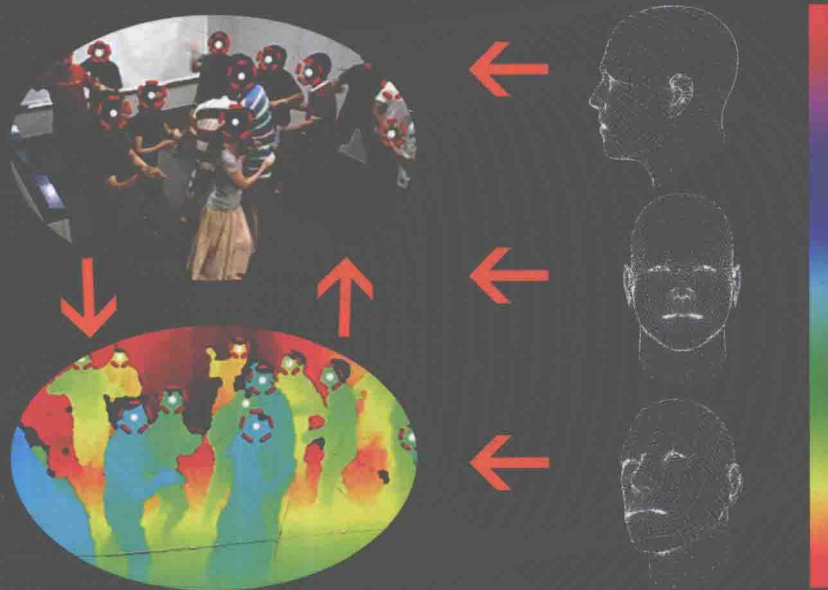


模式识别

——动态人群场景分类研究

MOSHI SHIBIE
DONGTAI RENQUN CHANGJING
FENLEI YANJIU

朱海龙◎著



模式识别

——动态人群场景分类研究

朱海龙◎著



图书在版编目 (CIP) 数据

模式识别 : 动态人群场景分类研究 / 朱海龙著. —
哈尔滨 : 黑龙江大学出版社, 2017.5
ISBN 978-7-5686-0110-8

I. ①模… II. ①朱… III. ①模式识别—研究 IV.
① 0235

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 113952 号

模式识别——动态人群场景分类研究

MOSHI SHIBIE——DONGTAI RENQUN CHANGJING FENLEI YANJIU

朱海龙 著

责任编辑 李 卉

出版发行 黑龙江大学出版社

地 址 哈尔滨市南岗区学府三道街 36 号

印 刷 哈尔滨市石桥印务有限公司

开 本 720×1000 1/16

印 张 17

字 数 221 千

版 次 2017 年 5 月第 1 版

印 次 2017 年 5 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5686-0110-8

定 价 51.00 元

本书如有印装错误请与本社联系更换。

版权所有 侵权必究

前 言

基于计算机视觉的动态人群场景分析在智能视频监控、智能人群管理、公共空间设计、智能交通和智能环境、虚拟环境等领域有着巨大的应用潜力,特别是近年来大规模群体性公共安全事件频发,对以智能视频监控为代表的人群行为分析提出了更高的要求。分析动态人群场景是分析以人群运动形式所表现出来的人群行为,即场景中所呈现出的人群运动状态。人群场景分析的内容在检测异常人群行为的基础上还应该包括跟踪人群运动状态的演进过程、分析运动状态的变化规律和预报人群状态的未来发展趋势。目前通过视频进行人群运动状态分析面临的主要问题有两个:一是复杂天气造成的视频退化影响分析结果的准确性,二是缺乏利用计算机视觉理论与方法对人群运动状态的演变规律开展的更为深入的研究。

本书研究了复杂气象条件对提取人群运动速度和人群密度等主要特征的干扰现象,并从局部和整体两个角度研究了人群运动状态的演化规律,提出了复杂气象视频分类与动态天气视频复原算法,然后利用增强后的视频数据建立人群流量方程和人群运动状态无向图两种人群运动分析模型,解决了雨雪天气视频退化现象对人群运动状态分析的影响和如何对未来人群运动状态进行预测的问题。研究工作的主要贡献体现在以下四个方面:

