

人群运动方向异常检测算法

刘 赏 董林芳

(天津财经大学信息科学与技术系 天津 300222)

摘 要 运动方向是人群运动的一个重要特征。运动方向统一有序的人群运动中,人与人之间的受力小、存在碰撞的可能性低;而在方向杂乱的运动中,人与人之间受力较大、存在碰撞的可能性大,进而可能会导致踩踏等安全事故。因此,给出了一种新的人群运动方向异常检测方法,该算法利用光流法计算出人群的速度矩阵和运动方向矩阵,基于以上两个矩阵计算出“帧非同向运动指数”,并以此为依据来评价当前运动人群的运动是否存在异常。实验表明,“帧非同向运动指数”直接体现了当前人群运动是否有序,因而基于运动方向的人群异常检测算法能够有效地检测出人群运动方向是否发生了混乱,以避免在方向杂乱的运动中发生危险事故。

关键词 光流法,运动方向,人群运动异常,公共安全

中图分类号 TP391.41 **文献标识码** A

Abnormal Crowd Movement Direction Detection Algorithm

LIU Shang DONG Lin-fang

(Information Science and Technology Department, Tianjin University of Finance & Economics, Tianjin 300222, China)

Abstract Direction is an important feature of crowd movement. The force between each other is small and the possibility of collision is low in orderly crowd movement, while they are higher in messy crowd movement which can lead to security incidents, i. e. stampede. A new algorithm is proposed in this paper which detects the direction of abnormal crowd movement. First, this algorithm computes the velocity matrix and direction matrix by using optical flow method, and by these two matrices an index—“different movement index of frame” is computed. This index can indicate whether abnormal crowd phenomenon is appeared. The experiment results show that this index is relative with the messy degree of crowd movement. This algorithm can detect the abnormal movement effectively, which can avoid danger caused by messy movement.

Keywords Optical flow algorithm, Movement direction, Abnormal crowd movement, Public safety

1 引言

聚集、撤离、骚乱等人群异常现象往往会导致危害人生命安全事故的发生,例如踩踏。随着监控技术的发展和人们对公共安全日趋的重视,基于视频的人群异常检测研究近年来成为国内外学者关注的一个领域,并取得了大量成果。人群异常是受到多个因素影响的复杂现象,其衡量标准也是多方面的,例如人群密度、人群运动速度、人群运动方向等。目前的研究主要集中在基于人群密度和运动速度方面^[2,3,6,7]。

本文研究发现,当人群发生异常时,除了体现在密度和速度上,也体现在运动方向上。当人群运动速度达到一定阈值时,如果运动方向是统一有序的则表示人群进行的是有组织有计划运动;而当人群的运动方向是杂乱而不稳定的,则表示人群运动出现了骚乱、聚集、撤退等异常现象。其原因在于:在正常状况下,人群运动存在“自组织”现象,即人群中所有个体的行进方向基本一致。单个行人如果与人流主方向逆

向行走,会感到频繁受到来自各方向的碰撞、挤压,难以移动,比较吃力。因此大多数人会避开逆行的人流,走在同向行进的人流里。但在发生突发事件的情况下,由于慌乱情绪、行人的前进方向会发生改变,例如发生火灾时,行人会希望尽快离开危险逃离到安全地带。这时,人群“自组织”现象会被打破,人群中个体的运动方向会发生混乱^[1,10]。

基于以上分析可以得出,运动方向是人群运动的一个重要特征。在运动方向统一的情况下,人与人之间的受力小、存在碰撞的可能性低;而在方向杂乱的运动中,人与人之间受力较大、存在碰撞的可能性大,进而可能会导致踩踏等安全事故。因而,本文在研究人群运动方向的基础上,提出一种新的基于运动方向的人群异常检测算法。该算法利用光流法计算出人群的速度矩阵和运动方向矩阵,并分析、计算出当前帧的“帧非同向运动指数”,以此为依据来评价当前运动人群的运动是否存在异常和存在发生安全事故的危险。其中,“帧非同向运动指数”是指当前图像中所有“非同向运动”像素点个数

本文受天津市高等学校科技发展基金计划项目:基于视频分析的人群异常群体行为模式研究(20080816),天津市高等学校科技发展基金计划项目:基于无线视频的安全监护系统研究(20090809)资助。

