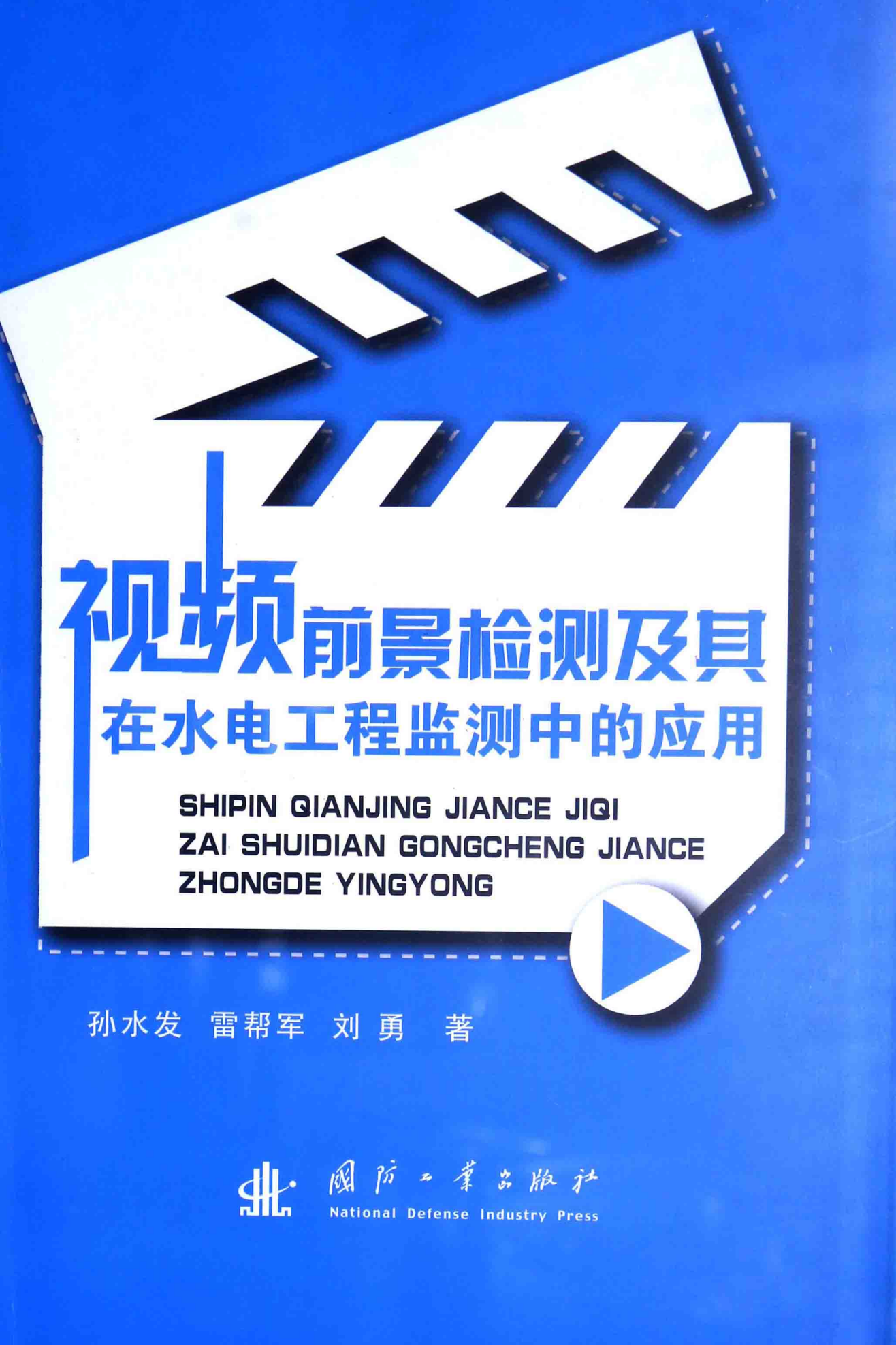




视频前景检测及其 在水电工程监测中的应用

SHIPIN QIANJING JIANCE JIQI
ZAI SHUIDIAN GONGCHENG JIANCE
ZHONGDE YINGYONG

孙水发 雷帮军 刘勇 著



国防工业出版社

National Defense Industry Press



视频前景检测及其在水电 工程监测中的应用

孙水发 雷帮军 刘 勇 著

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

前景检测技术在虚拟现实、人机交互、视频编码以及智能视频监控等领域都起到了关键作用。特别是在智能视频监控领域,前景检测有时直接构成应用系统,比如入侵检测;有时是高级监控系统的基本组成部分,比如行为分析等。近年来,国内外众多学者已通过大量研究和实践得到多种前景检测方法。本书较为系统地讲解了视频前景检测技术,对帧差前景检测、基于概率密度函数的背景模型方法和基于样本集的背景建模方法进行了重点分析,以水电工程监测中的船闸禁停线监控这一视频前景检测方法具体应用为例,并配以具体的实例与源码。

