时重心最高,而跌倒时重心接近地面。人体外部轮廓的重心可利用外部边界的像素点坐标进行计算^[20]。

本文跌倒识别方法依据的检测特征为人体在不同状态时的重心位置。通过数次实验发现,人在正常行走的时候重心最高,这种属于正常行走情况,人在跌倒时重心最低,属于非正常情况。

1.3 人体行为动作变化率

人体行为动作变化率是指相邻两帧间检测到的人体边界矩形的长宽比的变化率。如果相邻两帧的纵横比变化较大,说明人体产生了异于当前行为的动作,此时就必须对此变化进行研究。在本文中,研究跌倒现象可以结合此时的重心的变化,如果人体姿态变化较大就可能有跌倒现象,如果变化缓慢,可能是出现了俯身行为。

2 人体行为特征提取图像的处理

2.1 分帧处理及灰度化处理

分帧处理就是将视频转换为在时间域上的图像序列。而每个图像序列为视频中最小单位帧。图像序列就是将摄像头采集的一组随时间变化的图像,按照一定的

时间间隔进行排序。将采集的视频进行分帧处理,目的是将不稳定、连续的动态图形转化为稳定的、离散的图像帧。

为了简化后面的算法,将对截得的图像序列进行图像灰度化。灰度图像是一维的,表征了黑白图像的像素点的亮度值。这些亮度值可以用不同的从白到黑的灰度等级区分。相比于彩色图像的灰色颜色,灰度化降低了在 RGB 色彩空间的维度,计算大大简便。利用颜色空间转化公式,可以将转化后的灰度图像的灰度值分为 8 byte,其取值范围为 $[0,255]$ 或 $[0,1]$,其中以白黑为两个极限值,取值越大表示颜色越白,取值越小表示灰度越黑。

2.2 图像序列的分割

由于背景帧与当前含有运动目标的图像帧的差异,在有运动目标的区域的点值会产生较大绝对差^[21],从而超过所设定的阈值,使运动目标提取在差分图像中。尽管运动目标区域周围存在一些噪声点,但是人体外部的整体轮廓还是清晰可见的。

本文阈值的选择采用的是最佳阈值法,考虑到像素点差值越大,说明两帧同一地方的差异越明显,为找到最佳阈值,将设定的阈值一点点减小,发现当阈值为 25 时,能提取出平滑完整的运动目标。

背景差分的运动检测经过最佳阈值分割后的图像如图 2 所示。其中,图 2(a)为视频拍摄的墙面的背景图像,图 2(b)为第 72 帧图像序列包含了运动目标,图 2(c)为通过背景减除法得到灰度化差分图像,从运动目标的整体外部轮廓可以看出图像中的人在行走。



图 2 背景减除法提取的运动目标

Fig. 2 Moving objects extracted by background subtraction

2.3 数学形态学处理

从运动目标的二值化图像可以看出,虽然人体整体轮廓提取出来了,但是周边还是存在一些独立的白色像素点,这些是不需要的毛刺,所以需要在人体边界添加或者消除某些像素点。为了使人体边界线看起来更平滑,可以采取膨化腐蚀的数学形态算法处理。

膨胀采取的是形态学上的向量加法运算,将两个向量集进行合并。对图像边界添加像素点,使白色的区域大一圈。选择合适的基本算子集合与图像边界相加,添加一些像素点。膨胀的作用是只要背景图像与人体有接

触,那么就将接触处的像素点填充,增大人体边界轮廓。

腐蚀采取对偶运算,对集合元素进行减法运算。选择合适的结果元素,将与图像边界不同的地方做减法运算,消除周边的多余像素点,也就是将其变成背景像素。腐蚀的作用是消除人体边界的多余像素点,使目标缩小。

本文对二值化图像的后处理是采用膨胀与腐蚀方法,利用膨胀填补人体轮廓的周围的空洞,然后采用腐蚀操作消除人体轮廓的边界点,使人体轮廓扩大,消除小于选择的基本算子的干扰点。