刘 赏(1977—),女,博士,副教授,主要研究方向为图形图像处理,E-mail:liushangw@yahoo.com.cn;董林芳(1972—),女,博士,副教授,主要研究方向为图形图像处理。

的平均值,所谓“非同向运动”是指该运动像素邻域内的与其运动方向不一致、可能会发生碰撞的像素点。

2 光流法

光流是指运动物体在被观测面上的像素点运动产生的瞬时速度场。光流不仅携带了运动物体的运动信息,而且还携带了有关景物三维结构的丰富信息,它能够在不知道场景的任何信息的情况下,检测出运动对象。

光流法的基本原理是:设 F_i 为当前视频中的某帧图像, F_i 中的每一个像素点 (x_i, y_i) 都有一个速度矢量 $v_i, i=1, \dots, n, n$ 为该图像中像素点的个数。所有的速度矢量形成了一个图像运动场。在运动的一个特定时刻,图像上的点与三维物体上的点一一对应,这种对应关系可由投影关系得到,根据各个像素点的速度矢量特征,可以对图像进行动态分析。如果图像中没有运动物体,则光流矢量在整个图像区域是连续变化的。当图像中有运动物体时,目标和图像背景存在相对运动,运动物体所形成的速度矢量必然和邻域背景速度矢量不同,从而检测出运动物体及位置。

目前常用的光流法有 Shi and Tomasi 的特征点选择、Lucas and Kanade 的特征跟踪算法和金字塔迭代的方法。这些方法都为本文快速和可靠地提取光流信息提供了重要的保障。本文采用金字塔光流法计算光流,分析得到运动物体的方向信息,并由此分析运动方向是否存在异常^[4]。

3 基于方向的人群运动方向异常检测算法

出现突发状况时,由于个体的慌乱情绪,人群的运动方向会出现混乱现象。本文给出的基于运动方向的人群异常检测方法通过计算“帧非同向运动指数”来检测视频中的人群运动方向混乱现象。

3.1 基于光流法的速度矩阵计算

根据光流法的计算原理,目标物体运动产生的位移是通过坐标差的方式来表示的,即物体的运动速度是通过计算相邻帧之间特征点坐标的欧式距离得到的。对于给定视频,时刻 t 的图像帧为 F_i ,经过时间 Δt 后的图像帧为 F_j 。若 p_i 为帧 F_i 上的某一运动像素,则帧 F_j 中与之对应的像素点为 p_j 。若 p_i 的坐标为 $(x_i, y_i), p_j$ 的坐标为 (x_j, y_j) ,则在 Δt 时间内所产生的位移是 $\Delta x = x_j - x_i, \Delta y = y_j - y_i$ 。设 p_i 在时刻 t 的运动速度 v ,则 $\Delta x / \Delta t$ 为 v 在水平方向的运动分量, $\Delta y / \Delta t$ 为 v 在垂直方向上的运动分量。一般情况下, Δt 的值很小,即用于计算光流的两幅帧图像相邻很近,所以可以用 Δx 来表示 v 在水平方向的运动分量,用 Δy 表示 v 在垂直方向上的运动分量。速度 v 的大小即为 $|v| = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$ 。

图像上所有像素点的速度构成速度矩阵,在该速度矩阵中通常包含冗余信息和噪声。一般来说, $|v|$ 值很小或者很大的光流向量都是噪声。例如, $|v|$ 值很小的光流向量是因为环境光变换而形成的,其对应的像素是属于静止背景的。因而,本文通过设置速度大小的阈值来对这些值进行预处理,以消除明显不符合运动规律的光流向量。减少后的光流向量还包含主要运动物体的运动信息,不影响对于运动的分析^[5]。

3.2 方向矩阵计算

本文利用 α 来表示运动方向,即当前像素点的速度矢量与水平轴所成的角度为 α 。若当前像素点的速度矢量为 v ,则

其在水平和垂直方向上的运动分量分别为 Δx 和 Δy 。当速度的大小 $|v| > 0$ 时,可通过以下公式计算得到运动方向 α 的值: $\alpha = \arctg(\Delta y / \Delta x), -180^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$,若 $|v| = 0$ 时,则说明该位置对应的像素点没有运动,其对应的运动方向 α 设为 $-\infty$ 。对每个速度分量进行计算分析,可得到运动方向矩阵 $A = \{\alpha\}$,其中每一个分量都为角度。

