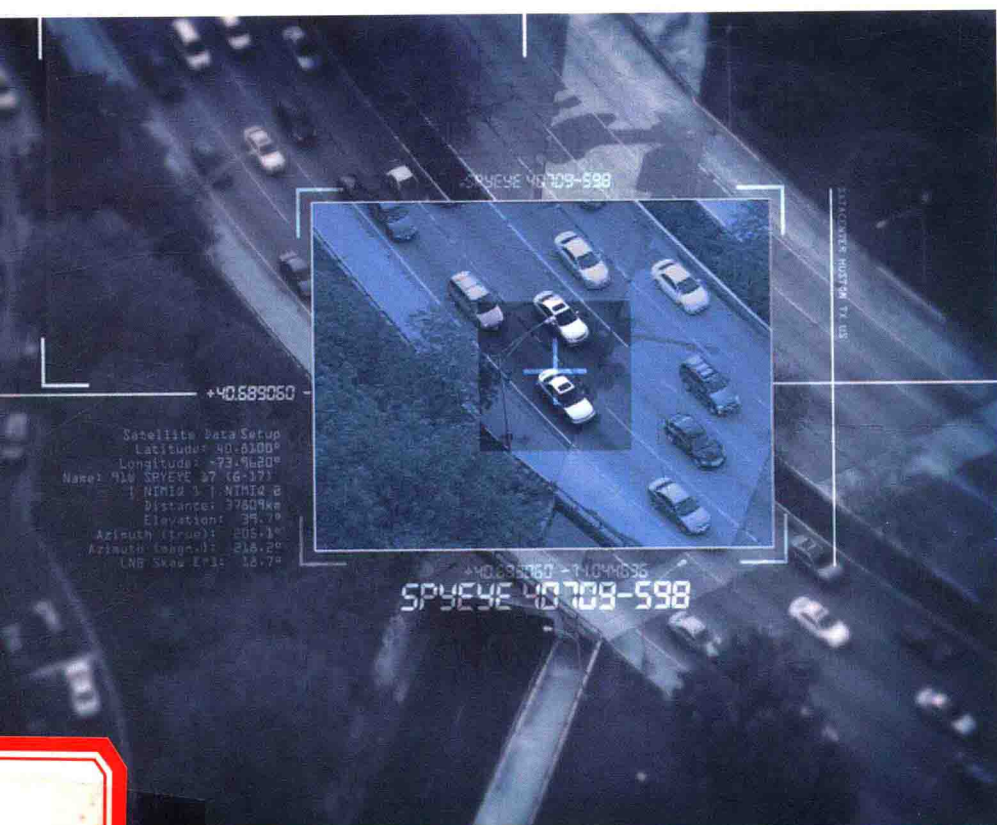


城市复杂交通场景下的 运动车辆跟踪技术研究

吴 刚 著



城市复杂交通场景下的 运动车辆跟踪技术研究

吴 刚 著

 东南大学出版社
SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS

· 南京 ·

内 容 提 要

采用计算机视觉技术对城市交通中的车辆进行检测与跟踪是当前计算机视觉与模式识别领域研究的热点问题,应用机器学习算法解决相应难点问题已经成为近年来常见的研究手段。从视频序列图像中检测和识别出运动车辆属性的前提就是稳健并精确地跟踪预定目标。本书结合作者近几年的相关研究成果,全面系统地介绍了运动车辆的检测与跟踪的技术概况、主要原理、经典方法和相关研究的最新成果。本书内容新颖,联系智慧城市建设与智能交通检测等问题,可以作为高等院校及科研院所计算机视觉、模式识别与机器学习等领域高年级本科生、研究生的教学和参考用书,也可以供相关领域科研与工程技术人员作为参考书使用。

图书在版编目(CIP)数据

城市复杂交通场景下的运动车辆跟踪技术研究 / 吴刚著. — 南京:东南大学出版社,2016.9

ISBN 978-7-5641-6674-8

I. ①城… II. ①吴… III. ①城市交通-汽车跟踪-研究 IV. ①U491.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 198896 号

城市复杂交通场景下的运动车辆跟踪技术研究

出版发行 东南大学出版社

出版人 江建中

社 址 南京市四牌楼 2 号

邮 编 210096

经 销 全国各地新华书店

印 刷 虎彩印艺股份有限公司

开 本 700 mm×1000 mm 1/16

印 张 6.5 彩插 8 面

字 数 165 千字

版 次 2016 年 9 月第 1 版

印 次 2016 年 9 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5641-6674-8

印 数 1—1000 册

定 价 20.00 元

(本社图书若有印装质量问题,请直接与营销部联系,电话:025—83791830)

