

文章编号 1004-924X(2017)增-0312-06

改进的归一化转动惯量对人体跌倒的识别

刘丽伟*, 薛春芳, 张宏美, 余学帆

(长春工业大学 计算机科学与工程学院, 吉林 长春 130012)

摘要: 为了实现视频中人体跌倒行为的准确快速检测, 提出一种改进的归一化转动惯量(NMI)特征提取算法。首先利用加速鲁棒性特征(SURF)算法构建特征描述子的理念, 并结合 NMI 特征值提取算法求出特征点的 NMI 值, 然后将视频图像中 NMI 值相差最小的两个特征点确定为匹配点, 并求出两幅图像中相匹配的总特征点数, 最后将求出的特征点匹配数目与跌倒过程中特征点匹配数目的最小值相比, 以此来判断视频中是否出现人体跌倒行为。实验结果表明, 改进的 NMI 特征提取算法对跌倒检测的准确率高达 96%, 且与其他算法相比检测速度快, 平均用时只有 0.138 s。改进后的算法基本实现了行为检测的准确率高、速度快、占用内存小等要求, 是一种行之有效的跌倒识别方法。

关键词: 视频检测; 归一化转动惯量; 特征提取; 特征点匹配; 跌倒行为

中图分类号: TP18; TP212.9 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/OPE.20172513.0312

Recognition of human tumbles based on improved normalized inertia moment

LIU Li-wei*, XUE Chun-fang, ZHANG Hong-mei, YU Xue-fan

(College of Computer Science and Engineering, Changchun University of Technology, Changchun 130012, China)

* Corresponding author, E-mail: liuliwei@ccut.edu.cn

Abstract: In order to detect human tumble behavior in videos quickly and accurately, an improved Normalized Moment of Inertia (NMI) feature extraction algorithm was proposed, which used the idea of SURF to structure feature retrieve, and combine SURF with NMI to calculate the NMI values. Taking the feature points with the closet NMI values in the two images of video as the matching points, the total of matching points were calculated between the two images. Moreover, the number of the feature points was compared with the minimum of feature points in a tumble video, thus judging whether a tumble behavior has happened or not. The results show that accuracy rate of this improved NMI algorithm runs up to 96%, and the average recognition time is 0.138 s, which is faster than other algorithms. The algorithm occupies a little internal storage and detects quickly and accurately, which is a feasible and effective approach to detect human actions.

Key words: video detection; normalized moment of inertia; feature extraction; feature points matching; fall behavior

收稿日期: 2017-06-01; 修订日期: 2017-06-22.

基金项目: 吉林省教育厅“十三五”科学技术研究项目(No. 2016-35)

1 引言

智能监控视频中的人体行为检测与识别是现阶段研究的重要课题,通过主动分析视频中的人体行为并将异常情况显示出来,既可减少工作量,还可降低漏检和误判的概率。现阶段对于人体跌倒行为的判断,一部分研究者采用支持向量机(Support Vector Machine, SVM)理念^[1-2],通过对已知行为的建模,用模型对视频中的行为进行分类,判断是否为异常行为。这种方法的基本条件是需要足够多的样本,因此需要占用较大的内存,而且当样本数量有限时无法达到满意的效果,实现起来很困难。蒲兴成等采用计算视频帧 Hu 矩^[3]来描述人体形态特征的算法,此算法需要通过特定公式计算出人体形态的 7 个不变矩组,并与数据库里的相应不变矩组比较来判断人体形态,因此计算量较大。也有一些学者利用目前已有的数据库^[4-5],如 KTH 数据库、UCF11 数据库等,结合线性 SVM 对人体行为进行建模并分类,但是有些数据库并不包含人体跌倒等异常行为,因此使用起来不够方便。