一、提出一种基于视频序列短时相关性和平均相关性特征的分级天气类型分类算法。在像素亮度值的时间序列上建立自相关函数提取场景特征,构造线性分类器,并使用 CART 决策树将室外场景分为静态、动态和不稳定三类天气。分类结果为下面的视频复原方法提供天气视频分类前提,即后续的去雨雪方法是基于正确的动态天气视频分类之上的。

二、提出一种滑动窗口序列在线 PCA 投影降噪的二次目标分割的视频去雨雪(动态天气)方法。室外监控视频常常受到各种复杂气象(如雨、雪、雾、光照变化和低温等)干扰,造成监控视频的退化,影响了场景分析的准确性。因此有必要在抑制天气干扰算法方面展开研究,并把它纳入群体系统模型中。针对动态天气类型分析室外视频的噪声特点和前景目标运动性质的差异,提出一种窗口序列在线 PCA 投影降噪的二次目标分割视频去雨雪方法。将具有不同运动性质的移动目标(如人、车、镜头前的雨滴和雪花等)精确分类,定位雨滴和雪花区域后使用对应的背景图像修饰来消除不利天气对视频的影响,为后续的人群运动分析提供增强后的视频数据。

三、为避免复杂的个体目标分割和跟踪运算,提出一种不需要前景分割的局部人群状态分析方法。把视频局部区域在时空上视为一个独立的线性动态系统,通过混合动态纹理方法在空间上对局部人群分类,得到人群密度属性;使用主路径跟从方法计算局部人群运动速度,然后依据人群密度和运动速度属性建立人群流量方程,用该方程可分析局部区域内人群密度、速度和流量之间的变化关系。该模型定量描述了局部人群运动状态,克服了群体运动的不确定性,可用于人群场景中重点监视区域的异常事件检测。

四、针对于人群场景分析的参数模型缺乏对未来人群运动状态的预测手段和泛化能力不强等问题,提出一种非参数聚类的人群异常

状态检测与预报的图分析方法。首先,以计算场景的速度场作为基本特征数据,使用改进的均值漂移(Mean Shift)聚类算法将速度特征聚类,得到不同运动类别的聚类中心。然后以聚类中心为顶点、各中心距离(速度差)为边构成无向图,在时间域分析图边权重对称矩阵的变化,比较观测值和预测值之间的背离程度,可以检测当前和预测未来一段时间内人群运动状态。采用非参数聚类避免了更换人群场景时重新设置初值、重新挑选训练样本和参数估计等繁杂工作,克服了参数估计精度问题产生的检测和预报误差。

前两个方面属于视频的预处理过程,完成天气分类并针对分类结果中的动态天气进行视频复原工作,为后续的人群行为分析提供较高质量的视频数据;后两个方面为动态人群场景建模过程,分别采用局部和整体方法描述了人群运动状态。

本书在人群运动场景分析方面的研究较好地解决了受雨雪气象条件干扰的视频复原问题,为模型提供了增强的输入视频;提出以人群流量方程分析局部人群运动状态,实现了重点区域的差别化监控;非参数化的运动特征分类方法和图分析算法增强了人群运动状态分析方法的泛化能力,为基于计算机视觉的人群行为分析提供了一种在整体上监测和预报人群运动状态的方法。

本书的研究内容得到国家自然科学基金(No. 60706032, No. 61171184)和黑龙江省自然科学基金(No. F201021)的资助。

目 录

第 1 章 绪 论	1
1.1 课题背景意义	1
1.2 复杂天气视频预处理的必要性及研究现状	3
1.3 人群行为分析	16
1.4 人群分析研究现状	23
1.5 主要研究内容	34
第 2 章 复杂气象条件下的视频场景分类	37
2.1 引言	37
2.2 大气光学模型与天气条件类型	39
2.3 复杂天气视频的特征提取	46
2.4 天气条件视频分类	51
2.5 实验结果与分析	61
2.6 本章小结	64
第 3 章 基于窗口序列 PCA 与二次分割的 雨雪视频复原	65
3.1 引言	65
3.2 在线 PCA 视频降噪	69
3.3 基于二次前景分割的去雨雪算法	77
3.4 实验结果分析	91