本书适合涉及计算机视觉领域的高校教师、科研人员、研究生和高年级本科生以及工程技术人员使用。

图书在版编目(CIP)数据

视频前景检测及其在水电工程监测中的应用 / 孙水发, 雷帮军, 刘勇著. —北京: 国防工业出版社, 2014. 12

ISBN 978-7-118-09944-7

I. ①视... II. ①孙... ②雷... ③刘... III. ①视频系统—应用—水利水电工程—监测 IV. ①TV—39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 293211 号


国防工业出版社 出版发行
(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)
三河市腾飞印务有限公司印刷
新华书店经售

*

开本 787 × 1092 1/16 印张 7½ 字数 176 千字
2014 年 12 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2500 册 定价 29.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店: (010)88540777

发行邮购: (010)88540776

发行传真: (010)88540755

发行业务: (010)88540717

前 言

随着图像处理和人工智能技术的进步,在此基础上构建的计算机视觉技术越来越引起人们的关注。随着社会对安全要求的日益重视和提高,构建在计算机视觉技术之上的智能视频监控在安全防卫等方面得到了广泛的应用。而视频前景检测是计算机视觉技术中的一项基础性、关键性组成部分,也是智能视频监控中的重要支撑。

近 30 年来,国内外众多学者已通过大量研究和实验得到多种前景检测方法,从基本的基于前后帧之间差异的帧差法,到基于复杂数学模型、精心设计的前景检测模型方法,如视觉背景抽取 ViBe 算法;从基本的跟踪运动变化的光流法,到对单个像素进行复杂建模的混合高斯前景提取方法。

在应用方面,前景检测技术在虚拟现实、人机交互、视频编码以及智能视频监控等领域都起到了关键作用。特别是在智能视频监控领域,前景检测有时直接构成应用系统,比如入侵检测;有时是高级监控系统的基本组成部分,比如行为分析等。

目前,越来越多的水电工程监测研究成果表明,传统被动的监测技术存在诸多问题。随着水电工程信息化水平的提高,将新的信息技术引入水电工程领域近年来引起了越来越多的关注。在水利水文监测方法,运用普通数码相机建立模型区 DSM,进行水工模型的水流场及水作用下的泥沙运动及沉积智能分析。在电力设施智能监测方面,全人工地面采集、全人工航拍采集正逐步被机器人或无人飞行器遥控采集所取代。

本书较为系统地讲解了视频前景检测技术,对水电工程监测中的船闸禁停线监控这一应用进行了具体分析,对包括帧差法、混合高斯背景建模方法等在船闸禁停线监控这一水电工程监测中的应用展开了研究,并配以具体的实例与源码。

本书详细内容如下:第 1 章概述了前景检测技术,对前景检测性能评价以及在水电工程中的应用也进行了说明。第 2 章介绍了帧差前景检测,并配以实例进行了算法测试及性能分析。第 3 章概述了基于背景建模的前景检测,并以滑动平均背景建模方法为例进行了实例分析以及算法性能测试。第 4 章介绍了基于概率密度函数的背景模型方法,重点讨论了单高斯背景建模和混合高斯背景建模方法的前景检测方法。第 5 章介绍了基于样本集的背景建模方法,重点介绍了 ViBe 前景检测方法及其改进,特别是在基于 ViBe 背景提取以及阴影去除方面,首次提出了这些方法。第 6 章以作者单位与三峡地区地质灾害与生态环境湖北省协同创新中心(CICGE)合作实现的船闸禁停线监控这一水电工程中的应用为例,介绍了上述视频前景检测方法的具体应用。

全书第 1、2、5 章由孙水发编写,第 3、4 章由雷帮军编写,第 6 章由刘勇编写,并由孙水发统稿。本书部分实验由三峡大学水电工程智能视觉监测湖北省重点实验室研究生完

成,其中覃音诗完成了第1、2、5章部分实验,朱曼、沈沅渝完成第3、4章部分实验,柯尊海、谭家政完成了第6章部分实验,在此对他们的工作表示感谢。本书的出版得到三峡大学学科建设项目资助。

限于作者水平,书中难免存在错误,敬请读者批评指正。

孙水发 雷帮军 刘 勇
于三峡大学

目 录

第 1 章 概论	1
1.1 引言	1
1.2 视频前景检测应用	1
1.3 研究现状与问题	3
1.3.1 光流法	3
1.3.2 帧间差分法	3
1.3.3 背景差分法	4
1.4 光流法	5
1.5 性能评价	6
1.5.1 检测率	6
1.5.2 ROC 曲线	7
1.6 智能视频分析及其在水电工程监控中的应用	8
1.6.1 智能视频监控技术简介	9
1.6.2 水电工程中的视频监控现状分析	10
参考文献	11
第 2 章 帧差前景检测	14
2.1 单帧间差分法	14
2.1.1 帧差模型	14
2.1.2 阈值化	14
2.1.3 后处理	15
2.1.4 帧差法总结	18
2.2 二次帧差法	18
2.2.1 基本二次帧差法	18
2.2.2 幅二次帧差法	18
2.2.3 幅二次帧差法	19
2.3 其他帧差方法及改进	19
2.4 开发环境的搭建	20
2.4.1 OpenCV 简介	20
2.4.2 MFC 简介	20
2.4.3 设置 VC6.0 的环境	20
2.4.4 在项目中运用 OpenCV	21
2.4.5 在 MFC 中使用 OpenCV 搭建系统界面	21