设 α_i 为像素 p_i 的运动方向, α_j 为像素 p_j 的运动方向,则可使用 $|\alpha_i - \alpha_j|$ 来表示运动方向的差异,例如当 $|\alpha_i - \alpha_j| = 0^\circ$ 时,表示两像素按照完全相同的方向运动,当 $|\alpha_i - \alpha_j| = 180^\circ$ 时则表示两像素按照相反的方向运动。在人群中个体运动的方向基本一致的情况下,方向矩阵中所有角度的值都是在一定范围内的,如图 1(a)所示。当人群中个体运动的方向是混乱、无序时,如图 1(b)所示,其方向矩阵中的各个角度值的差值较大。

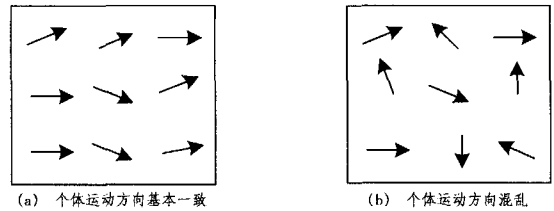


图1 人群中个体运动方向

3.3 人群的运动方向异常分析

人群行进方向分为以下3种情况:同向运动、异向运动和相对运动。分别如图 2(a)–(c)所示。其中,图 2(a)为同向运动,即两个分量朝着一个目标方向前进;图 2(b)为相对运动,即两个分量朝着两个完全相反的方向运动;不属于以上两种情况的运动,本文统称为交叉运动,如图 2(c)所示,在该情况下,每个行人需要穿越其它运动方向的行人的路径。因此常在运动过程中自形成不同的集团以期避免与其它运动方向的行人发生碰撞。

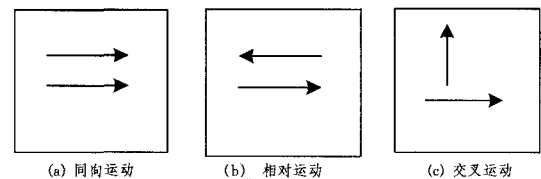


图2

在运动速度正常时,同向运动是最安全的人群行进方式,个体受到的碰撞和挤压较小,不会发生安全事故。在相对运动时,当人群密度较低时,行人可以自由地运动而不和其它方向的行人碰撞,然而当人群密度增大时,行人运动潜在碰撞的可能。在交叉运动时,每个行人需要穿越其他运动方向的行人的路径,因此会在运动过程中自形成不同的分组以期避免与其它运动方向的行人发生碰撞,若当人群中产生任何的扰动时,会导致拥挤事故。因此,在相对运动和交叉运动中,由于个体的运动方向不一致,可能会感到频繁受到来自各方向的碰撞、挤压,较容易发生拥挤、踩踏等安全事故。因而,人群运动方向异常检测主要目的是检测当前运动的人群中是否存在大量的交叉运动和相对运动,本文把交叉运动和相对运动统称为“非同向运动”,并给出定义如下。

定义1 若 p_i 为帧图像 F_i 上位于 (x_i, y_i) 的运动像素, p_j 为 F_i 上位于 (x_j, y_j) 的运动像素。 p_i 的运动方向为 α_i, p_j

的运动方向为 α_j 。当 $|\alpha_i - \alpha_j| \geq 90^\circ$, p_i 和 p_j 为“非同向运动”。

下面对“非同向运动”像素点的碰撞可能性和受力情况进行分析。若 p_i 为帧图像 F_i 上位于 (x_i, y_i) 的运动像素, p_j 为 F_i 上位于 (x_j, y_j) 的运动像素。 F_i 的速度矩阵为 V , 方向矩阵为 $A1$ 。 p_i 在 V 上对应分量为 v_i , p_j 在 V 上对应分量为 v_j ; p_i 在 $A1$ 上对应分量为 α_i , p_j 在 $A1$ 上对应分量为 α_j 。 则 $|(x_i + v_i \cos \alpha_i) - (x_j + v_j \cos \alpha_j)| < |x_i - x_j|$ 或者 $|(y_i + v_i \sin \alpha_i) - (y_j + v_j \sin \alpha_j)| < |y_i - y_j|$ 。 $|(x_i + v_i \cos \alpha_i) - (x_j + v_j \cos \alpha_j)| < |x_i - x_j|$ 表示 p_i 和 p_j 在 x 方向越来越接近, $|(y_i + v_i \sin \alpha_i) - (y_j + v_j \sin \alpha_j)| < |y_i - y_j|$ 表示 p_i 和 p_j 在 y 方向越来越接近。 因而, 在“非同向运动”中, 如果在某一时刻, 两个运动像素运动到了同一位置, 则该两个运动像素存在碰撞和受力的可能。