前 言

针对计算机视觉中目标跟踪与分类问题,应用机器学习算法解决相应难点问题已经成为近年来常见的研究手段。基于视频图像的运动目标跟踪与分析是当前计算机视觉与模式识别领域研究的热点问题,从视频序列图像中检测和识别出运动目标属性的前提就是稳健并精确地跟踪预定目标。图像目标跟踪广泛地应用于机器人视觉导航、视觉安全监控、交通场景自动检测、军事国防等诸多重要领域。根据所跟踪目标的具体性质与场景,有很多不同的目标跟踪方法。由于复杂场景下,目标车辆在运动方向、远近尺度上的变化、现场随机噪声扰动和剧烈的光照强度变化等因素,基于视觉技术的目标车辆跟踪始终是一个棘手的问题。

本书系统地讲述在雨雪、车辆遮拦和现场环境噪声等复杂场景下,基于城市交通场景的视觉车辆跟踪关键技术,从跟踪特征的选择、跟踪算法的改进、机器学习中的子空间学习与重构技术、在线学习与识别、融合车辆跟踪与测距等方面对序列车辆图像跟踪与识别进行了深入研究。本书的主要内容包括:

(1) 在粒子滤波车辆跟踪方面,设计一种引入前帧加权采样的粒子滤波跟踪算法,解决 SIR 算法由于引进提议分布而需要严重依赖系统状态模型的问题,可以理想跟踪运动状态不规则的车辆;同时,为提高重采样的合理性与采样效率,提出了一种引入残差信息的分层重采样;对灰度共生矩阵等纹理特征在粒子滤波目标跟踪框架中的作用进行了测试与对比分析。

(2) 不同于先检测再跟踪的传统模式,基于自相关矩阵、IPCA 子空间更新理论和粒子滤波算法,设计了一种车辆图像跟踪框架,在跟踪开始就构建目标的子空间,实时学习与更新目标图像特征子空间,基于标准视频的实验表明所用跟踪器可以在光照突变、阴影场景下稳定且实时性地跟踪目标车辆,平均可以获得 5~10 帧/秒的处理速度。

(3) 针对复杂背景下目标跟踪窗口易受噪声干扰从而产生形变与

漂移的问题,利用群空间中仿射群组受扰动后的形不变属性,将系统状态变量映射到李群空间进行处理,同时采用增量 PCA 算法实时学习并更新目标特征子空间。所用方法在利用粒子滤波算法采样粒子时,通过引入测量向量以提高权值计算的准确性。对比 IVT2008 跟踪器,跟踪器窗口在噪声干扰下不会产生形变,将跟踪成功率提升至 96%;对比同类型的 Kwon2010 跟踪器,将平均执行时间有效地控制在 0.32 秒/帧。

(4) 针对目前多数运动车辆检测与跟踪算法在雨雪等强噪声场景下抗噪能力较弱的难点问题,将车辆跟踪问题视为在线两类分类问题,采用运动模板实时检测前景目标车辆的方向性,有效地缩小搜索窗口的检测范围,引导在线分类器识别出在线正负样本,基于传统 online boosting 算法基础上设计出 MT online boosting 算法。

(5) 基于射影几何中的 B 对偶空间几何,在充分利用二维棋盘格标定图像中点、线和面固有的几何关系与属性的基础上,通过改进的角点提取与计算,结合消隐点计算方法标定出摄像机的全部内参数。与 OpenCV 标定方法相比,新的标定方法对 CCD 摄像机内参数的计算更为准确。

本书是作者在近年来研究工作的基础上写作而成的,衷心感谢河海大学计算机与信息学院曾晓勤教授对作者的指导与悉心培养,为作者提供了优良的博士后工作环境,奠定了本书的写作基础。本书的研究工作成果为作者在河海大学计算机与信息学院博士后流动站工作期间所得,向河海大学计算机与信息学院所有帮助过作者的领导、教授与同志们一并表示感谢,同时也感谢金陵科技学院计算机工程学院田祥宏、苏守宝、王池社等领导对作者博士后研究工作的支持,本书的出版由国家自然科学基金项目(No. 61375121)和金陵科技学院高层次人才科研启动项目(No. jit-rcyj-201508)资助。限于作者的水平,书中难免有缺点与不完善之处,恳请批评指正。