本文利用加速鲁棒性特征^[6-7](Speeded Up Robust Features, SURF)理念提取特征值,即归一化转动惯量(Normalized Moment of Inertia, NMI)^[8-9],通过计算目标行为的 NMI 值并将其转化为特征点的 NMI 值,比较视频不同帧之间相匹配点的个数即可判断出视频中是否发生了剧烈运动,因此对于行动缓慢的独居老人可检测出它是否跌倒。SURF 是尺度不变特征变换算法 SIFT 的加速版,通过构造海森矩阵提取出图像中特征点并确定特征点的主方向,然后通过构造 SURF 特征描述子对两幅图中的特征点进行匹配。相比 SIFT, SURF 匹配速度更快,而且处理多幅图片时具有更好的鲁棒性。因此利用 SURF 提取特征点和对特征点匹配,在速度与准确率方面较其他方法有明显改善。NMI 特征提取一般只用于比较两幅图片的相似度,本文将此算法用于视频图像中,由于 NMI 特征提取具有比例不变性、旋转不变性、平移不变性的特点,实验过程中不会因

目标与摄像头距离较远或较近而影响结果,而且受遮挡影响较小,判断结果更加精准。通过结合 NMI 与 SURF,可有效区分出跌倒与正常行为(包括躺下、行走、弯腰、下蹲等),占用内存较小、误判率低、判断速度快,与其它方法相比有更广阔的应用前景。

2 NMI 算法及改进

2.1 二值化图像的 NMI 特征值提取

对于二值化处理后的图像,在图像的 (x, y) 位置处像素点的灰度值通常用坐标函数 $f(x, y)$ 表示,而且 $f(x, y)$ 也可以被看作是在图像 (x, y) 处像素点的质量。再结合质心、物体质量和转动惯量的概念及其相互之间的关系,可做出以下推导:

用 M 和 N 分别表示二值图像中目标高和宽,即目标最小外接矩形高和宽, $m = \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N f(x, y)$ 是二值图像所有的灰度值 $f(x, y)$ 之和,即图像中不包括背景部分的目标的总质量。质心 (c_x, c_y) 对 x 轴和 y 轴产生的静矩分别为 $M_x = m \times c_y$ 和 $M_y = m \times c_x$,并已知 $M_x = \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N y \times f(x, y)$, $M_y = \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N x \times f(x, y)$,则图像质心 (c_x, c_y) 的横纵坐标分别表示为:

$$c_x = \frac{M_y}{m} = \frac{\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N x \times f(x, y)}{\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N f(x, y)}, \quad (1)$$

$$c_y = \frac{M_x}{m} = \frac{\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N y \times f(x, y)}{\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N f(x, y)}. \quad (2)$$

图像围绕质心 (c_x, c_y) 的转动惯量 $J_{(c_x, c_y)}$ 可表示为:

$$J_{(c_x, c_y)} = \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N [(x, y) - (c_x, c_y)]^2 f(x, y) = \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N [(x - c_x)^2 + (y - c_y)^2] f(x, y). \quad (3)$$

根据质心与转动惯量之间的关系,由式(1)~

式(3)可得出图像绕质心 (c_x, c_y) 的归一化转动惯量为:

$$NMI = \frac{\sqrt{J(c_x, c_y)}}{m} = \frac{\sqrt{\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N ((x-c_x)^2 + (y-c_y)^2) f(x, y)}}{\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N f(x, y)} \quad (4)$$

2.2 NMI 特征提取算法改进

本文算法利用 SURF 特征点匹配理念对视频图像中的特征点进行 NMI 特征提取,算法流程图如图 1 所示。

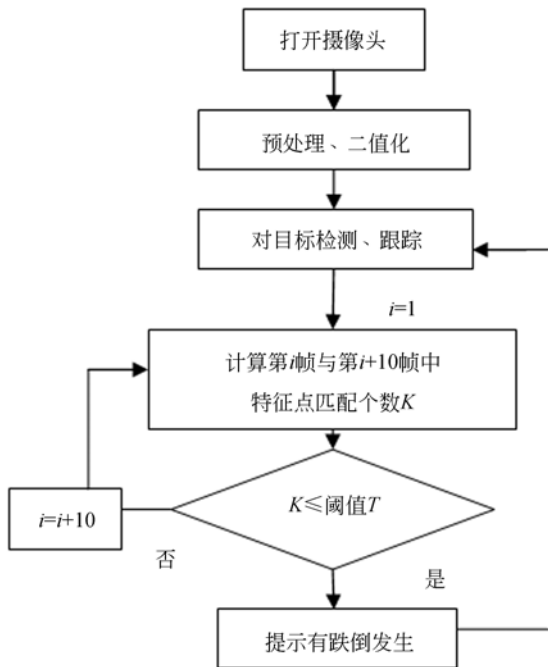


图 1 基于 SURF 特征点的 NMI 特征提取算法流程图
Fig. 1 Flow chart of NMI feature extraction based on SURF feature points