2.5	算法系统的实现	21
2.6	实验结果及分析	30
	参考文献	31
第3章	背景建模前景检测	32
3.1	基本原理	32
3.2	基本流程	32
3.3	方法分类	33
3.3.1	像素级方法	33
3.3.2	区域级方法	34
3.3.3	帧级方法	35
3.3.4	背景差分法比较	35
3.4	滑动平均背景建模	36
3.4.1	算法原理	36
3.4.2	算法实现	36
3.5	性能比较	46
	参考文献	47
第4章	基于概率密度函数的背景模型	49
4.1	引言	49
4.2	单高斯背景建模	49
4.2.1	数学模型	49
4.2.2	均值及协方差	50
4.2.3	判决	50
4.2.4	模型更新	50
4.3	混合高斯背景建模	51
4.4	OpenCV 混合高斯建模分析	52
4.4.1	OpenCV 1.0 版本	52
4.4.2	OpenCV 2.0 版本	64
4.5	常见前景检测方法性能比较	66
4.6	总结	67
	参考文献	67
第5章	基于样本集的背景建模	69
5.1	引言	69
5.2	ViBe 算法	69
5.2.1	ViBe 算法原理	69
5.2.2	ViBe 算法特征	71
5.2.3	ViBe 算法缺陷	72
5.2.4	实验结果及分析	73
5.3	运动背景与噪声的抑制	75
5.3.1	算法思路	75

5.3.2	实验与分析	76
5.4	阴影检测及去除方法	78
5.4.1	常见阴影检测及去除方法	79
5.4.2	算法思路	80
5.4.3	实验与分析	80
5.5	基于聚类的 ViBe 背景提取及阴影去除算法	84
5.5.1	常见聚类算法分析	84
5.5.2	K -means 聚类算法	86
5.5.3	背景提取	88
5.5.4	实验与分析	88
5.6	总结	91
	参考文献	92
第 6 章	船闸禁停线监测中的应用	93
6.1	视频图像预处理	93
6.1.1	问题分析	93
6.1.2	改进的中值滤波	94
6.1.3	实验结果及分析	95
6.2	基于改进混合高斯背景建模的船只检测	95
6.2.1	改进混合高斯背景建模算法	96
6.2.2	实验效果与分析	96
6.3	基于 Vibe 算法的船只检测	99
6.3.1	实验效果	99
6.3.2	实验分析	100
6.4	船闸场景船只阴影去除算法	100
6.4.1	问题分析	100
6.4.2	基于 RGB 颜色空间的阴影去除算法	101
6.4.3	基于 HSV 空间的阴影去除算法	104
6.4.4	阴影去除算法小结	107
6.5	船闸禁停线监控系统的设计与实现	107
6.5.1	系统设计	107
6.5.2	系统实现	109
	参考文献	111

第1章 概述

1.1 引言

视频前景检测,顾名思义,就是从监控场景中检测出运动目标,如运动的行人、运动的汽车、水面上行驶的轮船等。从功能上来说,运动目标检测的主要任务是从监控场景采集的视频中提取变化的像素区域,即从当前监控场景的视频序列中分割出运动目标所在的区域,得到运动目标区域信息和非运动目标区域信息。

运动区域的有效、准确分割对于后续处理是非常重要的,如目标定位、目标分类、目标跟踪、目标识别和行为理解等,因为后期的处理过程在很大程度上依赖于前期运动目标检测的结果,仅仅考虑视频序列中被检测为运动目标所对应的运动区域,该对应的运动区域提供目标的所有可能信息。而对于运动物体以及其运动轨迹的分析,在许多领域有着较为广泛的应用,目前许多从事计算机视觉研究的研究人员对此产生了极大兴趣。

1.2 视频前景检测应用

图1.1列出了前景检测在各领域的重要应用。

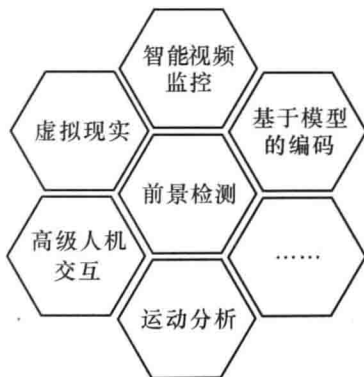


图 1.1 前景检测的重要应用

1. 智能视频监控

智能视频监控在现代社会中有着广泛的需求,从而成为一个热点话题,是前景检测很重要的应用领域^[1]。它是利用图像处理、模式识别以及计算机视觉等技术对监控到的视频进行表示、分析和理解,然后根据结果,有效地控制视频监控的运作,进而提高视频监控系统的智能化水平。