3.5 本章小结	99
第4章 人群场景的局部动力学分析	100
4.1 引言	100
4.2 群体运动属性	102
4.3 群体局部动力学分析方法	109
4.4 检测人群异常事件	120
4.5 实验结果分析	122
4.6 本章小结	133
第5章 人群异常状态检测与预报的图分析方法	134
5.1 引言	134
5.2 基于均值漂移算法的人群运动聚类	139
5.3 人群状态的图分析方法	148
5.4 实验结果分析	156
5.5 时间复杂度分析	171
5.6 本章小结	172
结 论	173
参考文献	176
附 录	190
An Autocorrelation Function-Based Classification of Different Weather Conditions	190
A Secondary Framework for Small Targets Segmentation in Remote Sensing Images*	210
A Segmentation Method for Remote Sensing Image Region on Riemannian Manifolds*	224
人群异常状态检测的图分析方法	237

第1章 绪 论

本章主要介绍课题的背景与意义,从视频预处理和人群行为分析两方面综述与本课题相关的国内外研究状况,最后给出了本书的内容组织结构和主要研究成果。

1.1 课题背景意义

利用计算机视觉技术对视频进行内容分析与理解在智能城市管理、交通导航、国防军事和反恐斗争中都有不可替代的作用。近年来体育赛事、音乐会、节日庆祝、宗教聚集等活动中群体性事故频繁发生,造成大量的人员伤亡和财产损失。此类人群场景中,要求监控系统除了具有替代人眼的基础性监视工作之外,还要能够排除复杂气象条件的干扰,完成分析人群运动状态、检测和预报人群异常事件、及时响应等任务,以最大限度降低事故风险和损失,对于提高城市管理水平、保护公共安全、减灾救灾有着重要意义。与此相适应,计算机视觉领域基于视频的智能人群管理、智能场景监控、智能交通管控以及视频增强和复原等科学研究先后开展起来,其中的关键研究内容之一就是基于视频的动态人群场景建模。

本课题选择复杂天气条件下动态人群视频场景作为研究对象,以视频预处理和人群行为分析为研究内容,目标是建立一个自然场景下体系完整的人群运动分析模型。当场景中人群稀疏时,行人可享受的

行动空间大于自身需求,可根据自己的主观意愿自由运动,发生危险的概率很低。当人群聚集到一定密度时,个体间的相互作用增大,行人可支配的空间严重收缩。此时,个体或者局部人群的主观愿望虽然受到一定程度的压制,但仍有向目的地运动的强烈意愿并付诸行动,使人群行为在整体上表现出自组织性,局部区域却呈现出随机运动状态,潜伏着危险事故的诱因。已有的视频场景分析研究内容主要集中在个体运动目标的识别和跟踪上,较少关注群体运动的特殊性,忽略了分析群体运动状态及发展趋势的必要性。基于这样的背景,本课题旨在建立动态场景群体运动分析模型,深入研究动态人群场景中各影响因子之间的相关性和变化关系,解决人群局部和整体运动状态分析、人群未来运动状态预报等方面的问题,并致力于在人群场景智能监控领域实现应用,以提升群体性公共安全指数。

目前,广泛安装的公共摄像系统时刻记录下海量视频数据,为这一领域的研究与应用提供了丰富而坚实的物质和数据基础。然而,由于环境变化、复杂气象条件及摄像器材本身的原因,监控视频受到各种噪声的干扰,普遍存在不同程度的退化现象,削弱了视频监控系统的场景分析能力。尤其是雨雪天气环境中,室外监控视频的功能受到的影响最为严重,有必要将处理天气因素影响的机制纳入人群场景分析范围内。因此,应用人群运动分析的监控系统应首先检测出场景气象类型,并在此基础上去掉图像中的无关信息,恢复真实有用的场景数据,从而消除不利天气因素的影响,改善视频质量。