2.4 边缘检测

本文利用 Canny 的变分法和 4 个指数函数项多级边缘算法来进行边缘检测。Canny 边缘检测方法^[22]计算人体亮度大的面积,为排除零散的白色像素点,当亮度大区域面积大于设定的面积阈值,表明为运动目标。Canny 边缘算法前提是图像进行滤波处理,接着在人体边缘设定 4 个方向,计算像素点的梯度的大小和方向,得到最大点的方位和边缘走向。因为边缘是两个部分的亮度的分界点,只要找到亮度导数梯度最大值,边缘就容易检测出来。为保证边缘不断续,可以设定一个滞后阈值,不允许像素梯度值小于设定的小截止值,在假边缘处就能跳过回到真实边缘线。图 3 所示为人行走时的边缘检测。

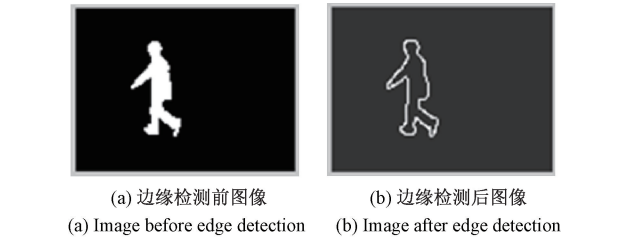


图 3 人体行走时边缘检测
Fig. 3 Edge detection while walking

3 人体行为识别实验及分析

本文实验是以检测老人是否有跌倒行为而做的人体行为动作识别。以在不同环境场景中做成数据集,来检测在这些环境场景中该程序应用能否正确的检测到人体的行为。

实验所用的图片是从走廊拍摄的人体行为视频,程序流程如图 4 所示。将这些视频集做分帧处理,先读取 fall 视频(即走廊跌倒视频),然后读取视频的大小,做一个 for 循环,将视频分割成若干个图像序列,并按顺序命名每个图像帧。通过背景减除法将有差别的地方剪出并保存。再查找每一帧是否与预先保存的背景存在偏差,只要存在偏差,并且偏差大于设定的阈值 25,则将减除的背景保存下来。利用膨胀数学形态学运算将孔洞填

补,用腐蚀将周边像素点消除。边缘检测方法对人体行走和跌倒得到的二值图像进行边缘提取,在边缘提取的基础上得到人体外接矩形,求长宽比的变化。提取重心偏低,存在跌倒现象。

