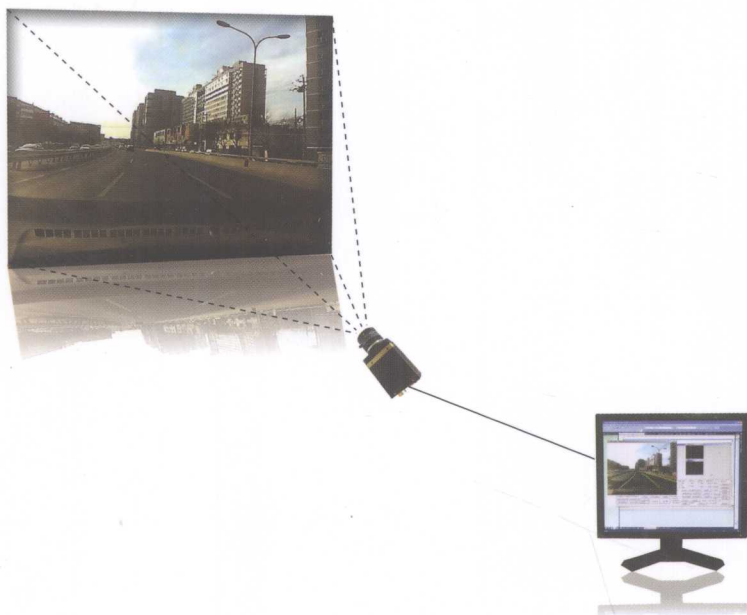


图像检测与 目标跟踪技术

IMAGE DETECTION AND OBJECT TRACKING TECHNOLOGY

◇李 静 王军政 著



 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

014035936

TN911.73
94

内容简介

本书是“图像处理与目标跟踪技术”系列丛书之一，主要介绍图像处理与目标跟踪技术的基本原理、方法和应用。全书共分8章，第1章介绍图像处理的基本概念、方法和应用；第2章介绍目标检测的基本原理、方法和应用；第3章介绍目标跟踪的基本原理、方法和应用；第4章介绍目标识别的基本原理、方法和应用；第5章介绍目标分类的基本原理、方法和应用；第6章介绍目标检测与跟踪的综合应用；第7章介绍目标检测与跟踪的综合应用；第8章介绍目标检测与跟踪的综合应用。

图像检测与目标跟踪技术

李静 王军政 著

李 静 王军政 著



 **北京理工大学出版社**

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS



北航

C1723143

TN911.73

94

01403298

内 容 简 介

本书主要介绍了图像检测与目标跟踪的相关理论和技术。共6章:第1章主要介绍图像检测与跟踪技术及其发展现状;第2章讲述了图像检测与跟踪系统的基本组成,分别对摄像机的工作原理、特性、数据接口等进行阐述;第3章介绍了常用图像处理算法,包括图像灰度化、增强、滤波、校正、压缩以及边缘检测等;第4章和第5章是本书的核心,详细讲述了多种目标检测和跟踪算法;第6章为应用实例。

本书总结了作者及相关人员在目标检测与跟踪方面多年的理论研究和实际应用成果,内容实用,层次清晰,系统性强。可作为高等院校及科研院所图像处理、视频处理和计算机视觉等课程高年级本科生、研究生的教材,也可供相关领域的科研及工程技术人员阅读参考。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

图像检测与目标跟踪技术 / 李静, 王军政著. —北京: 北京理工大学出版社, 2014. 4

ISBN 978 - 7 - 5640 - 8849 - 1

I. ①图… II. ①李… ②王… III. ①图象处理 - 高等学校 - 教材②图象通信 - 目标跟踪 - 高等学校 - 教材 IV. ①TN911.73②TN919.8③TN953

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 052889 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)
82562903 (教材售后服务热线)
68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 保定市中华美凯印刷有限公司