本文研究发现只有两个像素点 p_i 和 p_j 的方向角度的差值的绝对值大小满足以下条件 $|\alpha_i - \alpha_j| \geq 90^\circ$ 时, $|(x_i + v_i \cos \alpha_i) - (x_j + v_j \cos \alpha_j)| < |x_i - x_j|$ 或 $|(y_i + v_i \sin \alpha_i) - (y_j + v_j \sin \alpha_j)| < |y_i - y_j|$ 成立。 也就是说, 当两个运动像素点的运动方向满足 $|\alpha_i - \alpha_j| \geq 90^\circ$, 两者为“非同向运动”。

通常, 相隔较远的“非同向运动”个体潜在的碰撞概率较低, 而距离较近的“非同向运动”个体存在碰撞的可能性高。 速度矩阵 V 中每个分量具有自己的速度, 可以预测在没有外力的情况下, 下一时刻该光流点的位置。 若 p_i 为帧图像 F_i 上位于 (x_i, y_i) 的运动像素, v_i 是速度矩阵中 (x_i, y_i) 处的分量, 则 v_i 的大小为 $|v_i|$, 方向为 α_i 。 根据光流法的原理, 经过单位时刻, 运动像素 p_i 应该运动到位置 $(x_i + |v_i| \cos \alpha_i, y_i + |v_i| \sin \alpha_i)$ 。 由于 $-1 \leq \cos \alpha_i \leq 1, -1 \leq \sin \alpha_i \leq 1$, 因此运动像素 p_i 的下一时刻的位置位于半径为 $|v_i|$ 的圆形邻域内。 因而, 本文检测当前光流点的大小为 $2r$ 邻域内存在多少个相对或者交叉运动的光流点, 其中, $r = \sqrt{\frac{\text{width} * \text{height}}{k}}$ 为当前帧中光流点的平均半径, width 为帧图像的宽度, height 为帧图像的高度, k 为光流点的个数。

像素点 p_i 的邻域被分成 r_1, r_2, r_3 和 r_4 4 个子邻域, 如图 3 所示。 当 p_i 对应的运动方向 $\alpha_i \in [0, 90)$ 时, r_1 子邻域为 p_i 下一时刻的可能位置; 当 p_i 对应的运动方向为 $\alpha_i \in [90, 180)$ 时, r_2 子邻域为 p_i 下一时刻的可能位置; 当 p_i 对应的运动方向 $\alpha_i \in (-90^\circ, -180^\circ]$ 时, r_3 子邻域为 p_i 下一时刻的可能位置; 当 p_i 对应的运动方向 $\alpha_i \in (0, -90^\circ)$ 时, r_4 子邻域为 p_i 下一时刻的可能位置。

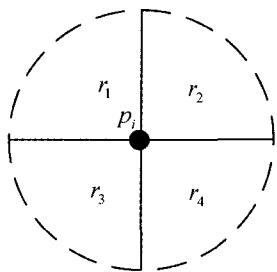


图 3 运动像素点的邻域划分

由以上分析可以看出, 与像素点 p_i 可能发生碰撞的运动像素也可以根据其运动角度 α_i 分为 4 个区域。 当 $\alpha_i \in [0, 90)$ 时, 与 p_i 可能发生碰撞的运动像素位于 r_1 子区域内; 当

$\alpha_i \in [90, 180)$ 时, 与 p_i 可能发生碰撞的运动像素位于 r_2 子邻域内; 当 $\alpha_i \in (-90^\circ, -180^\circ]$ 时, 与 p_i 可能发生碰撞的运动像素位于 r_3 子邻域为 p_i 下一时刻的可能位置内; 当 $\alpha_i \in (0, -90^\circ)$ 时, 与 p_i 可能发生碰撞的运动像素位于 r_4 子邻域内。

