

基于内距离形状上下文的跌倒检测方法

王亚飞, 杨 庚, 李百惠

(南京邮电大学 计算机学院, 江苏 南京 210003)

摘 要:在全球社会老龄化的大背景下,老年人的身体健康状况和晚年生活质量需要更多的关注。跌倒在老年人群中发生率高并且带来的后果比较严重。文中提出一种应用于家庭场景的基于 Inner-Distance 形状上下文 (Inner-Distance Shape Context, IDSC) 的跌倒检测方法。该方法通过 Inner-Distance 形状上下文获得视频帧前景形状的描述信息,使用形状匹配方法对视频序列中人体形状变化进行量化。对形变量化信息使用动态时间规整 (Dynamic Time Warping, DTW) 方法实现跌倒行为的判定。实验结果表明该方法可有效、快速地判断跌倒,提取结果具有较好的查准率和查全率。

关键词:跌倒检测;形状上下文;动态时间规整

中图分类号:TP301

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2014)03-0058-05

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2014.03.015

Fall Detection Approach Based on Inner-distance Shape Context

WANG Ya-fei, YANG Geng, LI Bai-hui

(College of Computer Science & Technology, Nanjing University of Posts & Telecommunications,
Nanjing 210003, China)

Abstract: Faced with the growing population of seniors, the society needs to pay more attention to the life quality and health condition for seniors. What's more, falls in the elderly population have a high incidence and a more serious consequence. An adaptive fall detection approach based on inner distance shape context in home environment is presented. This method is based on analyzing human shape deformation during a video sequence. A inner distance shape context method is used to track the person's silhouette along the video sequence. The shape deformation is then quantified from these silhouettes based on shape analysis methods. Finally, falls are detected from normal activities using dynamic time warping methods. Experiments show that the fall detection approach proposed can detect the falls effectively and rapidly, the results have good precision and recall ratio.

Key words: fall detection; inner distance shape context; dynamic time warping

0 引 言

根据国家统计局第六次人口普查数据,我国 60 岁以上人口已占全国总人口的 13.26%,我国已经进入人口老龄化社会。面对着日益严重的人口老龄化趋势,国家和政府需要建立许多新型信息系统以确保老年人在家庭环境中的安全。根据中国社会科学院的统计数据,我国的空巢老人数量已经达到一亿。对于空巢老人,跌倒对他们的人身安全及健康造成了巨大的威胁。受到跌倒时的重力影响,老年人很可能不能移动甚至于失去知觉。

目前绝大多数的跌倒检测技术都是基于加速

器^[1-3]或者求助按钮。但是老年人常常会忘记穿戴跌倒检测装置。同时跌倒可能会使老年人不能移动或者失去知觉,那么预先设置的求助按钮也就不能发挥作用。此外,长期佩戴跌倒检测装置可能会产生身体不适感。

随着计算机硬件性能的提高,使用计算机视觉系统解决上述的问题成为了一种可能。在计算机视觉系统下,老年人不再需要佩戴复杂的装置。同时,从获取的实时视频中还可以获得大量其他的信息。比如,当前人的位置,运动的情况以及具体的动作。通过计算机视觉系统,不但可以识别跌倒,同时还可以对人员的

收稿日期:2013-05-20

修回日期:2013-08-26

网络出版时间:2014-01-08

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61272084,61202004);江苏省高校自然科学研究重大项目(11KJA520002);江苏省科技支撑计划(社会发展)项目(BE2011826);高等学校博士学科点专项科研基金资助课题(20113223110003,20093223120001)

作者简介:王亚飞(1989-),男,硕士研究生,研究方向为计算机视觉、计算机在通信中的应用;杨 庚,博士,教授,研究方向为无线传感器网络与安全、网络安全、分布与并行计算、移动计算。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20140108.0818.019.html>