开 本 / 710 毫米 × 1000 毫米 1/16

印 张 / 18.25

彩 插 / 8

字 数 / 321 千字

版 次 / 2014 年 4 月第 1 版 2014 年 4 月第 1 次印刷

定 价 / 66.00 元

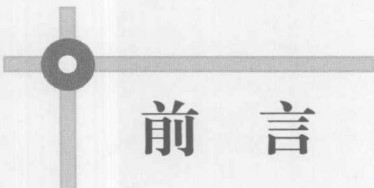
责任编辑 / 莫 莉

文案编辑 / 张海丽

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 王美丽

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换



前言

图像的采集、传输、处理是信息领域非常热门的研究内容，并且应用十分广泛。本书全面系统介绍的图像检测与目标跟踪技术，是作者在这方面多年研究和应用的成果总结。

本书主要围绕图像检测和目标跟踪处理算法进行阐述。共6章：第1章主要介绍图像检测与目标跟踪技术发展现状；第2章阐述了图像检测与目标跟踪系统的组成，包括辅助光源系统、摄像机和图像采集处理系统，并讲述了摄像机的特性、数据接口及如何选择使用；第3章是图像处理基础，主要包括图像灰度化、增强、滤波、校正、压缩以及边缘检测方法等；第4章详细讲述了目标检测方法，包括基于阈值分割、颜色分割、运动信息、轮廓特征、特征匹配等方法，以及图像测试系统中目标的精确位置计算方法；第5章详细讲述了目标跟踪方法，主要包括基于混合高斯背景模型、Camshift、多特征融合和滤波器的目标跟踪方法，以及压缩采样框架下基于特征基的目标跟踪方法等；第6章为应用实例，主要介绍了图像检测和目标跟踪技术在无人运动平台道路检测、空中机动目标检测与跟踪、人脸检测、稳像仪动态稳像精度测试、火炮动态稳定精度测试、钢板首尾自动剪切等方面的应用。

全书由李静和王军政共同撰写完成，书中所涉及的理论研究和应用实例全部是在王军政教授的指导下，由李静深入研究并组织完成，参与者包括：周斌博士、常华耀博士、韩天宝硕士、张小川硕士、毛佳丽硕士、陈超硕士、崔广涛硕士、谷玉硕士研究生等，书中诸多算法程序的设计和调试均由李静完成，同时也得到了汪首坤、马立玲、赵江波和沈伟等老师的支持和协助。

希望本书能够给从事本领域的研究生和专业技术人员提供一定的帮助。由于作者水平有限，本书难免有不妥之处，恳请各位专家、学者批评指正。

作者

2013年12月于北京理工大学

04	.....	去时图像图	5.5.5
74	.....	新时图像图	5.5.6
78	.....	去时图像空	5.5.7
80	.....	去时图像时	5.5.8
81	.....	去时图像图	5.5.9
82	.....	去时图像图	5.5.10
82	.....	去时图像图	5.5.11
82	.....	去时图像图	5.5.12
82	.....	去时图像图	5.5.13
82	.....	去时图像图	5.5.14
82	.....	去时图像图	5.5.15

目 录

第1章 绪论	1
1.1 图像检测与目标跟踪技术概述	1
1.2 图像检测与目标跟踪技术发展现状	4
1.2.1 图像检测技术基础	4
1.2.2 高速图像采集与处理技术	5
1.2.3 高精度图像处理技术	6
1.2.4 运动目标跟踪方法	7
参考文献	14
第2章 图像检测与目标跟踪系统	18
2.1 光源及照明系统	18
2.2 摄像机	19
2.2.1 图像传感器	20
2.2.2 摄像机的主要特性参数	26
2.2.3 摄像机的分类	27
2.2.4 镜头	30
2.3 图像采集处理系统	34
2.3.1 图像采集处理设备接口	34
2.3.2 嵌入式图像采集处理系统	37
2.3.3 计算机图像采集处理系统	39
参考文献	39
第3章 图像处理基础	41
3.1 图像灰度化	41
3.2 图像增强	43
3.2.1 直方图修正法	43

3.2.2 图像锐化法	46
3.3 图像滤波	47
3.3.1 空域滤波	48
3.3.2 频域滤波	50
3.4 图像校正	51
3.4.1 图像非均匀性校正	51
3.4.2 图像畸变校正	59
3.4.3 图像空间几何变换	68
3.5 图像压缩	71
3.5.1 传统图像压缩方法	73
3.5.2 压缩感知方法	76
3.6 图像边缘检测	81
参考文献	86
第4章 图像目标检测	88
4.1 基于阈值分割的目标检测	88
4.2 基于颜色分割的目标检测	91
4.3 基于运动信息的目标检测	98
4.4 基于轮廓的目标检测	108
4.4.1 基于改进 Snake 模型的目标检测	109
4.4.2 基于水平集的目标检测	119
4.5 基于特征匹配的目标检测	128
4.5.1 基于直方图匹配的目标检测	129
4.5.2 基于模板匹配的目标检测	131
4.5.3 基于 SIFT 的目标检测	134
4.6 目标位置计算	139
4.6.1 基于图像矩的目标位置计算	139
4.6.2 基于多次曲线拟合的目标位置计算	139
4.6.3 基于能量的目标位置计算	144
参考文献	151
第5章 图像目标跟踪	153
5.1 基于混合高斯背景建模的目标跟踪	153
5.1.1 混合高斯背景建模	153
5.1.2 实验结果分析	156