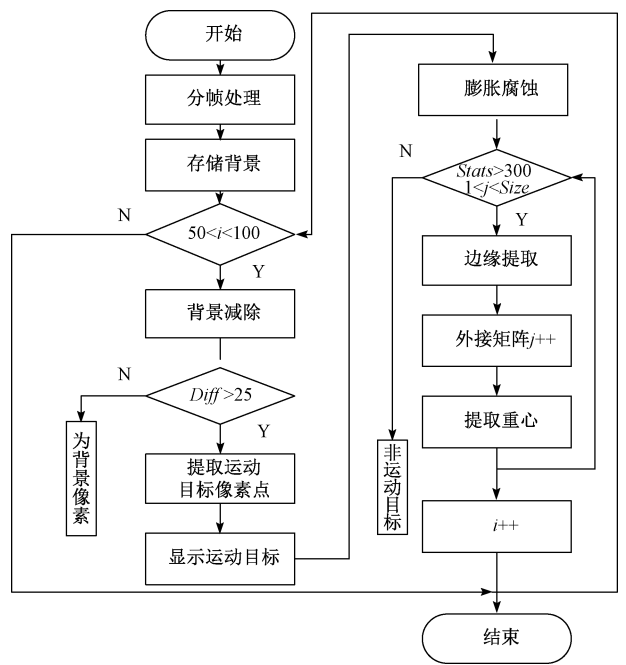


图 4 程序流程
Fig. 4 Procedure flow

3.1 运动目标检测

通过背景减除法,实验对人的行走和跌倒进行目标检测,如图 5 和 6 所示。

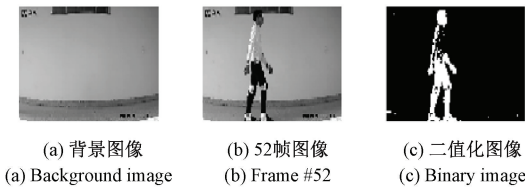


图 5 人体行走
Fig. 5 A walking person

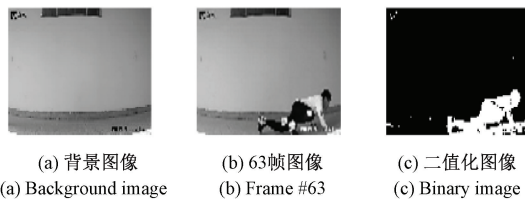


图 6 人体跌倒
Fig. 6 A falling person

从图 5 和 6 可以看出,人在行走时第 52 帧图像和背景图像存在差别,所以通过背景减除法将有差别的地方

剪出并保存,同样跌倒也是如此。将不存在差别的像素点赋值 0,将有差别的像素点赋值 1,从而得到白色的像素块,得到运动目标的二值化图像。

先将图像序列做灰度化处理,简便计算量,然后在出现运动目标的帧数做一个循环,不断查找每一帧是否与预先保存的背景存在偏差,只要存在偏差,并且偏差大于设定的阈值 25,则将减除的背景保存下来,并显示在窗口中。

3.2 形态学处理

从上面图 5 和 6 可以看出,虽然通过背景减除法得到了人体行走和跌倒的差分图像,但是人体周边还是存在一些单独的白色像素点,而人体内部也有一些为填充的孔洞,利用膨胀数学形态学运算将孔洞填补,用腐蚀将周边像素点消除,产生的效果如图 7 和 8 所示。

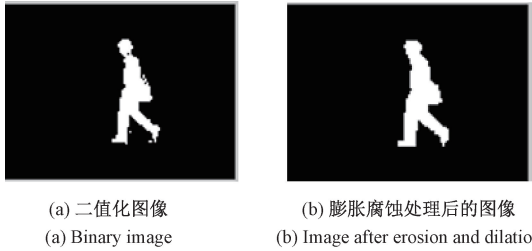


图 7 行走时的膨胀腐蚀处理
Fig. 7 A walking person's image after treatment of expansion and corrosion

从图 7 可以看出,人两腿之间的白色像素点可通过腐蚀算法将其去除,而人后背的孔洞也由膨胀算法将其填满,得到膨胀腐蚀处理的图像。从这个图像可以更清晰的看出人体的外部轮廓。

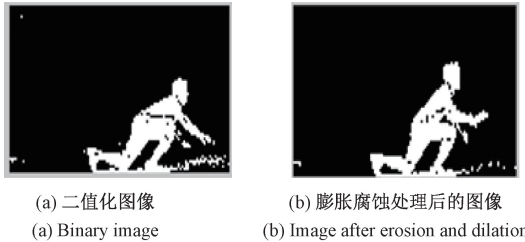


图 8 跌倒时膨胀腐蚀处理
Fig. 8 A falling g person's image after treatment of expansion and corrosion