进出情况、室内环境的变化等等进行监控。

1 相关工作

现有的研究已提出一些跌倒检测算法,其中文献[4-5]通过分析前景帧中人外轮廓的外接闭包来判定跌倒。在摄像头置于人的侧面的情况下,这种方法的执行效率最高,但是在遇到物体遮挡的情况,其错误率也会大幅度提高。传统的矩形闭包,在受噪声影响下,存在近似不精确的问题。为此,Jean Menunier^[6]提出了改进的基于运动历史图像(MHI)的近似椭圆闭包的检测系统。他们通过背景剪除的方法提取前景人物,利用矩的统计信息获得近似椭圆,计算椭圆的倾角、长短轴比率以及椭圆区域的MHI统计值来判断是否发生跌倒。然而,一般摄像头都会置于屋顶以获得更广阔的视野并避免遮挡。

Lee and Mihailidis^[7]通过对前景中人的水平速度进行分析以判定跌倒。Zhong Zhang等^[8]实现了三种基于速度判断跌倒的方法。第三种方法通过对单帧下人体重心的运动速度,以及多帧下人体重心的运动速度变化进行统计分析,取得了较高的识别率。像素级的2D速度同样被用来检测跌倒,但是这种算法存在的问题是:速度大小会受到人力摄像头的距离影响。因此判定跌倒的阈值需要随着人离摄像头距离逐级变化。然而,在实现过程中,测距功能需要双目摄像头的支持。

Caroline Rougier^[9]提出了使用形状上下文(Shape Context)来匹配轮廓,通过形状分析的方法来判断跌倒。使用形状分析的方法能够一定程度地解决遮挡问题,但是Shape Context使用整体的统计信息,忽略了人体的局部信息,以及其刚性变化。对此,文中使用Inner-Distance形状上下文(IDSC),来获取形状信息并使用动态时间规整(Dynamic Time Warping,DTW)判定跌倒。其中,IDSC不仅表征形状的局部特征,也反映其全局特征,这种局部点的全局特征信息对遮挡、非线性失真等有良好的鲁棒性。

2 背景知识

这一节简述混合跌倒检测的基本原则,依据Noury^[10]的论文,自动化的跌倒检测方法有如下几种。

- (1)缺乏明显的运动:正常情况下,人在跌倒后的一小段时间内会保持禁止或者只有细微的运动。
- (2)人躺在地上的位置:这种方法对于年轻人可能是行之有效的,但是对于睡眠时间不固定的老年人而言可能会导致较高的错误率。
- (3)人躺在地面上:该方法通过对室内所有地板

都装配传感器以检测人是否在地面上,但人跌倒在其他物体上(如沙发)时,该方法则无法检测。

(4)人对地板的撞击:通过传感器很容易就可以计算出撞击的强度,但是在计算机视觉系统下则很难实现。

(5)垂直速度:通过设定不同的阈值,可以区分跌倒和其他正常行为(坐下、步行等等)。

区别于以上几种特征,Caroline Rougier提出了一种新的特征(人体形状变化)来判定跌倒。此特征不需要传感器,在计算机视觉系统中就可以直接获取。

人体形状变化:在日常活动中,发生正常行为时,人体形状的变化是连续并且缓慢的,而在跌倒发生的情况下则会出现剧烈的变化。而且此特征的获取并不依赖传感系统,仅在计算机视觉的系统下就可以实现。

人体形状变化特征在计算机视觉系统下便于获取且对遮挡问题具有一定的鲁棒性。为此,文中通过计算人体形状变化的量化信息来判定跌倒。主要步骤如下:

- (1)前景边缘提取。
为了对人体形状变化进行分析,需要对连续两帧的前景进行比较。文中选择部分边缘点作为特征点进行分析。其中,人的前景通过一个背景剪除算法获得,前景的轮廓通过Canny算子获得。
- (2)使用Inner-Distance形状上下文进行形状匹配。

上一步提取的特征点被用来对相邻两帧的前景进行匹配。其中形状匹配是获取形变信息的一种很好的方法。文中采用Inner-Distance形状上下文作为匹配算法,该算法不仅表征形状的局部特征,也反映其全局特征,这种局局部点的全局特征信息对遮挡、非线性失真等有良好的鲁棒性。Caroline Rougier使用形状上下文作为匹配算法,该算法考虑的是全局统计特征因此丧失部分局部信息。形状上下文的具体内容将在第3节给出。