智能视频监控技术因其智能化,在交通、医疗、服务、安防等众多热门领域具有较为庞大的客户群体和广泛的应用前景。现实应用的需要推进了相关技术的研究与开发,近年

来在这个领域的研究非常活跃。在视频监控中,人们更多关注其中的运动目标及其行为,而不会关注其中的风景、画面或者情感。智能视频监控涉及的技术众多,主要集中在目标检测、目标跟踪与目标分类三个方面(图 1.2)。

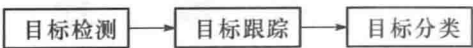


图 1.2 智能视频监控中目标检测、目标跟踪与目标分类三者的关系

目标跟踪是为了完整地描绘出运动目标的运动轨迹,因此需要检测每一帧的动态目标,将其与静态前景目标之间建立对应关系,以得到目标的运动轨迹。目标分类、识别与理解指对场景中目标的行为进行分析判断,是智能视频监控的最终目标。

2. 虚拟现实

前景检测在虚拟现实技术的应用主要是用于在虚拟与现实世界之间进行交互式处理,其最主要的是在虚拟的空间当中完整地模拟出真实的人。目前来看,互联网可以作为交互虚拟世界的媒介工具,诸如手势、面部表情以及头部姿势都可以作为使用者在这个虚拟世界中使用的线索,以提高参与者之间的互动。前景检测在虚拟现实当中还有一些其他应用,如电脑游戏中虚拟人物和做的虚拟的动作,以及电视电话会议、角色动画动作的捕捉以及虚拟演播室等技术领域。

3. 人机交互

目前人与机器智能交互有两种较为成熟方式:语音识别和自然语言理解。视觉感知可以作为其交互方式有效的补充,以构建更友好且有效的交互界面,使之更加人性化。视觉感知可以为交互提供更为细节的信息,比如可以从身体姿势、手势和面部表情等获得这些信息,这些信息可以补充语音识别中的一些问题,如受到周围环境的噪声和距离等方面的影响。同时,视觉感知可以不受周围环境的影响独立工作,因此可以用于改善其他的应用,如高噪声环境的工厂和机场的手势信号,以及手语翻译、手势驱动的控制甚至是唇语等。

4. 运动分析

运动分析可以用于检测体育运动员的平时表现,对其进行评估和训练,可以为学员提供改善建议,同时为各类体育运动设置个性化的训练系统。运动分析当中的步态分析可以为医院提供医疗诊断和治疗支持,同时,人类的步态还可以用于身份识别。使用运动分析对视频数据进行内容的索引,可以帮助人们在庞大的数据库里检索和排序图像或视频。运动分析还可以用于舞蹈的编排、骨科临床研究等方面。

5. 模型编码

基于模型的图像编码主要是用于低比特率的视频压缩,使图像更有效地存储和传输,可以有效减少编码数据量,降低带宽需求。例如,在使用可视电话时,可以只通过编码发送运动的部分。

上述所有的这些应用都将依赖或者受益于高品质的前景检测。然而,在一些复杂的场景中,现有前景检测算法的效果和性能已经不能符合预期目标和要求,在实际应用中,前景可能是不断变化的复杂外观。因此,该课题吸引了越来越多的研究者投身到这一领域,众多重要成果不断涌现。

1.3 研究现状与问题

国内外众多学者已通过大量研究和实验得到多种成熟的前景检测算法,根据所采用的检测原理的不同,主要分为三类:光流法^[2]、帧间差分法^[3]和背景差分法^[4]。

1.3.1 光流法

文献[5]首次提出光流(Optical Flow)的概念,用运动场来描述运动从而反映真实世界的目标运动;文献[6]将光流法引入前景检测领域,为了提取运动区域,采用了运动目标随时间变化的光流特性。

Lucas 和 Kanade 为完善方程约束条件,引入经典局部平滑性约束,使用加权最小二乘法估计光流^[7]。Barron 将目前存在的光流法大致分为四类^[8]:微分法(Differential Methods),基于频域的方法(Frequency-based Methods)^[9],基于区域匹配或称基于块匹配方法(Correlation-based Methods)和基于能量的方法(Energy-based Methods)。李超等吸收了帧差法和光流法的长处,提出了基于区域的光流法,利用帧差法获得差值图像,再计算差值图像中不为零像素的光流^[10]。相对于全局光流算法,使用特征点对光流法进行改进,对目标有综合描述的作用,减少了计算量^[11],文献[12,13]对此方法进行了改进。文献[14]提出利用特征相似性自适应选取特征集合算法,解决了特征光流法对于某个运动目标如何确定它的唯一特征集的难点问题,文献[15]提出的基于模板匹配的特征集合选取算法也成功地解决了这一问题。而文献[16]提出利用 Canny 算子获得边缘信息,进一步用 SUSAN 算子获得角点信息,从而解决了特征选取的问题。胡庭波等人提出的基于立体匹配技术的光流场计算方法^[17]解决了移动机器人环境下的光流检测问题。为了有效地提取和跟踪运动前景目标,Meier 等提出通过计算位移向量光流场初始化基于轮廓的跟踪算法^[18]。为了实现光流法检测前景工作中的速度自适应以及无人监控下自动提取特征,Stavens 等人在 2007 年^[19]和 2010 年^[20]分别提出了对高速公路的自动监控算法。