从图 8 可以看出,人跌倒时地面有人的阴影像素点,通过膨胀腐蚀将阴影部分的像素点大部分消除,这样的操作有利于后面的边缘检测。

3.3 边缘检测和外界矩形

采用上述的边缘检测方法对人体行走和跌倒得到的二值图像进行边缘提取,并在此基础上得到人体外接矩形,求宽长比的变化。产生的效果如图 9~11 所示。

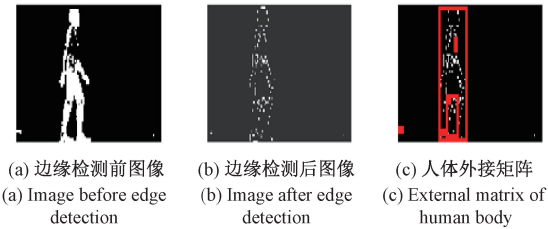


图 9 行走时的边缘检测

Fig. 9 Edge detection while walking

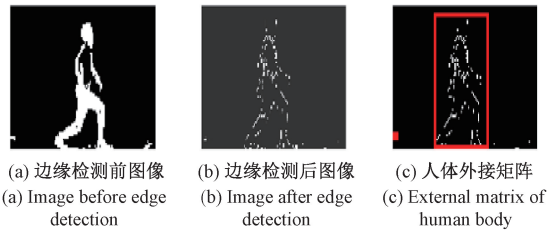


图 10 跌倒的边缘检测(1)

Fig. 10 Edge detection while falling(1)

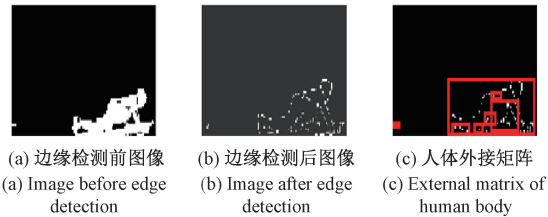


图 11 跌倒的边缘检测(2)

Fig. 11 Edge detection while falling(2)

3.4 重心的检测

人在行走时重心的位置基本不变,可将重心像素点的位置用空间坐标轴表示,分别是时间轴,水平和垂直轴。通过检测最大白色像素块得到重心,将每一帧图像的像素点做标记。如图 12 所示,可以看出行走时重心像素点在一定范围内波动,没有出现较大的偏差。

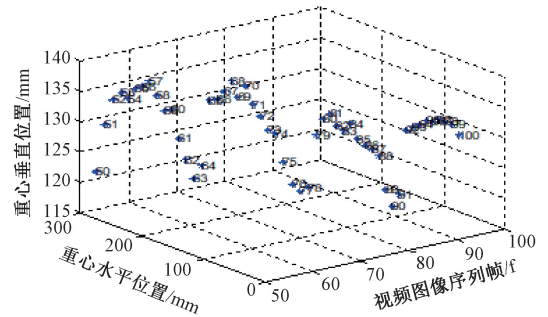


图 12 行走时的重心变化

Fig. 12 Change of center of gravity while walking

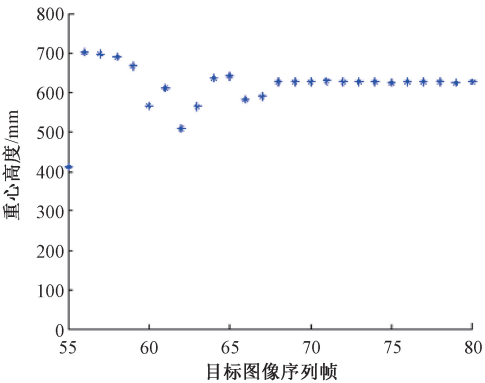


图 13 跌倒时的重心检测图

Fig. 13 Center of gravity detection chart while falling

其表示如图 13 所示,可以看出,在第 55~65 帧存在向下的波动,表明此时重心偏低,存在跌倒现象,而从视频看出在第 50~70 帧确实有跌倒动作,验证了跌倒检测效果。经过实验,该算法对人体动作和行为识别准确性能达到 94.3%。

4 结 论

本文以监测老人跌倒行为为目的进行视频中人体行为动作识别技术研究。目前,不管是通过传感器还是利用视频的手段进行老人的跌倒检测,各有其优缺点,通过视频来观察老人的日常生活还可能涉及到个人隐私问题。而本文所研究的方法只提取人体的外部轮廓信息,而不涉及其具体隐私信息,是未来推广应用的一大突出优点。算法实现快捷,对人体动作和行为识别准确性能达到 94.3%。本文建立算法模型之后,根据实际工作的情况进一步优化模型,可将鲁棒性较好的程序植入到嵌入式硬件平台,利用相应的硬件优势,做到实时响应和处理,提升老人的健康安全。