- (3)形状分析。
文中使用平均匹配代价进行形状分析。它是一个优秀的形状分析工具,可以精确地量化表示两个图形之间的差异。

- (4)使用DTW判定跌倒。
最后文中使用动态时间规整的方法判定跌倒。具体内容见第3节。

3 基于IDSC的跌倒检测算法

3.1 前景边缘点提取

前景一般通过背景剪除的方法获得。通过建立背景模型,可以实时地更新背景。当前帧剪除掉实时背

景即可获得实时的前景。文中采用了李百惠等提出的基于改进的 GMM 前景提取算法。该算法能够对视频帧中每个像素的高斯分布数目进行动态控制,对复杂变化场景具有较好的适应性,可有效、快速地提取前景目标。文中使用 Canny 算子进行前景轮廓的提取。

3.2 形状上下文

形状上下文(Shape Context, SC)由 Belongie 等^[11]等提出。它描述了特征点和其相邻点之间的空间(距离和角度)分布关系。给定前景边缘的 n 个特征点 x_1, x_2, \dots, x_n , 其中任意一点的形状上下文通过描述其和剩余的 $n-1$ 点空间关系的对数极坐标直方图 h_i 定义。

$$h_i = \#\{x_j: j \neq i, x_i - x_j \in \text{bin}(k)\} \quad (1)$$

其中对数极坐标直方图通过将各特征点 x_i 置于坐标重心获得。

用 C_{ij} 来表征两个形状之间点(p_i, q_j)的匹配代价。其中 C_{ij} 使用一个 χ^2 分布来表示:

$$C_{ij} = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^K \frac{[h_i(k) - h_j(k)]^2}{h_i(k) + h_j(k)} \quad (2)$$

其中 $h_i(k)$ 和 $h_j(k)$ 分别代表 p_i 和 q_j 点的 K-bin 直方图。

通过计算任意两点之间的匹配代价值,找出一个排列 $\pi(i)$ 使得所有匹配代价之和最小,可以得到任意两点的对应关系。

$$H(\pi) = \sum_i C(p_i, q_{\pi(i)}) \quad (3)$$

3.3 Inner-Distance 形状上下文

Inner-Distance 形状上下文^[12]在形状上下文的基础之上选取 Inner-Distance 而不是欧几里得距离。相比于形状上下文,其不但可以表示全局信息还可以表征局部信息,对遮挡问题具有更好的鲁棒性。文中选取其对前景进行描述。下面给出 Inner-Distance 的定义和计算方法。

首先,定义一个形状 $O \in R^2$, 其中 O 是闭合的。给定其中两点 $x, y \in O$, x, y 两点之间的 Inner-Distance 记为 $d(x, y; O)$ 。其为 O 中连接 x 和 y 两点的最短距离。

其中所求最短可能存在多条的情况。在这种情况下从中随机选取一个。此外,文中只选取边界点作为特征点。通过由特征点连接构成的多边形来近似表示形状。

计算 Inner-Distance 的一种方法是使用最短路径算法,具体步骤如下:

(1) 利用已有的特征点初始化一个图。每一个特征点都被当做图的一个节点进行处理。对于图中的一点对 p_1, p_2 , 若连接二者的直线完全在前景图形中,则

将 p_1, p_2 之间的边加入图中,权值为 $\|p_1, p_2\|$ 。

(2) 使用最短路径算法对图进行更新。文中采用的是 Floyd 的最短路径算法,其具有 $O(N^3)$ 的时间复杂度。

Inner-Distance 形状上下文使用 Inner-Distance 代替欧几里得距离,使用起点处的切线与最短路径(路径上的第一条线段)之间的夹角代替了两点之间与 x 轴的夹角。这些改进使得 IDSC(见图 1)既包含了全局信息也包含了局部信息。其余 h_i 和 C_{ij} 的计算则与形状上下文相同。