算法步骤为:

(1) 本算法采用高斯混合模型^[10]对目标检测,用卡尔曼滤波^[11]对目标进行跟踪;

(2) 特征点匹配个数 K 的计算需要结合 SURF,将目标行为的 NMI 值转化为特征点向量矩阵的 NMI 值,具体算法为:

SURF 提取特征点并确定特征点的主方向后,利用其构造特征描述算子理念,在特征点周围取一邻域并且以特征点为中心将邻域分为 4×4 ,

因此特征点质量为:

$$m = \left| \sum_{x=-2}^2 \sum_{y=-2}^2 f(x, y) \right| \quad (5)$$

其中: $f(x, y)$ 是特征点 (x, y) 的特征向量。质心 (c_x, c_y) 为:

$$c_x = \frac{\sum_{x=-2}^2 \sum_{y=-2}^2 x \times f(x, y)}{\sum_{x=-2}^2 \sum_{y=-2}^2 f(x, y)} \quad (6)$$

$$c_y = \frac{\sum_{x=-2}^2 \sum_{y=-2}^2 y \times f(x, y)}{\sum_{x=-2}^2 \sum_{y=-2}^2 f(x, y)} \quad (7)$$

特征点围绕质心 (c_x, c_y) 的转动惯量 $J_{(c_x, c_y)}$ 可表示为:

$$J_{c_x, c_y} = \sum_{x=-2}^2 \sum_{y=-2}^2 [(x, y) - (c_x, c_y)]^2 f(x, y) = \sum_{x=-2}^2 \sum_{y=-2}^2 [(x-c_x)^2 + (y-c_y)^2] f(x, y) \quad (8)$$

特征点的归一化转动惯量为:

$$NMI = \frac{\sqrt{J_{(c_x, c_y)}}}{m} = \frac{\sqrt{\sum_{x=-2}^2 \sum_{y=-2}^2 ((x-c_x)^2 + (y-c_y)^2) f(x, y)}}{\sum_{x=-2}^2 \sum_{y=-2}^2 f(x, y)} \quad (9)$$

在视频第 i 帧与第 $i+10$ 帧中, NMI 值相差最小的特征点为匹配点,匹配点个数用 K 表示。

(3) 图 1 中 T 代表跌倒过程中匹配点数的最小阈值。由于在跌倒过程中,目标形态发生较大的改变,两图中相匹配点数是最少的,因此根据多次试验设定一个合适的 T ,若 K 不大于 T ,则判断此时视频中有跌倒行为。

3 结果与分析

本文在实验过程中的环境是 Windows2007, 32 位操作系统, 3 GHz 的处理器和 2 GB 的运行内存,利用 OpenCV 视觉库并在 VS2013 平台上运行。拍摄视频用的是外接摄像头,方便调整距离,所拍视频的每帧像素为 640×480 。

图 2 和图 3 为视频中人体由行走走到跌倒过程中的两张截图,图 2 是人体行走过程中截取的帧

图像,图 3 为人体跌倒时的截图,其中黑色框为跟踪结果,中间红点是人体的质心,上方黑色数字代表视频的当前帧数。图 4 是视频第 55 帧与第 65 帧特征点匹配的效果图。



图 2 跟踪目标

Fig. 2 Object tracking



图 3 目标跌倒

Fig. 3 Object falling

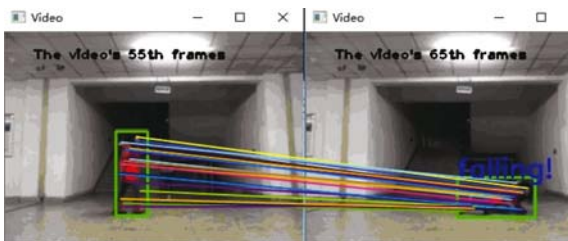


图 4 第 55 帧与第 65 帧图特征点匹配

Fig. 4 Match of feature points between the 55th and the 65th frame

行为检测过程中特征点匹配数的变化如图 5 和图 6 所示。图 5 为跌倒过程中每隔 10 帧所求的特征点匹配数,图 6 为跌倒行为与正常行为特征点匹配数对比。由图 6 可知,跌倒过程第 51 帧与 71 帧之间的匹配点数快速减少到 25,视频中发生了跌倒行为,而正常行为的匹配点数都大于 25。因此,判断其他视频中人体行为时,将相邻两图的特征点匹配数与 25 相比,若不大于 25,则判