5.2 基于 Camshift 的目标跟踪.....	159
5.2.1 Meanshift 算法.....	159
5.2.2 基于高斯建模和 Camshift 的目标跟踪	161
5.2.3 实验结果分析.....	163
5.3 基于多特征融合与前景概率的目标跟踪.....	165
5.3.1 特征选择.....	166
5.3.2 基于 Sigmod 函数的特征融合跟踪算法.....	168
5.3.3 前景概率函数.....	174
5.3.4 实验结果分析.....	178
5.4 基于组合带宽 Meanshift 与加速收敛策略的目标跟踪	186
5.4.1 组合带宽 Meanshift.....	187
5.4.2 自适应 over-relaxed 加速均值迁移.....	189
5.4.3 跟踪算法流程.....	192
5.4.4 实验结果分析.....	193
5.5 基于滤波器组的特征估计与模型更新的目标跟踪	205
5.5.1 粒子滤波理论.....	207
5.5.2 基于粒子滤波器组的目标特征状态估计	212
5.5.3 模板更新判据设计	216
5.5.4 算法流程.....	217
5.5.5 实验结果分析.....	218
5.6 基于特征基空间和压缩采样的目标跟踪.....	224
5.6.1 基于特征基空间和压缩采样的目标描述	225
5.6.2 自适应目标跟踪模型	228
5.6.3 实验结果分析.....	230
参考文献	242
第 6 章 图像检测与目标跟踪技术应用.....	247
6.1 无人运动平台结构化道路检测	247
6.2 空中机动目标检测与跟踪系统	261
6.3 稳像仪动态稳像精度测试系统	264
6.4 火炮动态稳定精度测试系统	272
6.5 钢板首尾自动剪切系统	281
参考文献	283

第 1 章

绪 论

1.1 图像检测与目标跟踪技术概述

图像检测与目标跟踪技术在机器视觉、图像匹配、图像检测、目标跟踪和模式识别等方面都有很重要的应用。它以图像处理技术为基础，将光学电子、计算机和测试等多种现代技术融为一体，构成综合系统。目前图像检测与目标跟踪技术已被广泛应用于多个领域：在军事上，可用于空中机动目标的跟踪，机载、弹载或星载的目标检测，导弹末端图像制导，无人侦察或作战平台等方面；在工业上，可用于工业产品测试、机器人自主导航和视觉伺服控制，以及智能车辆等方面；在农业上，可用于农产品检测及长势监控等方面；在医学上，可用于生物组织运动分析等方面；在气象上，可用于云图分析预报等方面；在交通运输上，可用于智能交通管理、运输工具流量控制等方面；在智能安防上，可用于视频监控、危险物品检测等方面。

图像检测与目标跟踪系统以 CCD (Charge Coupled Device, 电荷耦合器件) 为传感器，主要由辅助光源、摄像机、图像采集卡、图像处理器和输出设备组成，如图 1.1.1 所示。

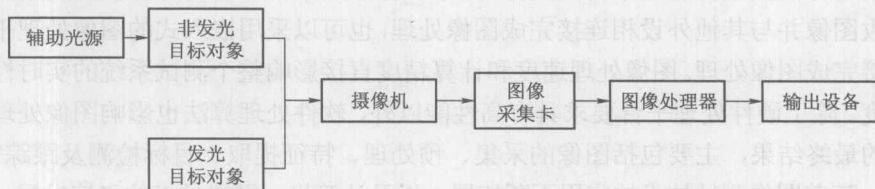


图 1.1.1 图像检测与目标跟踪系统组成框图

非发光目标对象需要辅助光源对其特征区域进行照射以获得较为清晰的目标图像。光源通常以固体发光光源和激光器为主，如发光二极管、半导体激光器等。

通过适当的光源照明设计,使图像中的目标信息与背景信息得到最佳分离,可以大大降低图像处理算法分割、识别的难度,同时提高系统的定位、测试精度,使系统的可靠性和综合性能得到提高。在图像检测与跟踪系统中,光源的作用主要有:

- (1) 照亮目标,提高目标亮度。
- (2) 形成最有利于图像处理的成像效果。
- (3) 克服环境光干扰,保证图像的稳定性和精度。
- (4) 用作测量的工具或参照。

摄像机作为视觉系统中的核心部件,对于视觉系统的重要性是不言而喻的。摄像机按芯片技术分为 CCD 芯片和 CMOS (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor Transistor, 互补金属氧化物半导体) 芯片,这两种芯片的主要差异在于将光转换为电信号的方式不同。对于 CCD 传感器,光照射到像元上并产生电荷,电荷通过少量的输出电极传输并转化为电流、缓冲、信号输出;对于 CMOS 传感器,每个像元自己完成电荷到电压的转换,同时产生数字信号。根据传感器的架构方式不同,摄像机可以分为面阵摄像机和线阵摄像机。根据摄像机的数据输出模式不同,摄像机可以分为模拟摄像机和数字摄像机。模拟摄像机输出模拟信号,分为逐行扫描和隔行扫描两种,隔行扫描摄像机包含 EIA、NTSC、CCIR、PAL 等标准制式;数字摄像机输出数字信号,其数据接口又包括 LVDS、Camera Link Base/Medium/Full、IEEE 1394、USB 和 GigE 等。