参考文献

[1] 杨帅,于忠清,苏博群,等.基于轨迹分割的老人行为识别方法[J]. 青岛大学学报(自然科学版),2017,30(1): 103-107.
YANG SH, YU ZH Q, SU B Q, et al. Behavior recognition method for the elderly based on trajectory segmentation [J]. Journal of Qingdao University(Natural Science Edition), 2017,30 (1): 103-107.
[2] 彭亚平,贺乾格,柯希垚,等.一种基于加速度传感器的摔倒检测腰带[J]. 电子测量技术,2018,41(11): 117-120.
PENG Y P, HE Q G, KE X Y, et al. A fall detection belt based on acceleration sensor [J].

为了更明显地观测跌倒时的重心,采用二维坐标将



- Electronic Measurement Technology, 2018, 41(11): 117-120.
- [3] XIA Y, WU Y, ZHANG B, et al. Wireless falling detection system based on community[J]. Journal of Nanoscience and Nanotechnology, 2015, 15(6): 4367-4372.
- [4] SHIEH W, HUANG J. Falling-incident detection and throughput enhancement in a multi-camera video-surveillance system. [J]. Medical Engineering & Physics, 2012, 34(7): 954-963.
- [5] HUYNH Q T, NGUYEN U D, IRAZABAL L B, et al. Optimization of an accelerometer and gyroscope-based fall detection algorithm[J]. Journal of Sensors, 2015, DOI: 10.1155/2015/452078.
- [6] XIONG G L, BAYEN E, NICKELS S, et al. Real-time video detection of falls in dementia care facility and reduced emergency care. [J]. The American Journal of Managed Care, 2019, 25(7): 314-315.
- [7] LIU T, GUO X, WANG G, et al. Elderly-falling detection using distributed direction-sensitive pyroelectric infrared sensor arrays[J]. Multidimensional Systems and Signal Processing, 2012, 23(4): 451-467.
- [8] TANIGUCHI Y, NAKAJIMA H, TSUCHIYA N, et al. A falling detection system with plural thermal array sensors[C]. Soft Computing, 2014: 673-678.
- [9] TOMII S, OHTSUKI T. Falling detection using multiple Doppler sensors [C]. International Conference on E-Health Networking, Applications and Services, 2012: 196-201.
- [10] JEONG S, KANG S, CHUN I. Human-skeleton based fall-detection method using LSTM for manufacturing industries [C]. International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications, IEEE, 2019:1-4.
- [11] 李贤阳, 阳建中, 杨竣辉, 等. 深度运动图耦合正则化表示的行为识别算法[J]. 电子测量与仪器学报, 2018, 32(1): 119-128.
- LI X Y, YANG J ZH, YANG J H, et al. Behavior recognition algorithm for coupled regularization representation of deep motion graph [J]. Journal of Electronic Measurement and Instrumentation, 2018, 32(1): 119-128.
- [12] MALIK R, RASTOGI K, TRIPATHI V, et al. An efficient vision based elderly care monitoring framework using fall detection [J]. Journal of Statistics and Management Systems, 2019, 22(4): 603-611.
- [13] 孟勃, 刘雪君, 王晓霖. 基于四元数时空卷积神经网络的人体行为识别[J]. 仪器仪表学报, 2017, 38(11): 2643-2650.
- MENG B, LIU X J, WANG X L. Human behavior recognition based on quaternion spatiotemporal convolution neural network [J]. Journal of Instrumentation, 2017, 38(11): 2643-2650.
- [14] KHRAIEF C, BENZARTI F, AMIRI H. Vision-based fall detection for elderly people using body parts movement and shape analysis[C]. Eleventh International Conference on Machine Vision, 2019: 110410K, DOI: 10.1117/12.25229606.
- [15] MUSCI M, NARDONE A, PIASTRA M, et al. An extensive, multi-sensor dataset for event and fall detection in human activities that includes video recordings and detailed annotations[J]. Gait & Posture, 2019, 74(S): 25-26.
- [16] YANG L, REN Y, ZHANG W, et al. 3D depth image analysis for indoor fall detection of elderly people [J]. Digital Communications and Networks, 2016, 2(1): 24-34.
- [17] 赵扬, 田国会, 尹建芹, 等. 家庭智能空间下基于 HMM 的人轨迹分析方法[J]. 模式识别与人工智能, 2015, 28(6): 542-549.
- ZHAO Y, TIAN G H, YIN J Q, et al. Human trajectory analysis method based on HMM in family intelligence space [J]. Pattern Recognition and Artificial Intelligence, 2015, 28(6): 542-549.
- [18] ABDELBAKY A, ALY S. Human action recognition using short-time motion energy template images and PCANet features [J]. Neural Computing and Applications, 2020, 32: 12561-12574.
- [19] BABAEI M, DINH D, RIGOLL G. A deep convolutional neural network for video sequence background subtraction[J]. Pattern Recognition, 2018, 76: 635-649.
- [20] 刘娟, 胡敏, 黄忠. Gabor 多方向特征融合与分块统计的表情识别[J]. 电子测量与仪器学报, 2015, 29(11): 1698-1705.
- LIU J, HU M, HUANG ZH. Expression recognition based on Gabor multi-orientation features fusion and block statistics [J]. Journal of Electronic Measurement and Instrumentation, 2015, 29(11): 1698-1705.
- [21] YU T M, YANG J H, LU W. Refinement of background-subtraction methods based on convolutional neural network features for dynamic background [J]. Algorithms, 2019, 12(7): 128.
- [22] SONG R, ZHANG Z, LIU H, et al. Edge connection based Canny edge detection algorithm [J]. Pattern Recognition and Image Analysis, 2017, 27(4): 740-747.