吴刚 于河海大学计算机与信息学院
2016 年 6 月 7 日

目 录

1	绪论	(1)
1.1	车辆跟踪的研究背景	(1)
1.2	国内外研究现状及其应用	(2)
1.3	涉及的主要研究内容、面临的难点与解决方法	(6)
1.4	已有技术手段及其弱点	(8)
1.5	研究所采用的技术方案与路线	(11)
1.6	标准测试视频集及相关国内外主流杂志、会议	(14)
1.7	本书的结构安排	(14)
2	视觉目标车辆跟踪中粒子滤波算法的改进	(16)
2.1	粒子滤波简介	(16)
2.2	视觉目标跟踪中的粒子滤波理论分析	(17)
2.3	引入前帧加权采样的粒子滤波目标跟踪	(19)
2.4	引入残差信息的分层重采样	(24)
2.4.1	目前几种典型的重采样策略	(24)
2.4.2	引入残差信息的分层重采样算法步骤	(25)
2.4.3	引入残差信息的分层重采样的仿真研究	(25)
2.4.4	本章改进的重采样在运动车辆跟踪中的实际测试	(28)
2.5	视觉车辆跟踪中的特征选择与分析	(29)
2.5.1	本章所用纹理特征	(30)
2.5.2	车辆跟踪算法流程、试验结果与分析	(31)
3	子空间学习框架下的实时车辆图像跟踪	(34)
3.1	基于图像的子空间学习在车辆跟踪中的研究背景	(34)
3.2	增量主成分分析 IPCA 方法	(35)
3.2.1	Hall 的增量主成分分析 IPCA 算法	(36)
3.2.2	Ross 提出的 IPCA 算法	(37)
3.2.3	基于自相关矩阵更新与 EVD 分解的 IPCA	(39)
3.3	基于自相关矩阵的 IPCA 算法的执行	(39)

3.4	子空间更新方法的算法复杂度对比	(39)
3.5	自相关矩阵 IPCA 视觉跟踪的总体流程	(40)
3.5.1	本章跟踪涉及的相关参数与解释	(40)
3.5.2	本章目标车辆跟踪方法的总体执行流程	(41)
3.6	车辆跟踪的实验结果与对比分析	(42)
4	基于李群理论与特征子空间基的车辆跟踪	(44)
4.1	引言	(44)
4.2	群空间在视觉跟踪算法中的引入	(45)
4.3	基于仿射群组几何属性的视觉目标跟踪	(46)
4.3.1	李群与李代数	(46)
4.3.2	基于仿射群组的目标状态方程及其描述	(47)
4.3.3	融入测量向量后的粒子权值的更新与计算	(53)
4.3.4	增量 PCA 算法及目标图像特征子空间向量基	(53)
4.4	本章视觉目标跟踪算法的总体框架	(55)
4.5	基于标准数据源的试验与分析	(56)
5	基于在线学习理论的车辆识别与跟踪	(61)
5.1	车辆在线识别跟踪难点及研究背景	(61)
5.2	基于运动模板检测的 online boosting 算法	(62)
5.2.1	MT online boosting 算法的构成与执行流程	(62)
5.2.2	MT online boosting 算法中识别特征的选择	(65)
5.2.3	在线学习样本的检测定位及弱分类器的更新	(66)
5.2.4	参数设置及试验结果	(71)
6	B 对偶空间几何中基于消隐点的摄像机标定与测距	(74)
6.1	目前常见的摄像机标定方法与视觉测距	(74)
6.2	B 对偶空间几何中摄像机内参数初值的计算方法	(75)
6.2.1	B 对偶空间几何的相关属性	(76)
6.2.2	B 对偶空间下基于消隐点的内参数计算方法	(78)
6.3	本章摄像机标定的流程与相关参数	(81)
6.4	试验结果与对比分析	(83)
6.5	基于视觉方法的前车车距计算	(88)
	参考文献	(89)

智能车辆技术包含了计算机、移动通讯和自动控制等使车辆更具安全性、智能性、舒适性、娱乐性的多项综合技术,而基于微机平台的汽车信息化是实现智能车辆技术的基础和必要条件。智能车辆技术的研究可用于为有人驾驶汽车提供辅助安全驾驶技术、减少道路上交通事故的发生率,也可用于国防工业,同时也会带动汽车产业高新技术的发展。2002年丰田与微软签署协定,在丰田汽车上安装带有“Windows CE”操作系统的车载电脑,至2006年有33%以上的丰田汽车装配车载电脑。世界权威机构预测:电子信息处理将成为21世纪汽车的基本配置。汽车行业的激烈竞争,使众多厂家通过推出新车型,提高配置、服务质量和整车的性价比来提升竞争力。智能车和无人驾驶车辆通过装备环境感知、行为处理和执行控制等一系列智能化设备,可以在不同的道路环境下进行自主行驶。智能车辆集成了车载雷达、摄像机、GPS等多种传感器,是计算机科学、模式识别和智能控制技术高度发展的产物。