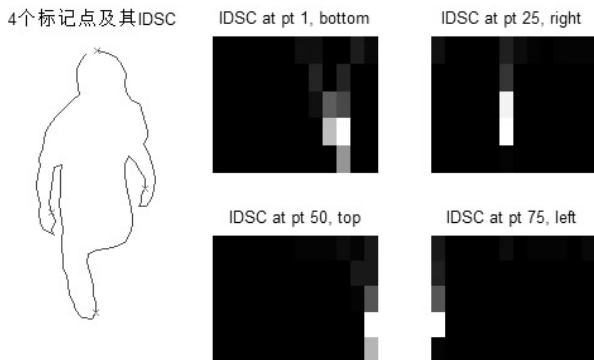


图 1 内距离形状上下文(右图为左图标记点的 IDSC)

3.4 形状分析

使用最佳匹配点的平均匹配代价 \bar{C} 来量化异常形变。其中 \bar{C} 的定义如下:

$$\bar{C} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N C(n) \quad (4)$$

其中, $C(n)$ 为第 n 个最佳匹配点的匹配代价; N 为最佳匹配点的数目。当平均匹配代价 \bar{C} 大于设定阈值(文中取 0.25)时,则判定可能发生跌倒,后续继续使用动态时间规整的方法对之后的 5 s 内 \bar{C} 序列进行匹配以最终进行跌倒判定。动态时间规整的具体内容在 3.5 节给出。

3.5 动态时间规整

模板匹配法是模式识别中最常用的一种相似度计算与匹配的方法,在识别领域很常见。如果把不同 \bar{C} 的序列作为不同的模板,则可以构建一个简单的模板匹配系统对跌倒进行判断。为了简单处理文中采用欧几里得距离来进行相似度量。

参考模板表示为: $R = [R_1, \dots, R_m, \dots, R_M]$, 其中 M 为参考模板所包含的特征值总数, m 为特征值的时序标号, R_m 为第 m 个特征值。

测试模板表示为: $T = [T_1, \dots, T_n, \dots, T_N]$, 其中 N 为测试模板中特征值总数, n 为时序标号, T_n 为第 n 个特征值。

文中考虑的为 $N \neq M$ 的情况,此时需要将其中较

小模式的用某种夸张的方法映射到较大模式序列上,然后再分别计算新的各对应特征值之间的失真,从而求得总失真 $D[T, R]$,此问题可通过动态时间规整解决。

设测试模板 T 共有 N 个特征矢量,参考模板 R 有 M 个特征矢量,将测试模板和参考模板的特征矢量号分别在坐标系的横轴和纵轴上标出,则各个特征矢量号之间的关系可以形成一个网格,网格中的任何一个交叉点 (n, m) 表示测试模板的 $T(n)$ 和参考模板 $R(m)$ 相交,并且该交叉点拥有失真度为 $D[T(n), R(m)]$ 。

动态时间规整算法是要寻找一条通过各个交叉点的从起始点到终止点的最佳路径,使得该路径上所有交叉点的失真度总和达到最小。上述搜索过程中路径的选择并不是任意的。首先,考虑到实际手势的操作情况,虽然快慢会有所变换,但是各个部分先后次序不可能颠倒,因此上述路径必然从左下角出发,终止于右上角;其次,为了防止盲目的搜索,一般不容许有向横轴或纵轴过分倾斜的路径,而且一般对路径中各点处路径斜率的最大、最小值做出规定,通常规定最大斜率为 2,最小斜率取为 $1/2$ 。

为了描述 DTW 路径上网格点的关系定义函数 $\varphi(n_i, m_i)$,表示路径上当前点 (n_i, m_i) 的前一个网格点。有等式关系 $\varphi(n_i, m_i) = (n_{i-1}, m_{i-1})$,其中 (n_{i-1}, m_{i-1}) 必须满足下列情况之一:

$$(n_{i-1}, m_{i-1}) = (n_i - 1, m_i) \quad (5)$$

$$(n_{i-1}, m_{i-1}) = (n_i - 1, m_i - 1) \quad (6)$$

$$(n_{i-1}, m_{i-1}) = (n_i - 1, m_i - 2) \quad (7)$$

定义路径代价函数 $d[(n_i, m_i)]$,其意义为从起始点 (n_0, m_0) 出发到当前点 (n_i, m_i) 的各点失真累计值,有如下递推公式:

$$\begin{aligned} d[(n_i, m_i)] &= d[T(n_i), R(m_i)] + d(n_{i-1}, m_{i-1}) = \\ &D[T(n_i), R(m_i)] + \text{MIN} \{d[(n_{i-1}, m_i)], d[(n_i - 1, m_i - 1), d[n_i - 1, m_i - 2]]\} \end{aligned} \quad (8)$$

$$d[(n_1, m_1)] = d[1, 1] = d[T(1), R(1)] \quad (9)$$

其中, $D[T(n_i), R(m_i)]$ 为当前点 (n_i, m_i) 对应的 $T(n_i)$ 和 $R(m_i)$ 失真; $d[(n_{i-1}, m_{i-1})]$ 为前一点 (n_{i-1}, m_{i-1}) 的路径代价函数。

由上面的递推公式,即可求得从起始点到终止点的最佳路径,计算出长度不同的特征序列之间的最小失真度总和 $D[T, R] = d[N, M]$ 。

4 实验结果及分析

为了研究上文所述方法的可行性,设计实验验证上述方法在复杂场景下的适应性。实验视频采用蒙特利尔大学跌倒视频集^[12]进行测试,该测试集包括以下

场景(见图 2)。



图 2 部分实验数据

(1) 正常日常行为。

主要内容有:沿不同方向行走,做家务,画面存在小遮挡情况,画面存在大的遮挡情况,坐下,起立等。

(2) 模拟的跌倒行为。

主要内容有:前向跌倒,后向跌倒,坐下时发生跌倒等。

图 3 给出了图 2 向后跌倒情况下的平均匹配代价的变化情况。图中第 300 帧到第 325 帧时间发生跌倒,第 340 至第 380 帧为跌倒后静止情况。

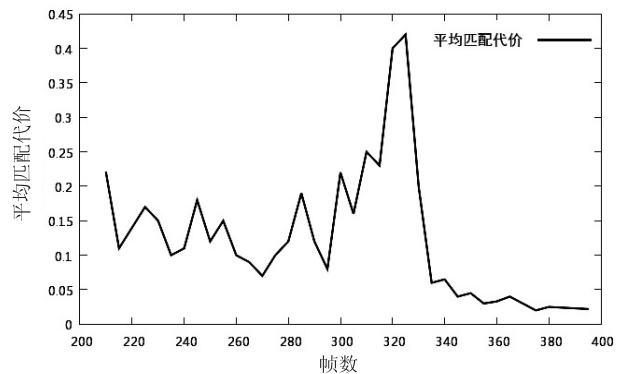


图 3 平均匹配代价

对所有待检测数据,检测结果可以分为以下几类进行统计:

为跌倒行为并正确检测的数目(True Positives, TP);

为跌倒行为未检测出来的数目(False Negatives, FN);

为正常行为被检测为跌倒的数目(False Positives, FP);

为正常行为并未检测成跌倒的数目(True Negatives, TN)。

则检测正确率可以定义为:

$$Ac = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \tag{10}$$

检测错误率可以定义为：

$$Er = \frac{FP+FN}{TP+TN+FP+FN} \tag{11}$$

依据公式(5)和(6)对正确率和错误率的计算方法,表 1 给出了不同方法对跌倒行为进行检测的正确率和错误率。

表 1 不同特征下跌倒检测结果

特征	ER/%	AC/%
(ρ_1,ρ_2)	45.5	54.5
(v_{y1},v_{y2})	31.3	68.7
(v_{yn1},v_{yn2})	44.4	55.6
$SC(\overline{c_1},\overline{c_2})$	29.2	70.8
$IDSC(\overline{C},DTW)$	24.5	75.5