作者简介



司海飞,2001 年于南京师范大学获得学士学位,2009 年于南京师范大学获得硕士学位,现为哈尔滨工程大学博士研究生,金陵科技学院副教授,主要研究方向为模式识别与智能系统、计算机应用技术。
E-mail:sihaif@jit.edu.cn

Si Haifei received his B. Sc. degree from Nanjing Normal University in 2001, M. Sc. degree from Nanjing Normal University in 2009. Now he is a Ph. D. candidate at Harbin Engineering University and an associate professor in Jinling Institute of Technology. His main research interests include pattern recognition and Intelligent system, computer application technology.



胡兴柳,1996 年于安徽工程大学获得学士学位,2004 年于南京航空航天大学获得硕士学位,2012 年于南京航空航天大学获得博士学位,现为金陵科技学院教授,硕士生导师,主要研究方向为智能监测与控制 and 光纤传感。
E-mail:xinghu8@163.com

E-mail:xinghu8@163.com

Hu Xingliu received her B. Sc. degree from Anhui University of Engineering in 1996, M. Sc. degree from Nanjing University of Aeronautics and Astronautics in 2004, and Ph. D. degree from Nanjing University of Aeronautics and Astronautics in 2012. Now she is a professor and M. Sc. supervisor in Jinling Institute of Technology. Her main research interests are intelligent monitoring and optical fiber sensing.



史震(通信作者),1982 年于哈尔滨船舶工程学院获得学士学位,1986 年于哈尔滨船舶工程学院获得硕士学位,2001 年于哈尔滨工程大学获得博士学位,现为哈尔滨工程大学教授,博士生导师,主要研究方向为测试技术、机器人。
E-mail:shizhen@hrbeu.edu.cn

Shi Zhen (Corresponding author) received his B. Sc. degree from Harbin Institute of Ship Engineering in 1982, M. Sc. degree from Harbin Institute of Ship Engineering in 1986, and Ph. D. degree from Harbin Engineering University in 2001. Now he is professor and Ph. D. supervisor at Harbin Engineering University. His main research interests include testing technology and robots.