摄像机的帧率从几帧到几百帧不等,高速摄像机,如 MotionBLITZ Cube 系列,在满分辨率时的最高帧频为 5 500 fps (frame per second),通常用于高速记录系统,不适合做实时处理。应用在图像测试系统中的摄像机帧频需要根据被测系统的运动频率来确定,一般为几十帧到 200 帧,主要取决于图像处理算法的实时处理时间。

图像处理器可分为硬件处理平台和软件处理算法两部分。图像处理软件的正常运行需要硬件处理平台的支持,其中硬件处理平台可以由计算机通过采集卡接收图像并与其他外设相连接完成图像处理,也可以采用嵌入式的图像处理平台直接完成图像处理。图像处理速度和计算精度直接影响整个测试系统的实时性和精度。除了硬件处理平台要求具有高性能以外,软件处理算法也影响图像处理系统的最终结果,主要包括图像的采集、预处理、特征提取、目标检测及跟踪等。

随着图像测试技术的应用不断拓展,以及计算机、网络技术的飞速发展,摄像机采集和处理平台之间的界限也逐渐变得模糊,不能再用传统方法来区分视觉系统测试组件。例如,智能摄像机就与传统 PC 系统中的摄像机不同,它可以看作是一种高度集成化的小型机器视觉系统,大部分的智能摄像机都可脱离 PC 而

独立运行。它将图像的采集、处理与通信功能集于一身，提供了具有多功能、模块化、高可靠性、易于实现的机械视觉解决方案。同时，由于应用了最新的 DSP、FPGA 及大容量存储技术，其智能化程度不断提高，可满足多种视觉应用的需求。

通常视觉系统利用的是二维图像，即平面图像，图像由二维点阵组成。立体视觉的发展是机器视觉技术中一个重要研究方向，是最接近人类方式的三维信息视觉感知技术，其基本原理是利用两个或多个摄像机在不同角度观察同一场景，通过获取立体图像对的视差，进而实现恢复空间环境的三维信息。立体视觉技术已被广泛应用于自主视觉导航、运动目标监视跟踪、工业加工的三维信息获取等领域。源于三维技术在计算机视觉中的重要地位，关于三维图像获取技术的研究和产品开发就一直伴随着计算机视觉发展壮大的整个过程，从计算机视觉研究之初开始的双目立体视觉，到后来快速发展并产品化的三维结构光扫描仪、激光扫描仪等，最近一种名为 TOF（Time of Flight，飞行时间）的技术又给整个计算机视觉行业带来一种全新的三维探测方式。

飞行时间法三维成像，是通过给目标连续发送光脉冲，然后用传感器接收从物体返回的光，通过探测光脉冲的飞行（往返）时间来得到目标物距离。TOF 技术原理跟三维激光传感器原理基本类似，只不过三维激光传感器是逐点扫描，而 TOF 相机则是同时得到整幅图像的深度信息。TOF 相机与普通机器视觉成像过程也有类似之处，都是由光源、光学部件、传感器、控制电路以及处理电路等部分组成。与同属于非侵入式三维探测、适用领域非常类似的双目测量系统相比，TOF 相机具有完全不同的三维成像机理。如图 1.1.2 和图 1.1.3 所示，双目立体测量通过左右立体图像对匹配后，再经过三角测量法来进行立体探测，而 TOF 相机是通过入、反射光探测来获取目标距离。与双目立体相机相比，TOF 相机系统结构简单，能够实时快速地计算深度信息，帧率达到几十到 100 fps，并且其深度计算不受物体表面灰度和特征的影响，可以非常准确地进行三维探测，深度计算精度不随距离改变而改变。但是 TOF 相机的有限探测距离一般只有几米，因此不适合做远距离探测。