基于视觉图像处理技术的智能检测与识别是智能车系统的一个重要组成部分。智能检测与识别是集电子技术、计算机技术、通讯技术及自动控制技术等多项先进技术手段于一身的综合性系统,主要依靠测速雷达、超声波检测器与微波探测器等设备获取交通参数。实际应用表明,这几种参数获取办法具有如下缺点:①检测精度和可靠性不高;②不适宜大范围检测;③获取的交通信息量较少;④无法直观显示车型、牌照及交通现场等重要的路面信息。由于受到检测范围、检测能力和可靠性等方面的限制,上述几种信息参数提取方法已不能满足现代智能车辆技术发展的要求,研究具有更高应用价值的视觉与图像信息的参数提取方法显得日益重要。基于视频图像的交通参数提取方法是近10年出现和应用的一种新的信息参数获取方案。基于视频图像的交通参数提取系统是由摄像机、计算机处理技术、微处理器或工控机等构成,涉及图像处理、计算机视觉、模式识别、信号处理及信息融合等多个知识领域。基于视频图像的参数提取方法获取的交通信息量丰富,不仅可以获取车流量、车速、车型等常规车辆及路面信息,还可以获取常规电子检测器无法得到的现场信息量。

1.1 车辆跟踪的研究背景

从2004年至今,美国国防部先进技术研究署DARPA先后投入3500万美元

的巨额奖金举办多项无人驾驶汽车挑战赛。该项高科技赛事的举办旨在鼓励美国大学、汽车企业及相关科研机构开发无人驾驶智能车辆。2004 年的第一届比赛在全长 250 公里的沙漠中进行,成绩最好的车队也仅跑了 11.78 公里。2005 年各参赛车队进步明显,共有 5 个车队完成了全程的比赛,最终斯坦福大学车队获得了冠军。2007 年 DARPA 增加了挑战的难度,将比赛地改在前乔治空军基地附近的城镇中,全长 96 公里的赛程要求参赛车辆能够避开障碍物、遵守交通标志、汇入正常行驶的车流以及能够自动躲避其他行驶中的车辆,各参赛车辆必须在 6 个小时内完成规定的驾驶动作:自动驾驶穿越四路交叉的十字路口、在车流中穿梭以及高速公路驾驶等。DARPA 任命的裁判在对车辆行驶中的安全性、遵守交通规则的程度及行驶路线选择的效率等诸多因素进行综合评判后,最终共有 6 辆无人驾驶车辆顺利到达终点,美国卡耐基梅隆大学 CMU 的 Tartan 车队赛车 Boss 获得冠军。Boss 赛车以雪佛兰 Tahoe 为原型车,该车的研制获得通用汽车、Intel 和 Google 等国际大公司的支持,Boss 无人驾驶赛车拥有超过 50 万行的自动导航程序,并配备了激光传感器、摄像机和无线电雷达来实时监控道路的状况。德国军方于 2006 年组织了类似的无人驾驶挑战赛 ELROB,赛事组委会要求参赛的赛车穿越 240 公里的沙漠,当年度的比赛吸引了来自 5 个国家的 20 支车队参赛。我国在“十五”、“十一五”等国家级重大科研项目中也一直在资助无人驾驶车辆方面的研究课题。国外近年来较为成功的智能车还包括:

①美国卡耐基梅隆大学的 Navlab 系统,从研究初期的 Navlab1 系统到目前的 Navlab11 系统,该系列无人驾驶车辆使用计算机视觉技术进行导航控制。

②意大利帕尔玛大学的 ARGO 无人驾驶车辆系统,该系统使用 GOLD 视觉系统进行导航控制。该系统的首部样车于 1998 年 6 月在 2 000 公里的高速公路上进行了长距离试验,其中 94% 的路程使用完全自主导航,平均时速为 90 公里/时,最高时速达到 123 公里/时。

③德国联邦国防军大学的 VAMP 智能车系统,该系统使用计算机视觉技术检测道路和障碍物。

1.2 国内外研究现状及其应用

美国卡耐基梅隆大学国家机器人工程中心 NREC 的多个研究项目都涉及机器视觉与目标识别等相关领域,如图 1.2.1 所示 NREC 的 Cursher 智能车利用单目视觉与雷达技术在复杂山地场景下执行自动检测识别、场景分析、地图构建、路径规划与自动驾驶等操作,旨在减少危险环境下侦查士兵的投入量。如图 1.2.2 和图 1.2.3 示,2012 年 NREC 为 DARPA 研发了一款全新 PerceptOR 智能车,