光流法在摄像机运动的条件下仍然可以检测运动目标;但由于其计算复杂,时间开销大,抗噪性能差,且需要多次迭代运算,难以应用于实时处理中。

1.3.2 帧间差分法

帧间差分法(Temporal Difference)在连续图像序列的两个、三个,甚至多个相邻帧之间进行基于像素的时间差分,然后阈值化来得到图像中的运动区域。从原理上讲,帧间差分法可以算作是一种以前一帧为背景的最简单的背景减方法,但是并不具备通常背景减算法含有的较为完善的建模以及更新的步骤(见第 3 章关于背景差分法的说明)。文献[21]在 1998 年即提出了相邻帧间差分的概念;文献[22]提出了利用相邻两帧差分检测出运动前景的传统帧间差分法。后来人们对帧差法进行了改进,例如用三帧、甚至多帧差分法代替两帧差分,提高了它的适应性。帧间差分法的优点是对光照变化不敏感(帧间时间间隔比较小);缺点是不能检测出完整的运动前景,因为对于目标存在均匀区域的情况,很容易出现孔洞,而且当物体停止运动时,帧差法将无法检测到前景目标的存在。文

献[23]利用小区域灰度均值和方差等特性构造不匹配判断的尺度,针对传统整幅帧间差分法难以抑制噪声的特性,提出小区域相似性差分。文献[24]根据帧间差分图像中的噪声点服从高斯分布的特点构建相应滤波器对运动目标检测结果进行后处理;文献[25]基于假设检验来改进帧间差分法,以判断像素点是属于背景还是属于前景。本书第2章重点讨论基于帧间差分法的视频前景检测方法。

1.3.3 背景差分法

背景差分算法(Background Subtraction)是最常用、也是最成功的一种前景检测方法,通过构建背景,该方法将当前图像与背景图像进行差分从而得到检测结果。文献[26]中的 Pfinder 系统提出利用单高斯对背景模型进行拟合与更新,模型简单,计算量适中;缺点是单一高斯分布图像仅在部分场合使用,特别是在多模情况下,单高斯模型往往失效。文献[27]首次提出基于混合高斯分布的背景建模方法,后来被广泛应用于背景模型的建立。文献[28]对传统混合高斯模型进行了改进,在混合高斯模型的基础上采用基于分块检测和基于像素级别的检测相结合的流程。文献[29]在混合高斯分布的背景建模方法上引入了自适应的跟踪分类监视器来监视场景,文献[30]则提出了一种无需重新初始化的快速收敛的混合高斯模型。文献[33]利用卡尔曼滤波器时域递归和低通滤波特点,提出了校正背景值的混合高斯模型。

文献[31]提出的 Wallflower 算法对图像进行像素级、区域级、帧级别处理,这是一个较为系统的背景差分前景检测方法:①在像素级别处理阶段,Wallflower 算法通过为每个像素建立背景模型,对背景与运动前景进行初分;②在区域级别处理中,通过像素点间的相关性,进一步细分背景与运动前景,均匀填充运动前景区域;③在帧级别处理时,通过切换后备的更能描述当前背景的背景模型来应对图像出现大面积的光线突变。文献[32]提出了基于卡尔曼滤波的自适应背景模型以适应天气和光照随时间变化。

文献[34]首次引入核密度估计(Kernel Density Estimation)的非参数模型来描述背景分布进行前景检测,之后在文献[35]中进一步完善和改进了核密度估计的前景检测算法。文献[36]首次提出核概率密度估计时,利用域建模算法结合马尔可夫空域能量场共同进行前景检测。文献[37]提出在前景和背景建模时,通过引入边缘信息来构造前景和目标的非参量概率模型。文献[38]改进了核密度估计中阈值的选择,提出了一种自适应双阈值选择法。文献[39]提出一种“4W”的背景建模检测系统:将每一个像素点看作一个随机变量信号,用像素的最小颜色值、最大颜色值和相邻两帧之间该像素点颜色变化的最大值表示这个随机变量,从而实现前景提取。

近年来,出现了越来越多的对传统背景减算法的改进算法,文献[41]提出了一种场景中的背景模型的模型分类算法。文献[41]提出一种多重背景模型建立的视觉应用算法,非常适用于智能机器人领域。文献[42]提出了一种背景模型快速更新算法,文献[43]提出一种将多种模型和图像操作结合的二维和三维空间共同适用的前景检测算法。文献[44]将基于像素级别的背景建模算法和区域检测结合使用,提出 Bayesian Fore-ground Segmentation and Tracking 技术,更好地跟踪和检测前景目标。针对资源有限场景,文献[45]提出降低资源耗费情况下的一种近似检测前景算法。根据对 LBP 的计算和对特征纹理的分析,文献[46,47]建立了基于特征纹理区域的多重背景模型,对传统背景模

型进行了改进。最近,文献[48]提出了时空击中匹配算法,文献[49]提出一种改进的码本算法对背景模型进行完善,文献[50]提出一种实时更新模型的背景减除算法。本书第3~5章重点讨论基于背景差的视频前景检测方法。