由定义 1 可得出, 判断 p_i 子邻域内的运动像素点 p_j 与其是否为“非同向运动”, 即计算两运动方向是否满足条件 $|\alpha_i - \alpha_j| \geq 90^\circ$, 其中 α_i 是 p_i 的运动方向, α_j 是 p_j 的运动方向。 通过以上方式, 可通过角度矩阵 A 计算出当前帧中所有运动像素的“非同向运动”像素数, 即序列 $\{c_{p_i}\}, i=1, \dots, n, n$ 运动像素的个数。 本文把“帧非同向运动指数”作为评价当前人群运动方向是否存在异常的指标, 其计算形式如下:

$$\bar{c} = \frac{\sum_{i=1}^n c_{p_i}}{n}$$

3.4 人群的运动方向异常检测算法

基于以上分析, 本文基于方向的人群异常检测算法的过程如下: 首先计算视频的光流矩阵, 并进行去噪处理。 并基于此计算结果得到人群运动的速度矢量矩阵 V 和方向矩阵 A 。 然后利用“非同向运动检测”方法对 A 进行分析, 分析和计算每个运动像素的“非同向运动”像素数, 并以此为基础计算出当前帧的“帧非同向运动指数”, 具体步骤如下。

- ①利用光流法得到速度矩阵 V 。
- ②由速度矩阵计算运动方向矩阵 A 。
- ③计算当前帧的邻域半径 r 。
- ④计算所有运动像素点的“非同向运动”像素数。
- ⑤计算本帧的“帧非同向运动指数”。

4 实验

本文通过实验平台 Visual Studio2008, 结合开源图像处理库 OpenCV 对所提出的基于方向的人群异常检测算法进行实现。 并对实际人群视频进行分析。 实验视频数据来源佛罗里达大学的计算机视觉实验室 (http://www.cs.ucf.edu/vision/public_html/data.html), 分别对其中的 688-10_l.mov、879-38_l.mov 和 341-46_l.mov 进行了实验分析, 为叙述方便本文分别称之为视频 1, 视频 2 和视频 3。

视频 1 中的人群进行较为规律运动, 其中的个体朝相同方向跑步, 如图 4 所示, 其对应的像素点运动方向如图 5 所示。 视频 2 中人群的运动较为混乱, 其中的行人按照不同的方向行进, 如图 6 所示, 通过光流法分析后其运动像素点的运动方向如图 7 所示。 本文利用“基于非方向的人群运动异常检测算法”分别计算两个视频的每帧。 图 8 给出了两个视频的“帧非同向运动指数”曲线, 其中横轴的坐标为帧, 纵轴为对应帧的“帧非同向运动指数”。 可以看出视频 1 的“帧非同向运动指数”曲线的值远低于视频 2 的“帧非同向运动指数”曲线的值。

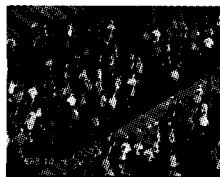


图 4 实验视频 1



图 5 视频 1 中运动像素的运动方向



图6 实验视频2



图7 视频2中运动像素的运动方向

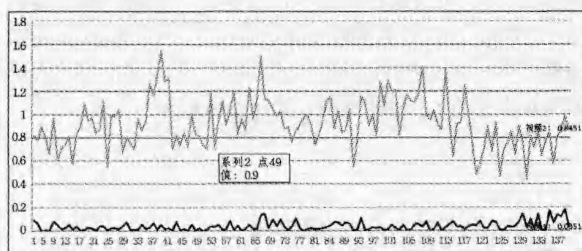


图8 视频1和视频2的“帧非同向运动指数”曲线

视频3为行人过马路的运动,即从马路两侧开始向马路中央行进,其中的个体进行了从开始的较为有序到较为无序的运动。为了去除噪声数据的影响,本文计算了行人区域的“帧非同向运动指数”曲线,如图9所示。可以看出从第46帧开始,“帧非同向运动指数”的值明显增加,最高值出现在74帧。图10为第10帧的图像,图11为第46帧图像,图12为第74帧图像。可看出随着人群运动从有序到无序,“帧非同向运动指数”的值也从小变大。