已有的人群运动分析模型大多使用场景特征(如纹理、图像亮度、角点、颜色等)估计人群密度,主要方法是通过人群密度指标检测人群异常,缺乏对人群密度、人群速度、人群流量、控制体(场所结构)等要素及它们之间变化关系的深入分析,没有将动态场景的群体系统视为复杂的动态系统进行研究。本书将重点揭示系统状态演进与各个观测测量之间的关系,实现群体系统的异常检测和对未来状态的预测,对保障群体聚集场所的公共安全更具理论研究与现实应用价值。

1.2 复杂天气视频预处理的必要性及研究现状

正确的天气视频分类是天气视频复原的前提,现有方法多集中于指导公路交通的简单天气自动分类。Song 等人利用图像纹理和图像亮度信息提取特征向量,在图像序列库中统计各类天气的特征取值范围后,将天气分为晴天、多云、降雨和降雪四类。提取图像对比度、色度等特征后,使用支持向量机(SVM)完成降雨天气分类任务。因缺乏温度、大气压、湿度、海拔、风速等气象信息,仅通过视频和图像对天气分类存在一定难度,目前在该领域开展的研究工作相对较少。

导致室外视频有用信息减少的主要因素有两个:一是电子设备成像特性造成的噪声污染,二是雨雪等复杂环境条件的光学测度低。当前监控系统多采用 CCD 或 CMOS 类型的摄像机,在系统成像和数据传输过程中会产生包括读出噪声、光子噪声等在内的多种类型的噪声。元器件受到外界温度变化的影响,在高温和低温条件下图像的信噪比也会有所下降。在降雨、降雪、雾、阴晴转换、光照不足等天气环境中,场景视野不清、大气漫射效应使得所采集的感兴趣场景信息量显著下降。综合来看,以雨雪为代表的复杂气象条件对室外视频的干扰远大于设备特性所造成的噪声污染。

1.2.1 复杂天气视频预处理的必要性

复杂气象条件造成的视频图像退化是一种普遍现象(图 1-1),用数学模型表示该退化过程为:

$$g(x,y,t) = I(x,y,t) \times h(x,y,t) + \eta(x,y,t) \quad (1-1)$$

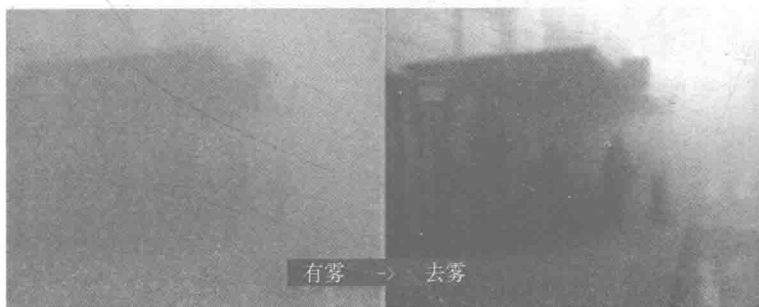
式中, $g(x,y,t)$ 为 t 时刻观测图像, $I(x,y,t)$ 为 t 时刻真实场景图像, $h(x,y,t)$ 为退化函数项(即成像设备的脉冲响应函数——点扩展函数), $\eta(x,y,t)$ 为加性噪声。

 t 时刻 $t+1$ 时刻

(a) 雪花的运动模糊



(b) 雨滴的运动模糊



(c) 雾的消光作用

图 1-1 复杂天气造成的视频退化

在复杂气象条件下拍摄的视频退化现象主要由乘性点扩展函数 $h(x, y, t)$ 引起,是大气介质(如雨、雪、雾、霾、烟尘等)和环境光照变化在传感器上的成像结果。直径较小的雾、霾和远景的雨、雪成像后表现为不可分辨颗粒的图像模糊效果;而近景的、直径较大的雨、雪等介质,在图像中表现为可分辨颗粒的快速目标运动模糊。所以,视频中点扩展函数 $h(x, y)$ 包含大气光照模型的消光项 $e^{-\beta(\lambda)d}$ 和运动模糊两部分内容(大气光照模型的详细内容见 2.2 节),如图 1-2 所示。