1.4 光流法

基于光流法的运动目标检测应用的是运动目标随时间变化的光流特征,它的优点是不需要预先知道场景的任何信息,就能够检测独立运动的对象,并且可用于摄像机运动的情况。其基本方法如下:

对图像上的点 (x, y) 来说,令 t 时刻该点的灰度值为 $P(x, y, t)$,经过 Δt 时刻,该点运动到 $(x + \Delta x, y + \Delta y)$,于是 $t + \Delta t$ 时刻该点的灰度值记为 $P(x + \Delta x, y + \Delta y, t + \Delta t)$,假定它与 $P(x, y, t)$ 相等,即

$$P(x + \Delta x, y + \Delta y, t + \Delta t) = P(x, y, t) \quad (1-1)$$

把式(1-1)的左式在 (x, y, t) 点用泰勒公式展开,化简和略去二次型,可得

$$P(x, y, t) + \frac{\partial P}{\partial x} \cdot \frac{\Delta x}{\Delta t} + \frac{\partial P}{\partial y} \cdot \frac{\Delta y}{\Delta t} + \frac{\partial P}{\partial t} \Delta t + O(dt^2) = P(x, y, t) \quad (1-2)$$

记

$$u(x, y, t) = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{dx}{dt} \quad (1-3)$$

$$v(x, y, t) = \frac{\Delta y}{\Delta t} = \frac{dy}{dt} \quad (1-4)$$

式(1-2)中 $O(dt^2)$ 表示阶数不小于2的高阶项,消去 $P(x, y, t)$ 并略去 $O(dt^2)$ 即得到光流约束方程:

$$\frac{\partial P}{\partial x} \cdot u + \frac{\partial P}{\partial y} \cdot v + \frac{\partial P}{\partial t} = 0 \quad (1-5)$$

对每一个像素点来说,光流约束方程都是一个标量方程,其中含有两个未知数,因此只通过单个像素点的信息不能确定光流,仅能确定光流在梯度方向上的分量(即法向流),而无法完全确定光流在与梯度垂直方向的分类,这种不确定的问题就是孔径问题。这一问题使得不利用其他信息,而仅通过光流约束方程无法计算出像素点的速度流。为了解决此问题,研究人员在基本光流场方程的基础上提出了多种计算方法和约束条件,比如频域法、微分法、马尔可夫随机场和匹配法等。光流法容易受使用场景的影响,其缺点主要在于如下几个方面:

(1) 光流方程(1-5)建立在图像强度保持不变的基础之上,但这不适用于大多数场景。一方面,目标的灰度值随着位置的变化而改变,比如目标从阳光区域进入阴影区域,目标表面对光线反射的差异导致图像强度产生变化;另一方面,室外场景容易受天气变化的影响,尤其是阴雨绵绵的天气,光照极度不稳定,运动目标的光线强度发生较大变化等都会影响到运动估计的准确性。

(2) 估计目标的运动必须利用相邻两帧图像来实现,如果某些目标暂时停止运动,则在相邻两帧图像中完全检测不到物体的运动信息,因此不能将该运动目标从背景中分离

出来,必须采用其他方法来分割运动目标。

(3) 基于光流场的前景检测方法检测精度高,适合做精确分析,计算十分复杂,却无法获取目标的准确轮廓,且易受到噪声的干扰。如果没有硬件设备的帮助,一般很难满足视频监控系统的实时性需求,因此在实际场景中应用较少。

图 1.3 是 traffic 视频中第 31 帧图像的光流法检测结果(采用的是 Horn - Schunck 光流计算方法,具体代码及说明见光盘中的 HS_opticalFlow 目录),检测结果中的箭头方向表示了目标运动趋势的方向,光流法检测出了车辆的部分轮廓,但目标内部等运动变化趋势不明显等区域未被检测出来,因此漏检率较高;对背景的检测很好,误检率很低。因此从整体来说,光流法对该场景的检测性能较差。

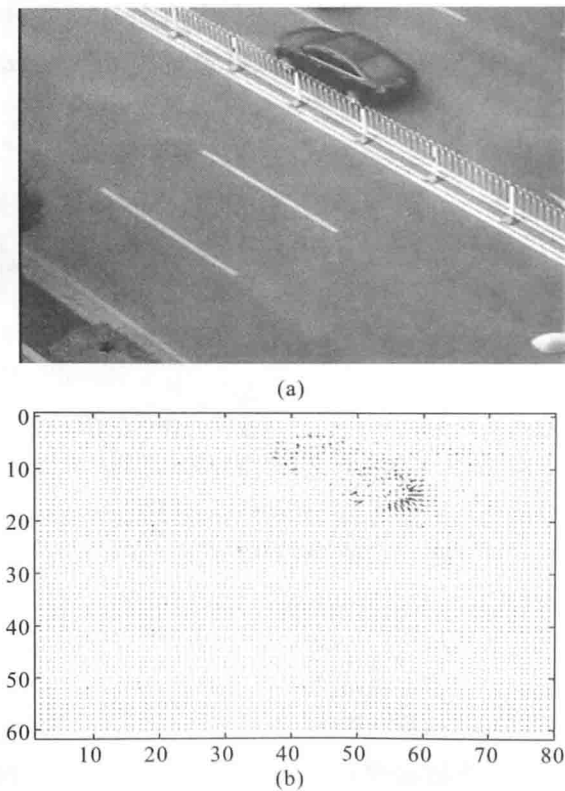


图 1.3 视频光流检测结果
(a) 视频原始图像;(b) 光流法检测结果。

1.5 性能评价

前景检测其实是个二分类问题,需要对图像中的每个像素进行判别是前景还是背景。而为了衡量检测算法的性能,需要在统计意义上对算法进行评价,这里重点介绍两个统计性能指标:检测率和 ROC 曲线。