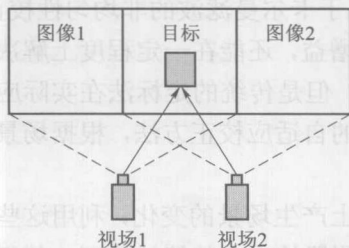


图 1.1.2 双目成像原理

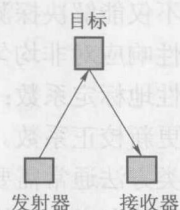


图 1.1.3 TOF 原理

TOF 是一种比较新的产品,但由于其诸多的优点和便利性,目前已经被广泛应用在一些实时性要求较高的场合,如交互多媒体、汽车辅助驾驶,以及人物跟踪计数等方面。

1.2 图像检测与目标跟踪技术发展现状

1.2.1 图像检测技术基础

1. 摄像机的非均匀性

在理想情况下,图像传感器受均匀光照时,各单元输出幅度完全一样。但是,由于制作器件的半导体材料不均匀(杂质浓度、警惕缺陷分布的不均匀性等原因所致)、掩膜误差、工艺条件等因素影响,在均匀光照下,图像传感器各单元输出的幅度会出现不均匀现象。CCD 图像传感器在既无光源注入又无电源注入情况下的输出信号是由暗电流引起的。暗电流的存在会占据 CCD 势阱的容量,降低器件的动态范围。暗电流限制了 CCD 工作频率的下限。

由于 CCD 传感器存在散粒、热影响、电荷转移、读出等各种噪声,还有暗电流、量子效应、材质结构等局部差异性,各像素对于相同的辐照度产生的灰度值并不相同,甚至有较大的差异,因此会给测试带来较大误差,必须对其进行校正。目前已有的校正方法主要是针对红外聚焦平面不均匀性的校正算法,以及微光 CCD 器件图像的校正算法。微光 CCD 器件图像的校正算法原理是根据输出数据的特性对不均匀性进行校正,可分为两大类:一是基于定标的校正方法,该方法原理简单,同时对 CCD 器件的增益和偏移响应进行非均匀性校正,通常采用的两点法即属于该类,如 Liu 等提出一点、两点和多点的非均匀性修正算法用于时间延迟积分 CCD^[1],Pei 等针对 SLM 图像采用扩展向量中值滤波的非均匀性校正方法消除噪声^[2],还有很多采用卡尔曼滤波算法对非均匀性进行校正,如 Zhou 等提出改进的基于卡尔曼滤波的非均匀性校正算法,该算法不仅能解决探测器随时间的偏移和增益,还能在一定程度上解决探测器的非线性响应对非均匀校正特性的影响^[3],但是传统的定标法在实际应用中需要周期性地标定系数;另一类是基于场景的自适应校正方法,根据场景信息自适应的更新校正系数。

此类方法通常需要在每一探测器单元上产生场景的变化,利用这些变化依次提供统计参考点,依照这些参考点,探测器的响应就能被校正。基于场景的非均匀性校正方法可以实时更新估计参数,能够适应探测器单元特性随时间的

缓慢漂移。但是这些算法都要求场景中存在运动,并且计算的复杂性较大,因此需要对算法加以改进,以提高算法效率,进一步满足高速处理的要求。

2. 摄像机镜头畸变

摄像机成像模型采用针孔成像模型,但在实际生产过程中,摄像机镜头的制造和安装误差使实际成像系统并不能严格满足针孔成像模型的要求,因此采集的图像会存在畸变。为了提高图像测试的准确性,必须对该畸变进行校正。

20世纪70年代,FAIG开始研究遥感图像的畸变,并采用非线性优化技术来实现校正。此后,图像的非线性畸变校正成为国内外学者所关注和研究的课题。同时,学者们提出了多种校正算法,主要有基于神经网络的畸变图像校正方法、基于等效圆的校正法及基于径向排列约束的两步法等。上述方法已在机器人焊接和遥感图像测试等领域得到了广泛应用。

3. 摄像机标定

摄像机标定是图像测试技术的基础,摄像机通过成像镜头将三维场景投影到摄像机二维像平面上,以像素为单位,因此,如何从二维图像的像素坐标中寻找对应的三维空间信息是摄像机标定需要解决的问题。

根据标定过程中是否采用辅助标定参照物,一般将标定算法分成传统标定算法和自标定算法两大类。传统标定方法是采集具有已知信息的标定物图像,如已知物体的形状或尺寸等,进行图像处理得到标定物的像素信息,结合标定物的空间信息进行一系列的数学变换,获得摄像机的内、外参数。目前,传统标定方法主要有直线变换法、分步标定法和多平面标定法等。自标定方法是不依赖标定参照物,只是利用摄像机在运动过程中采集的图像之间的对应关系对摄像机进行标定。目前,自标定方法主要有利用主动系统控制摄像机做特定运动的自标定方法和利用多幅图像之间直线对应关系的摄像机标定等。

一般来说,传统标定法精度较高,但标定时需要辅助标定物,限制了其应用范围;自标定方法比较灵活,但由于未知参数太多,很难得到稳定的结果,目前该技术还不是很成熟。因此,在精度要求较高的应用场合且摄像机的参数不经常变化时,首选传统标定方法,而自标定方法主要应用于精度要求不高的场合。