$$g(x, y, t) = I(x, y, t) \times h(x, y, t) + \eta(x, y, t)$$

$$L(x, \lambda) = L_{\infty}(\lambda) (1 - e^{-\beta(\lambda) d})$$

图 1-2 复杂气象条件下图像退化模型

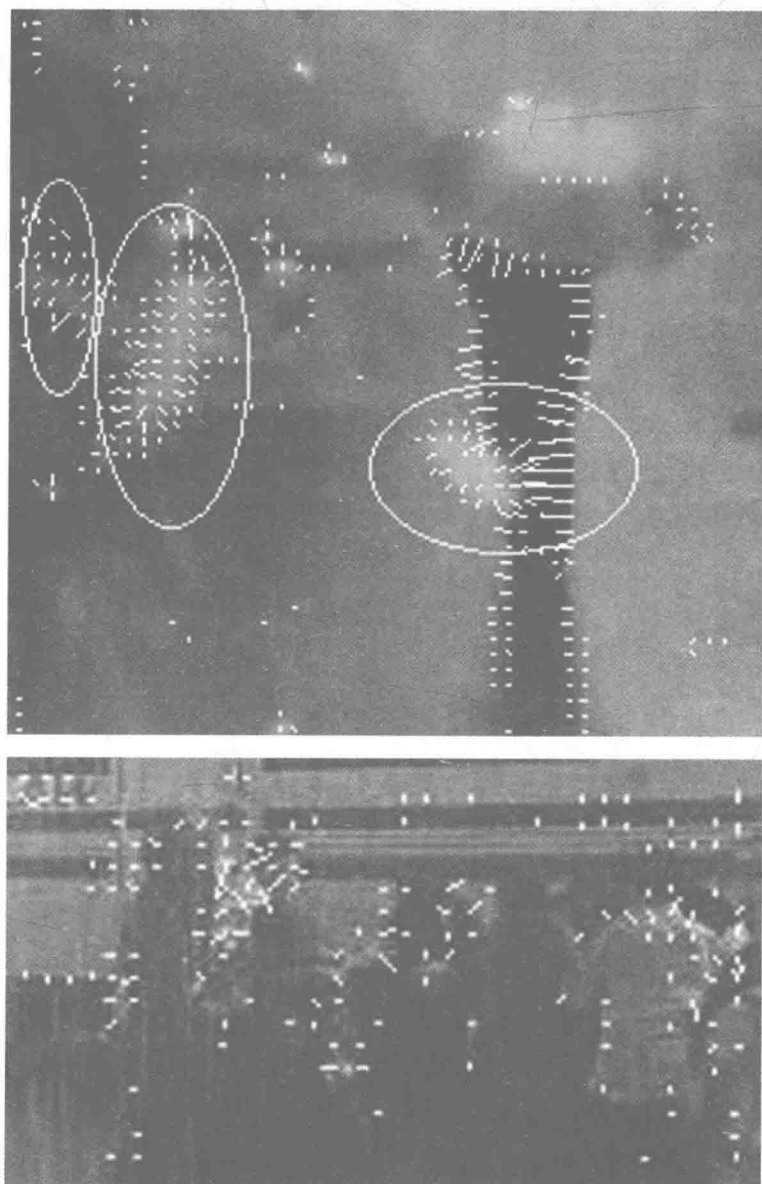
在复杂天气条件下提取场景中的人群运动特征时,点扩展函数和加性噪声带来了严重干扰,无法得到准确的人群运动速度和人群密度特征。以典型的 Horn-Schunck 光流法计算速度场为例,其基本光流方程为:

$$g(x, y, t) = g(x + u\Delta t, y + v\Delta t, t + \Delta t) \quad (1-2)$$

式中, u 、 v 分别是光流场在水平和垂直方向的分量,是单位时间内图像光照度 g 在 2D 图像空间上的变化。上式成立的基本条件是全局光照度平滑假设,即假设在位置 (x, y) 处,时间变化量为 Δt 时光照度保持不变。而雨、雪等复杂天气环境中大气介质对图像的运动模糊作用是随机发生的,无法预知当前 $h(x, y, t)$ 的形式,因此 $g(x, y, t)$ 与下一帧相同位置 (x, y) 邻域内即使是最优匹配的亮度值 $g(x', y', \Delta t)$ 也不一定相等。这意味着复杂天气破坏了公式的光照度平滑假设,计算所得的光流场出现紊乱现象。