1.5.1 检测率

对前景或背景检测效果进行评估的指标列举如下^[51]。

(1) Actual Number of Foreground (AF):前景点数量。

(2) Actual Number of Background (AB):背景点数量。

(3) True Positive Outcome (TP):正常前景点的数量,即 ground truth 中是前景点,检测算法得到的也是前景点。

(4) True Negative Outcome (TN):正常背景点的数量,即 ground truth 中是背景点,检测算法得到的也是背景点。

(5) False Positive Errors (FP):背景点被误检为前景点的数量,即 ground truth 中是背景点,检测算法得到前景点。

(6) False Negative Errors (FN):前景点被误检为背景点的数量,即 ground truth 中是前景点,检测算法得到背景点。

基于以上统计数据,可以得到下面一些衡量算法性能的更深层次指标:

(1) False Positive Rate (FPR): $FPR = FP / (FP + TN)$:背景误判率。

(2) False Negative Rate (FNR): $FNR = FN / (TP + FN)$:前景误判率。

(3) False Rate (FR): $FR = (FP + FN) / (AF + AB)$:总体误判率。

而我们关心的(前景)检测率(True Positive Rate, TPR)定义如下:

$$TPR = TP / (TP + FN) \quad (1-6)$$

1.5.2 ROC 曲线

接收者操作特征曲线(Receiver Operating Characteristic Curve, ROC 曲线)是一种信号检测分析工具^[52],用于:①最佳侦测模型的选取;②模型中最佳阈值的设定。

在做决策时,ROC 分析能不受成本/效益的影响,给出客观中立的建议。ROC 曲线是由第二次世界大战中的电子工程师和雷达工程师发明的,利用的是信号检测理论,目的是用来侦测战场上的敌军载具(如飞机、舰船)。之后很快就被心理学引入,来进行信号的知觉检测。数十年来,ROC 曲线分析被用于医学、生物学、信号检测等领域中,而且最近在智能信息处理领域也得到了很好的发展。

1. ROC 曲线简介

ROC 曲线通过真阳性率(TPR)和假阳性率(FPR)对系统检测的灵敏度进行描述。由于是以两个操作特征(TPR 和 FPR)作为标准,ROC 曲线也称为相关操作特征曲线。ROC 曲线分析提供了一种从模型或者类分部当中选择出最好的模型的工具。分类模型(分类器)是将一个实例映射到一个特定类的过程。分类器的结果可以通过类的边界阈值检测连续输出实数,也可以作为一个离散的标签表明的类。比如前景检测中对每个像素的判别(要么是前景,要么是背景,是个二分类问题),其结果只能为两种:真(p)和假(n)。在二分类器中有 4 类可能的输出方式:

(1) 如果输出的预测和真实的结果都是 p,则称为真阳性(TP)。

(2) 如果输出的预测是 p,而真实的结果是 n,则称为假阳性(FP)。

(3) 如果输出的预测和真实的结果都是 n,则称为真阴性(TN)。

(4) 如果预测是 n,真实的结果是 p,则称为假阴性(FN)。

ROC 在空间上将 FPR 和 TPR 分别定义为 x 和 y 轴,这样就描述了真阳性和假阳性类似获利和成本之间的关系。同时,TPR 就可以定义为“灵敏度”,而 FPR 就定义为“1 - 特

异度”,因此 ROC 曲线有时也称为“灵敏度和 1 - 特异度”曲线,每一个预测结果在 ROC 空间中以一个点代表。

图 1.4 中,越靠近左上角的点,表明预测方式越好,ROC 空间坐标轴(0,1)点代表着 100% 没有假阴性和 100% 没有假阳性,被称为完美分类器。假如完全随机预测,则会得到一条从左下到右上对角线(也叫无识别率线),这条斜线将 ROC 空间划分为代表了一个好的分类结果的上面区域的点,以及代表了差的分类结果的下面区域的点。