1.2.2 高速图像采集与处理技术

动态图像检测与目标跟踪系统的特点之一为高速处理,首先要快速地获取及传输图像,进而对其进行处理。传统的图像处理方法直接对原始图像数据进行运算,势必存在运算量大、效率低等问题。随着压缩感知理论的提出,对可

压缩信号即使以远低于 Nyquist 采样频率进行采样, 仍然能够精确地恢复出原始信号, 这也意味着采用较少的样本数可达到同样的处理效果。目前, 压缩感知理论在图像目标检测方面已经有所应用。Hough 变换通常用来检测图像中的直线或其他参数化的形状, Gurbuz 等给出了如何在 Hough 变换域提取稀疏样本, 将压缩感知用于检测图像中参数化的形状, 并验证了可以采用基于压缩感知的方法检测噪声图像中的直线和圆, 然后给出了处理通过 GPR 采集地震数据实现地道探测的例子^[4]。Cevher 等描述了使用压缩测量值直接恢复背景相减图像的方法^[5-6], 认为当被测目标在图像中占较小部分时, 即在空间域中是稀疏的, 应用压缩感知理论即可恢复目标的轮廓。Wright 等采用稀疏描述实现鲁棒的脸部自动识别^[7-8]。总之, 基于压缩感知理论的目标检测领域发展尚属起步阶段, 该研究大多集中在本身算法及其改进上, 具有广泛的应用前景。

压缩感知理论利用了信号的稀疏特性, 将原来基于 Nyquist 采样定理的信号采样过程转化为基于优化计算恢复信号的观测过程, 也就是利用长时间积分换取采样频率的降低, 省去了高速采样过程中获得大批冗余数据然后再舍去大部分无用数据的中间过程, 从而有效缓解了实现高速采样的压力, 减少了处理、存储和传输的成本, 使得用低成本的传感器将模拟信息转化为数字信息成为可能。这种新的采样理论可能成为将采样和压缩过程合二为一的理论基础。

1.2.3 高精度图像处理技术

测试速度和测试精度是衡量测试系统的两个重要性能指标, 其中精度是测试系统最基本的性能指标。要完成对被测物体的测试, 系统必须满足一定的测试精度, 以确保获得有意义的数据, 保证检测结果的可信性。一般来说, 摄像机的视野不能太大, 否则, 单位像素的物理尺寸就会很大。增加成像系统的分辨率, 可以提高测量精度, 但成本会成倍地增加。采用亚像素细分技术、系统标定方法等也可以提高测量精度。

采用亚像素级边缘检测和目标定位方法来提高测试系统的精度已取得了较好的效果。目前, 亚像素级精度目标检测技术可以分为图像矩方法、曲线拟合法以及插值法。此类方法最初由 Hueckel 提出, 将边缘数据拟合到 Hilbert 空间以确定边缘像素^[9]。随后, 又出现了一些有效的亚像素定位算法, 如 Tabatabai 等提出利用灰度矩将边缘定位到亚像素级精度^[10]; Huertas 等利用 LoG 模板合成边缘局部表面模型的方法构造亚像素边缘检测算子^[11]; Lyvers 等提出利用空间矩进行亚像素定位^[12]; Ghosal 等提出利用 Zernike 矩算子进行亚像素定位^[13]; Kisworo 等提出采用局部能量法来对边缘进行亚像素定位^[14]; Jensen

等采用非线性插值的方法达到亚像素检测精度^[15]。

1.2.4 运动目标跟踪方法

根据摄像机的工作方式不同,运动目标跟踪可以简单地分为两大类:摄像机不动目标动和摄像机动目标动。

前一种方式广泛应用于视频监控、安防、非接触测量等场合。研究的内容主要包括背景建模、运动目标精确提取、阴影消除(姿态识别)等,一般通过减背景技术(如帧差、高斯背景建模、背景累计模型等)就可以获得大量的运动目标信息。

在第二种跟踪模式下,无法通过减背景技术有效获取运动目标的信息,但应用范围更广,近年来得到了广泛的研究。通常解决此类跟踪的核心思路是:当目标相对摄像机运动时,视频序列中每帧图像中所包含的目标区域或目标图像结构具有一定的连续一致性,可以利用这种一致性将目标跟踪转换为一种匹配问题。现在已有的目标跟踪算法中,人们试图对其进行分类,如基于运动检测或目标识别的跟踪算法分类,也有刚性目标与非刚性目标的分类方法等。目标跟踪作为一个不断发展的研究方向,新的方法不断产生,再加上其他学科方法的应用,各种分类之间的界限也逐渐模糊。根据跟踪机理不同,主要将跟踪算法分为基于光流的目标跟踪算法、基于运动估计的目标跟踪算法、基于识别的目标跟踪算法,以及基于特征搜索的目标跟踪算法,另外还介绍了压缩感知框架下的目标跟踪算法。