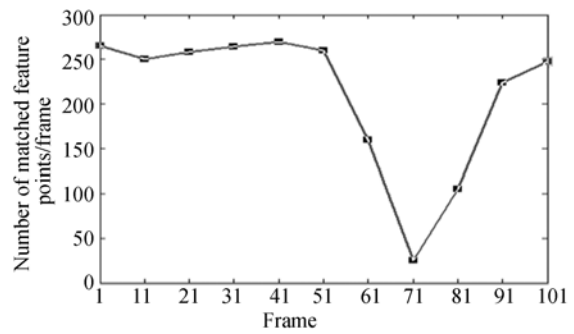


图 5 跌倒行为特征点匹配数

Fig. 5 Number of matched feature points in falling behavior

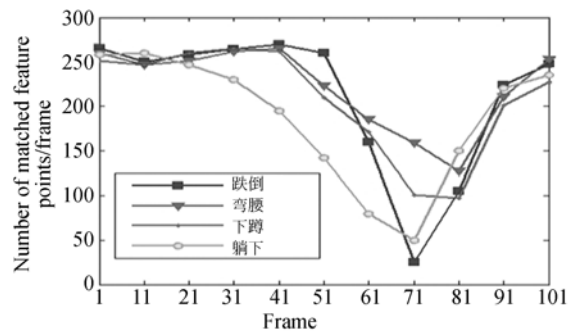


图 6 跌倒行为与正常行为对比

Fig. 6 Contrast between falling behavior and normal behaviors

断为跌倒。

通过比较,对于人体运动时弯腰、下蹲、躺下的正常行为,人体姿势的变化比跌倒时缓慢,尤其是老年人,所以很容易区分出跌倒与非跌倒。表 1 为实验过程中跌倒行为和各正常行为的检测结果对比。

表 1 正常行为和跌倒行为的实验检测结果

Tab. 1 Experimental results of normal behaviors and falling behavior

行为	实验组数	报警数	正确率/%
行走	30	0	100
弯腰	30	1	96.7
下蹲	30	1	96.7
躺下	30	2	93.3
跌倒	30	29	96.7

由以上实验结果可得,本文所采用的方法能

够实时检测出人体的跌倒行为。在前边已经提到,NMI 特征具有比例不变性、旋转不变性和平移不变性,对于两个不同的跌倒视频,检测结果与人体和摄像头的距离无关,如图 7 和图 8 所示。



图 7 近距离跌倒时

Fig. 7 Image of target falling near camera



图 8 远距离跌倒时

Fig. 8 Image of target falling far from camera

在同一视频中,若人体在来回移动,即使人体与摄像头间的距离在短时间内改变较大时(包括人体受到遮挡),对检测结果也不会有较大影响,如图 9 和图 10 所示。



图 9 目标未受到遮挡

Fig. 9 Image of normal target



图 10 目标受到遮挡

Fig. 10 Image of occluded target

由以上实验结果可得,本文所用算法对跌倒的检测速度与摄像头的机位、人体和摄像头的距离、人体是否受到遮挡无关。

相比于其他几种跌倒检测算法,如文献[3]的Hu 不变矩算法,文献[4,5]的数据库与 SVM 结合的算法,本文算法在检测速度、准确率方面有较大的优势,对比数据如表 2 所示。

表 2 本文算法与其他跌倒检测算法的检测结果比较
Tab. 2 Comparison of test results between other algorithms and proposed algorithm

算法	准确率/%	平均用时/s	目标被遮挡时准确率/%
Hu 不变矩	90	0.405	56.7
行为数据+SVM	93.3	0.337	46.7
本文算法	96.7	0.138	68.3

4 结 论

本文主要研究了一种通过分析特征点匹配数目来识别人体跌倒行为的算法,通过计算视频中匹配点数目的变化,并和跌倒过程中最少匹配点数做比较,判断出人体是否跌倒。实验结果表明,本算法简单,准确度高,平均用时只有 0.138 s,可有效检测人体姿态变化,为解决独居老人跌倒后及时救助的问题提供了技术保障。

参考文献:

- [1] 裴利然,姜萍萍,颜国正. 基于支持向量机的跌倒检测算法的研究[J]. 光学 精密工程, 2017, 25(1): 182-187.