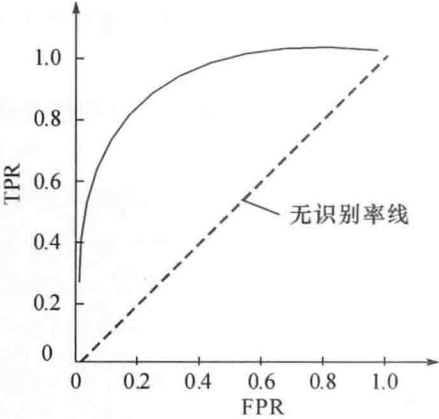


图 1.4 ROC 曲线例子

2. ROC 曲线在前景检测算法性能分析中的应用

现将 ROC 曲线理论应用到前景检测算法实验数据分析中,用以评价算法的性能。首先对由前景检测算法得到的检测结果与 ground truth(真值)图片进行操作,分别得出 TP、FP、TN 和 FN 值。得到这四个值后,计算得到真阳性率 (TPR) 即命中率和假阳性率 (FPR) 即错误命中率:

$$FPR = FP/N = FP/(FP + TN) \tag{1 - 7}$$

据此即可以画出 ROC 曲线。

1.6 智能视频分析及其在水电工程监控中的应用

目前,越来越多的水电工程监测研究成果表明,传统被动的监测技术存在诸多问题。在水电工程地质监测方面,如滑坡监测、地质灾害调查与评估、大坝安全监测,传统方法人工干预较多,较少采用人工智能、模式识别等先进手段,人力成本较高,监测与预报的准确性低;且监测范围和精度有限,不能准确捕捉灾害体变形破坏的时空分布规律,难以构造出监测对象的整体模型,无法有效满足水电工程地质监测的大尺度要求。在水电工程的电力设施监测方面,如电力设施缺陷、电力设施污秽、电力设施覆冰、水电机组故障等的监测,传统方法智能化水平低,监测手段单一,未考虑电力设施监测对象的复杂性和非线性等特点,具有很大的局限性。针对以上问题,当前世界各国都在积极开展水电工程监测新技术的研究,其中智能视觉监测技术正逐步取代传统被动的监测技术,成为新的研究热点。本书以水电工程中的船闸禁停线防越界智能监控为例进行说明。

1.6.1 智能视频监控技术简介

随着数字视频技术、网络技术和计算机技术的快速发展,相应的监控技术也朝着高效化、智能化、网络化不断前进。当监控系统规模较大时,工作人员需要时刻对监视场景内的活动进行分析,相应的工作量较为繁重,为此新一代智能视频监控技术应运而生。

智能视频监控(Intelligent Video Surveillance, IVS)^[53-55]是利用相应的计算机视觉相关技术来对视频信号进行理解、分析和处理,在不需要工作人员时刻参与的情况下,对摄像机所拍摄到的图像利用计算机进行自动分析。首先通过对动态场景中的目标进行相应的检测、识别或者跟踪,然后分析判断目标的当前行为,以便能在有异常发生的情况下及时采取行动,完成日常工作的管理,协助有关安全人员来处理危机,最大限度地减小误报与漏报概率。智能视频监控产品具有成本低廉、智能化、实时性、主动性等特点,被广泛地应用到日常生产、生活的各个方面。视频监控系统代表着监控行业未来的发展方向,同时也吻合计算机信息未来的发展趋势,蕴含巨大商机与经济效益,引起了管理部门、产业界和学术界的高度重视。

智能视频监控技术主要是通过对运动目标进行提取,对检测到的目标进行识别与跟踪,来对目标的行为进行理解,实现对视频进行自动处理与分析。该技术利用强大的计算机数据处理功能来处理视频,过滤掉不重要的信息,保留关键信息。智能视频监控以数字化、网络化为基础,但又不同于一般的数字化、网络化视频监控。智能视频监控系统不仅能够识别物体,进而发现视频中的异常情况,并能够实时发出警报等信息,从而能够更加有效地协助安全人员处理危机。其最终目的就是要使监控系统能够理解视频画面中的内容。智能视频监控涉及到图像视频处理、模式识别和人工智能领域中的众多核心技术,是一个非常具有挑战性的课题。相对于传统的视频监控系统,基于智能视频分析技术的智能视频监控系统具有以下几大优势^[53]:

(1) 报警精确高。不同于简单的视频移动检测报警功能,基于智能视频分析技术的智能视频监控系统可以大大提高报警精确度。用户能够更加精确地定义一个安全威胁的特征,前端设备可以集成强大的图像处理能力,并运行智能算法,降低误报和漏报现象,而且可以减少大量的无用视频数据。

(2) 特定事件识别。通过设置事件规则从而识别特定事件,例如在公共场所遗留了物体(遗留物检测),或者停留在敏感区域的时间过长(徘徊检测),从而在安全威胁发生之前就能够提示值班人员关注。通过特定事件识别,可以在事件出现前采取相应的预案,从而达到有效预防的目的。

(3) 提高安全部门的保护级别。协助安全部门提高公共环境或者室外区域的安全防护,包括移动侦测、目标追踪、人脸识别、车牌识别和非法滞留等。

(4) 其他应用。除了安全相关类应用之外,智能视频监控在人数统计、人群控制、注意力控制和交通流量控制等一些日常生活中也可有相关应用。

水电工程复杂环境下的视频监控一直是计算机视觉领域的难点,这方面的研究刚刚起步,许多优秀的检测、跟踪和识别算法在复杂的环境中都难以达到令人满足的结果。因此,研究水电工程中的检测、跟踪和识别的视频监控系统具有重大意义。