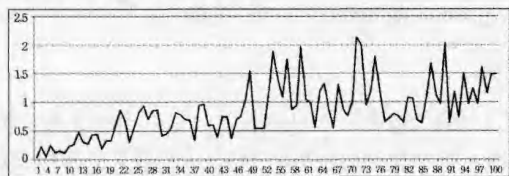


图9 视频3的“帧非同向运动指数”曲线



图10 视频3的第10帧图像



图11 视频3的第46帧图像



图12 视频3的第74帧图像

由以上实验数据可以看出,在较为规律的人群运动中,“帧非同向运动指数”的值远低于无规律(混乱)的人群运动的“帧非同向运动指数”值。在同一视频中,随着人群运动的从有序到无序,其“帧非同向运动指数”的值也从小变为较大,因而“帧非同向运动指数”能有效反映当前人群运动的有序性。

结束语 运动方向是人群运动的一个重要特征。出现突发状况时,由于个体的慌乱情绪,人群的运动方向会出现混乱现象。因而,在深入研究人群运动方向的基础上,本文给出了基于运动方向的人群运动异常检测算法。该算法首先利用光流法分析当前视频图像,并基于此得到人群运动的速度矢量矩阵 V 和方向矩阵 A 。然后利用“非同向运动”检测对方向矩阵 A 进行分析,以计算所有运动像素的“非同向运动”像素数,最后计算得出当前帧的“帧非同向运动指数”。实验表明在较为规律的人群运动中,“帧非同向运动指数”的值远低于无规律(混乱)的人群运动中的“帧非同向运动指数”值。在同一视频中,随着人群运动的从有序到无序,其“帧非同向运动指数”的值也从小变为较大。“帧非同向运动指数”直接体现了当前人群运动是否有序,因而基于运动方向的人群异常检测算法能够有效地检测出人群运动方向是否发生了混乱,以避免在方向杂乱的运动中发生踩踏等安全事故。

参考文献

- [1] Dirk H, Martin H. Derivation of a fundamental diagram for urban traffic flow[J]. *European Physical Journal B*, 2008, 70(2): 229-241
- [2] Wu H, Liang G, Lee K K, et al. Crowd Density Estimation Using Texture Analysis and Learning[C]// *IEEE International Conference on Robotics and Biomimetic*. 2006: 214-219
- [3] 柴斌. 突发人群聚集事件智能视频监控[D]. 成都: 电子科技大学, 2011
- [4] Bruhn A, Weickert J, Schnörr C. Lucas/Kanade Meets Horn/Schunck: Combining Local and Global Optic Flow Methods[J]. *International Journal of Computer Vision*, 2005, 61(3): 211-231
- [5] Min Hu, Saad Ali, Mubarak Shah. Detecting Global Motion Patterns in Complex Videos[C]// *19th International Conference on Pattern Recognition (ICPR)*. Tampa, 2008, Florida, USA, 1-5
- [6] 徐珊. 基于视频分析的异常群体事件检测[D]. 武汉: 华中科技大学, 2011
- [7] 朱海龙, 刘鹏, 刘家锋, 唐降龙. 人群异常状态检测的图分析方法[J]. *自动化学报*, 2012, 38(5): 742-750
- [8] Mehran R, Oyama A, Shah M. Abnormal crowd behavior detection using social force model[C]// *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2009: 935-942
- [9] Ruan Jiu-Hong, Zhao Hua-an. Crowd movement segmentation using velocity field histogram curve[C]// *Wavelet Analysis and Pattern Recognition 2012*. 2011: 191-195
- [10] Helbing D, Molnar P. Self-Organization Phenomena in Pedestrian Crowds[C]// *Self-Organization of Complex Structures: From Individual to Collective Dynamics*. London Gordon and Breach, 1998: 569-577
- [11] 宁瑞芳, 欧阳宁, 莫建文. 基于光流法的聚众事件检测[J]. *计算机工程与应用*, 2012, 48(3): 198-201
- [12] Andrade E L, Blunsden S, Fisher R B. Hidden Markov Models for Optical Flow Analysis in Crowds[C]// *ICPR*. 2006(1): 460-463