上述方法中,使用外接椭圆的长短轴比率的方法所取得的效果较差。受到阴影、灯光、遮挡、人携带物等要素的影响,外接椭圆的提取往往是不精确的。使用 2-D 垂直速度的方法,受到摄像机视角的影响较大,当人离摄像机变近时,其速度也会随之变大。归一化的 2-D 垂直速度方法,引入人的外接闭包进行归一化,一定程度优化了检测效果,但是由于上述的光线遮挡等问题,外接闭包并不能很好地近似人体形状。由于形状上下文具有尺度、旋转平移不变性,其能够很好适应光线、视角的变化,因此取得了较好的实验结果。文中提出的 IDSC,则在形状上下文的基础上,添加了局部信息,其可以更好地表述局部刚性变化,因此相比形状上下文方法取得了更好的检测结果,见表 1。

5 结束语

文中提出了一种基于内距离形状上下文的跌倒检测方法。该方法通过 Inner-Distance 形状上下文获得视频帧前景形状的描述信息,使用形状匹配方法对视频序列中人体形状变化进行量化。最终,对形变量化信息使用动态时间规整方法实现跌倒行为的判定。在实验中,该方法可得出较好的查准率和查全率。但该方法仍存在不足之处,在后续的研究中需要继续改进方法以适应遮挡等问题。

参考文献：

[1] 石 欣,熊庆宇,雷璐宁. 基于压力传感器的跌倒检测系统研究[J]. 仪器仪表学报,2010,31(3):715-720.

[2] Li Q,Stankovic J A,Hanson M A,et al. Accurate,fast fall detection using gyroscopes and accelerometer-derived posture information [C]//Proc of sixth international workshop on wearable and implantable body sensor networks. [s. l.]: IEEE,2009:138-143.

[3] 王 荣,章 韵,陈建新. 基于三轴加速度传感器的人体跌倒检测系统设计与实现 [J]. 计算机应用,2012,32(5):1450-1452.

[4] Bian Z P,Chau L P,Magnenat-Thalmann N. Fall detection based on skeleton extraction [C]//Proceedings of the 11th ACM SIGGRAPH international conference on virtual-reality continuum and its applications in industry. [s. l.]: ACM,2012:91-94.

[5] Vaidehi V,Ganapathy K,Mohan K,et al. Video based automatic fall detection in indoor environment[C]//Proc of international conference on recent trends in information technology. [s. l.]: IEEE,2011:1016-1020.

[6] Rougier C,Meunier J,St-Arnaud A,et al. Fall detection from human shape and motion history using video surveillance [C]//Proc of 21st international conference on advanced information networking and applications workshops. [s. l.]: IEEE,2007:875-880.

[7] Lee T,Mihailidis A. An intelligent emergency response system;Preliminary development and testing of automated fall detection [J]. Journal of telemedicine and telecare,2005,11(4):194-198.

[8] Zhang Z,Becker E,Arora R,et al. Experiments with computer vision methods for fall detection[C]//Proceedings of the 3rd international conference on pervasive technologies related to assistive environments. [s. l.]: ACM,2010.

[9] Rougier C,Meunier J,St-Arnaud A,et al. Robust video surveillance for fall detection based on human shape deformation [J]. IEEE transactions on circuits and systems for video technology,2011,21(5):611-622.

[10] Noury N,Fleury A,Rumeau P,et al. Fall detection principles and methods[C]//Proc of 29th annual international conference on engineering in medicine and biology society. [s. l.]: IEEE,2007:1663-1666.

[11] Belongie S,Malik J,Puzicha J. Shape matching and object recognition using shape contexts [J]. IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence,2002,24(4):509-522.

[12] Ling H,Jacobs D W. Shape classification using the inner-distance[J]. IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence,2007,29(2):286-299.

基于内距离形状上下文的跌倒检测方法

作者：[王亚飞](#)，[杨庚](#)，[李百惠](#)，[WANG Ya-fei](#)，[YANG Geng](#)，[LI Bai-hui](#)

作者单位：[南京邮电大学 计算机学院, 江苏 南京, 210003](#)

刊名：[计算机技术与发展](#)

英文刊名：

Computer Technology and Development

ISTIC

年，卷(期)：

2014(3)

本文链接：http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjfz201403015.aspx