1. 基于光流的目标跟踪算法

基于光流的目标跟踪算法假设前后两帧中目标对应区域的像素值是相同的。光流场即图像运动场,也就是图像中每个像素点运动所形成的一个矢量空间,通过局部匹配计算目标的光流场而实现目标跟踪,因此决定基于光流场的目标跟踪算法性能的关键在于如何计算光流场。光流场可按照设计方法不同分为两类:特征光流和全局光流。特征光流中的典型代表就是 Lucas-Kanade 光流,他们提取出目标的局部特征,并进行差分匹配最终得到光流场。而全局光流诞生更早,主要包括 Horn-Schunck 算法、Nagel 算法等,这类算法的本质还是减背景的思想,利用整个图像之间的运动差异实现目标分割,从而间接地达到跟踪的目的。

基于光流的跟踪算法无需先验知识,在动态背景下能较好地跟踪目标,但其主要缺陷为对光照变化敏感,计算量过大,为了计算目标运动方向增加了偏导数的计算,加重了噪声的影响,因而基于光流的跟踪算法对跟踪环境要求比

较苛刻。另外,由于遮挡情况的存在,用光流估计目标的运动并不准确,且没有任何识别能力,通常需要引入假设模型来模拟目标运动^[16]。常用的假设模型分为参数模型和非参数模型两类。参数模型通常将单个目标假设为投影后的多个独立运动体,而每个光流矢量分别对应不同的投影面,通常单个运动体的运动可用6个参数仿射模型来描述,在一些改进的透射模型下,用8个参数来描述单一运动目标,此外,对于二次曲面还存在更为复杂的模型,在实际应用中计算并不便捷。非参数模型主要包括基于块运动估计的方法等。

2. 基于运动估计的目标跟踪算法

目标在运动过程中,从长时间来看,其运动方式没有规律可循,通常包含了匀速、变速、直线、曲线、旋转等运动形式,也就是说目标速度大小和方向都在变化。而在足够短的时间内,在了解了一定的目标运动信息后,可以根据其运动规律对其下一时刻的运动状态进行预测,在一定程度上缩小目标搜索范围。这种思想就是基于运动估计的目标跟踪算法的基本出发点。

在基于运动估计的目标跟踪算法中,通常将目标跟踪看作一个滤波的过程,在获取目标运动观测信息后,综合利用运动模型、预测滤波技术、似然估计技术及其他数学手段,逐步得到目标的位置、速度、加速度等预测信息。在这类算法中主要包括两个部分:机动目标模型和自适应滤波算法。很长时间以来机动目标模型一直是研究的热点问题之一,作为建模与预测的基本要素,这也是目标跟踪中不可避免的问题之一。由于目标运动观测数据存在很多不可预测的现象,一种公认的处理方式是认为足够短的时间内目标处于匀速直线运动中,而对其运动状态造成影响的因素通常看作是具有随机特性的扰动输入,并假定服从零均值高斯白噪声分布。然而实际情况下,目标的机动性单纯用匀加速直线与随机扰动的线性组合并不十分合理,只能认为短时间内机动加速度具有一定的相关性。现在常用的机动目标模型主要分为两类:基于直线运动的机动模型和基于圆周运动的机动模型。

直线机动模型主要包括:匀速(CV)及匀加速(CA)模型、时间相关模型(Singer模型)、半马尔科夫模型、“当前”统计模型、Jerk模型等。这类模型认为目标在理想状态下做匀速直线运动,受到随机加速、随机方向等扰动。圆周运动机动模型主要包括:圆周模型、扩展圆周模型、弧线模型、CAV模型、Helferty模型等。这类模型将目标的运动近似为匀速圆周运动,根据角速度、加速度和速度之间的运动学关系将目标的运动包含在一个以角速度为参数的转移矩阵中。

在得到了目标的运动模型之后,对运动的估计和预测就交由自适应滤波算

法来完成。最常用的滤波算法主要有卡尔曼滤波器 (Kalman Filter, KF)、扩展卡尔曼滤波器 (Extended Kalman Filter, EKF)、无迹卡尔曼滤波器 (Unscented Kalman Filter, UKF) 和粒子滤波器 (Particle Filter, PF) 等。