如图 1-3 所示,图 1-3(a)为降雪天气行人光流场局部截图,椭圆所标记的雪花运动模糊对人群场景分析带来两方面的挑战:1)作为运动目标的雪花与行人目标混淆在一起,不能直接获得感兴趣目标的速度特征,2)不能直接利用运动特征或几何特征估计人群密度,需要考虑将运动的雪花目标分割出去。图 1-3(b)为降雨天气人群场景。与雪花以反射环境光为主不同,雨滴以透射背景光为主,因此雨滴的亮度变化大,与运动目标的亮度更加接近,在计算速度时容易造成匹配搜索失败。高密度人群场景中个体目标在图像中所占比例较小,复杂天气对此类人群运动特征的提取影响也更大一些。如图 1-3(c)

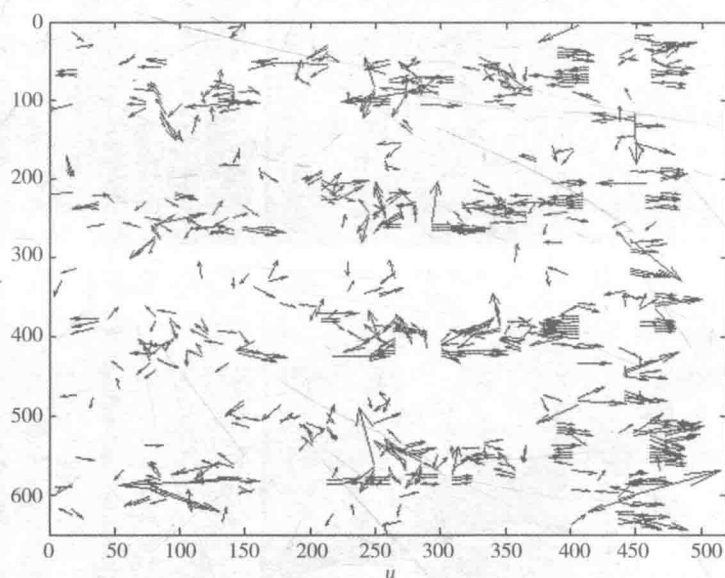
所示,降雪干扰了场景的速度特征提取工作。



(a) 降雪天气



(b) 降雨天气



(c) 降雪天气下高密度人群光流场

图 1-3 雨、雪的运动模糊对提取目标速度特征的影响

分析人群场景的另一重要属性是人群密度特征。有的文献使用透视变换校正后的前景目标像素占比法估计人群数量,在雨雪天气下

因无法区分运动的近景雨滴、雪花和人群目标而过高估计人群数量。如图 1-4 所示,图 1-4(a)为雨中交通路口监视视频,图 1-4(b)为检测出的快速运动的雨滴模糊作用形成的雨线。雨线为移动目标,使得统计运动目标的像素数量高于单纯行人所占像素数量。有的文献给出了统计人的头部圆形几何特征估计人群密度的方法,为说明雨雪天气对该方法的影响,选择雪天无行人街道使用该方法统计人群,如图 1-4(c)、图 1-4(d)和图 1-4(e)所示。图 1-4(c)为降雪视频,图 1-4(d)为二值化图像,可清晰地看到图像中的雪花,图 1-4(e)表明统计人数结果为超过 20 人,而实际人数为 0。

所以,为排除复杂天气条件对人群分析的影响,必须进行视频预处理。需要指出的是,各天气类型对视频的影响各有特点,不能期望使用通用的算法完成所有预处理任务,需要依据每种类型的天气视频开展有针对性的增强或复原工作。这就要求对天气视频按照天气类型进行分类,然后根据特定天气采用相应的预处理方法提高视频质量,为后续利用处理后的视频进行准确的人群场景分析奠定数据基础。



(a) 雨中交通路口监视视频