- PEI L R, JIANG P P, YAN G ZH. Research on fall detection system based on support vector machine[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2017, 25(1):182-187. (in Chinese)

- [2] 张宇洋,刘满华,韩韬. 基于 Mean Shift 图像分割和支持向量机判决的候梯人数视觉检测系统[J]. 光学精密工程, 2013, 21(4):1079-1085.
ZHANG Y Y, LIU M H, HAN T. Elevator-waiting people counting system based on Mean Shift segmentation and SVM classification[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2013, 21(4):1079-1085. (in Chinese)
- [3] 蒲兴成,王涛,张毅. 基于改进 Hu 矩算法的 Kinect 手势识别[J]. 计算机工程, 2016, 42(7):165-172.
PU X CH, WANG T, ZHANG Y. Kinect gesture recognition based on improved Hu moment algorithm[J]. *Computer Engineering*, 2016, 42(7):165-172. (in Chinese)
- [4] SULTANI W, SALEEMI I. Human action recognition across datasets by foreground-weighted histogram decomposition[C]. *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2014: 764-771.
- [5] HASAN M, Roy-Chowdhury A K. Incremental activity modeling and recognition in streaming videos [C]. *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2014: 796-803.
- [6] 罗家祥,林畅赫,王加朋,等. 结合深度卷积网络与加速鲁棒性特征配准的图像精准定位[J]. 光学精密工程, 2017, 25(2):469-476.
LUO J X, LIN CH H, WANG J P, *et al.*. Accurate image locating combining deep convolution network with SURF registering[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2017, 25(2):469-476. (in Chinese)
- [7] 苗权,谷延锋. 视频中基于场景变化分类的在线 SURF 特征匹配[J]. 小型微型计算机系统, 2016, 37(12):2760-2764.
MIAO Q, GU Y F. On-line sorted SURF feature matching adapting to different scene changes [J]. *Journal of Chinese Computer Systems*, 2016, 37(12):2760-2764. (in Chinese)
- [8] 屈冰广,杨晓苹. 基于基准点和 NMI 的手背静脉识别算法研究[D]. 天津:天津理工大学, 2016.
QU B G, YANG X P. *Hand Vein Recognition Based on Reference Point and NMI*[D]. Tianjin :Tianjin university of Technology, 2016. (in Chinese)
- [9] 朱月秀,陈志翔. 基于 n 阶 R-NMI 特征的手势识别[J]. 漳州师范学院学报, 2013, (2):28-30.
ZHU Y X, CHEN ZH X. Gesture recognition based on n order R-NMI feature [J]. *Journal of Zhangzhou Normal University*, 2013(2):28-30. (in Chinese)
- [10] 陈莹,朱明,刘剑. 高斯混合模型自适应微光图像增强[J]. 液晶与显示, 2015, 30(2):300-309.
CHEN Y, ZHU M, LIU J. Automatic low light level image enhancement using Gaussian mixture modeling [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2015, 30(2):300-309. (in Chinese)
- [11] 杨鹏生,吴晓军,张玉梅. 改进扩展卡尔曼滤波算法的目标跟踪算法[J]. 计算机工程与应用, 2016, 52(5):71-74.
YANG P SH, WU X J, ZHANG Y M. Target tracking method based on improved Kalman filter algorithm [J]. *Computer Engineering and Applications*, 2016, 52(5):71-74. (in Chinese)

作者简介:



刘丽伟(1974—),女,吉林通化人,博士,副教授,硕士生导师,1997年、2000年于吉林工学院分别获得学士、硕士学位,2007年于长春光机所获得博士学位,主要研究领域为模式识别和智能系统。E-mail: liuliwei@ccut.edu.cn



薛春芳(1991—),女,山西朔州市,硕士研究生,2015年于山西师范大学获得学士学位,主要研究领域为图像处理与机器视觉。E-mail: 1107002167@qq.com