卡尔曼滤波器常用于线性运动且状态参数的概率分布为单一模式——高斯模式的预测, 具有几个特点: 它的数学模型不是高阶微分方程, 适合计算机处理; 卡尔曼滤波把被估计的随机变量作为系统的状态, 利用系统状态方程来描述状态的转移过程; 由于采用了状态转移矩阵来描述实际的动态系统, 其适用面大为扩展; 卡尔曼滤波的估计值利用了以前以及当前时刻的观测值, 这种递推利用了所有的观测数据, 但每次运算只要求得到前一时刻的估计值以及当前的观测值, 而不必存储历史数据, 降低了对计算机的存储要求。用 EKF 处理非线性运动的情况, 这种方法首先把非线性过渡过程进行泰勒展开, 用线性项近似目标动力学方程, 但在非线性过渡过程非常剧烈的场合, EKF 效果就比较差。UKF 由 Julier 等提出, 也是用来解决非线性问题的一种方法, 这种算法用一个 σ 矢量集合表示系统的均值和协方差。这些矢量通过跟踪的动力学方程和测量方程来传播, 而不对着两个方程进行线性化, 并且 σ 矢量分布的矩定义了状态估计的均值和协方差。也就是说该算法用非线性模型去预测下一状态的均值, 它是对非线性过程的二次近似, 效果比较好。Particle 滤波器是针对非线性运动、多模式分布的情况提出的一种优秀的滤波算法, 对前一帧的后验概率分布估计值进行采样, 然后传播这些采样值形成当前帧的后验概率估计器。

基于滤波器的目标跟踪方法, 其特点在于充分利用了目标的先验概率分布和观测信息, 在跟踪高速目标时能够有效地对目标运动状态进行预测, 由于计算区域小, 算法实时性好。但是该类算法关注目标的点特征, 单使用这类算法无法完整地描述目标, 也无法得到目标的整体信息, 因此通常要和其他的跟踪算法结合起来使用。

3. 基于识别的目标跟踪算法

随着模式识别技术的发展, 某些特定的目标跟踪环境中越来越多地开始采用模式识别技术来进行目标跟踪。在现阶段基于目标识别的跟踪算法中, 采用级联式分类器的目标分类方法应用最为广泛。其中, AdaBoost 分类器是使用最为广泛的一种跟踪分类器。AdaBoost 算法是 Freund 等^[17]提出的一种 Boost 算法, 它的目标是自动地从弱分类器空间中挑选出若干个弱分类器整合成一个强分类器。AdaBoost 算法用于目标跟踪是由 Viola 等^[18, 19]提出的。他们采用一种“积分图像”的图像表示方法, 大大提高了计算目标特征的速度, 然后采用

AdaBoost 学习方法, 从一个大的特征集中选择少量关键特征, 产生一个高效的分类器, 再用级联的方式将单个能力一般的分类器合成一个分类能力很强的分类器, 在图像中快速剔除背景区域, 而在可能存在目标的区域进行精确分类。该算法是当前目标跟踪中准确率最高的算法之一, 且其检测速度远远快于目前的一些检测算法。

采用基于目标识别的跟踪算法优势相当明显:

(1) 能够对多目标进行跟踪。由于基于目标识别的跟踪算法对整幅图进行特征分类, 符合目标特征的区域都会被识别出来。

(2) 能够有效克服遮挡问题。跟踪算法针对当前帧做分类处理, 没有利用已知信息, 当目标从遮挡中恢复就可立即被检测出来。

正因为这些优点, 基于目标识别的跟踪算法在视频监控、智能车辆管理等方面得到了广泛的应用。

但是其跟踪机理也限制了其使用范围:

(1) 对目标表观稳定性要求较高。当目标发生旋转运动或者受光照变化影响时, 跟踪不稳定。

(2) 需要大量的正例样本。分类器的性能与样本数量直接相关, 对机动目标进行跟踪时, 样本数量随着目标运动维数成指数上升, 训练时间也大大增加。

(3) 在高分辨率的视频序列中进行目标分类所带来的运算量巨大, 其跟踪的实时性难以满足要求。

4. 基于特征搜索的目标跟踪算法

要跟踪一个目标, 首先需要发现目标, 所跟踪的目标通常满足一个假设: 目标的空间域特征明显区别于背景。目标特征是一种对目标的降维数学描述。在目标识别和跟踪领域, 通常需要依靠检测目标的特征来识别或者跟踪目标物体, 甚至不需要对别的信息进行检测也可以完成任务。首先, 对于目标表象容易发生变化的跟踪场景, 检测一定的目标特征往往体现出更好的稳定性; 其次, 用少量的特征信息来描述目标, 大大降低了目标信息维度, 使实时匹配成为可能。在选择目标特征时, 通常遵循以下几点: 区分性、可靠性、独立性、数量少等。获取了目标的特征后, 通过推理目标参数, 根据表达目标的信息, 确定目标在图像中的位置、运动参数。因此, 基于特征搜索的目标跟踪算法主要包含两个步骤: 目标特征提取与定位。

1) 目标特征提取

在已有的文献中通常采用的图像特征有:

(1) 边缘与轮廓特征。边缘是指目标周围灰度发生阶跃变化的像素集合。