PerceptOR 系统采用一个小型无人驾驶直升机作为远距离视觉检测的单目“电子眼”,该系统将直升机提供的空中俯视图象数据传回 PerceptOR 智能车进行实时分析,引导智能车规避障碍以及重新进行路径规划,PerceptOR 智能车自身装备的雷达和视觉传感器则提供中距离和近距离检测能力,该智能车具备障碍物与危险检测、三维路径规划与完全自主驾驶性能。



图 1.2.1 Cursher 智能车



图 1.2.2 PerceptOR 智能车

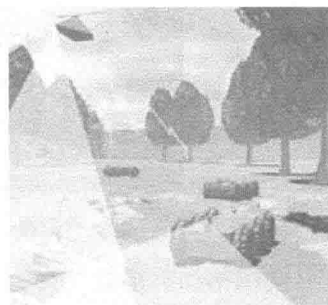


图 1.2.3 PerceptOR 系统示意图

1991 年美国加州理工大学对在高速公路上运用视频方法的检测技术进行了评估,在评估报告中对当时采用的多种视频车辆检测技术详尽地进行了分类。1994 年美国明尼苏达运输部 MN/DOT 为美国联邦公路局 FHWA 进行了更详尽严格的测评,结果表明视频检测器的检测准确性和可靠性可以达到令人满意的程度。同时随着视频车辆检测技术的发展,人们已不满足于仅仅检测出车辆,FHWA 进一步利用此技术来自动提取交通参数,如车速、车辆跟踪与行驶方向的预测、十字路口的车辆转向信息、违规车辆的相关信息等。英国雷丁大学计算机视觉研究组针对交通场景摄像机提供的视频信息进行实时分析,对交通视频的研究与分析的目的在于:①自动分析交通视频数据,以提高紧急服务的响应时间;②在繁忙的交通时间段,通过调整交通信号以尽量合理地提高或疏导单位时间段的交通流量。图 1.2.4 显示的是基于雷丁大学计算机视觉库基础上开发的汽车流量检测系统的试验图像。英国利兹大学视觉研究组的成立有着超过 18 年的历史,主要关注目标识别、图像分割、视频分析方面的总体方法。该研究组逐渐成长为英国最大的计算机视觉研究中心,其中的一个主要研究方向就是运动分析,包括目标分类、图像分割、运动跟踪与运动建模等。

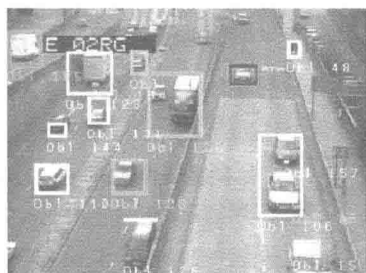


图 1.2.4 汽车流量检测图像

利兹大学 COGVIS 跟踪器采用混合高斯模型将前景目标车辆从背景中分离出来,通过关联图像像素与模型的位置、颜色、速度和尺寸,将单个的待跟踪车辆提

取出来。针对每个待跟踪车辆建立相应的模型,运动车辆的移动位置可以通过卡尔曼滤波器迭代计算出,如图 1.2.5 所示基于平面图的速度模型可以用于提高卡尔曼滤波器初始化的精度^[1],COGVIS 系统运行结果如图 1.2.6 所示。



图 1.2.5 基于平面图的速度模型



图 1.2.6 COGVIS 跟踪器

美国南加利福尼亚大学基于模型的检测与跟踪项目包含固定和车载摄像机的运动检测与跟踪,主要的研究内容分为以下两个层面:

①固定摄像机的车辆检测与跟踪,系统的该模块使用架设在交通标志杆或建筑物上的固定摄像机跟踪路面上的运动车辆。由于路面上车辆之间相互的遮拦不可避免,为处理遮拦问题系统采用车辆的形状模型进行检测。图 1.2.7 所示为夜间车辆检测跟踪的图像,图 1.2.10 所示为车辆检测跟踪系统的结构框图。首先假定待测车辆的类型并为其建立相应图像数据库,针对运动前景图像做匹配性计算以检测运动车辆的方向与位置,然后运用数据驱动的马尔科夫链蒙特卡洛方法处理与修正相应车辆参数^[2]。



图 1.2.7 固定摄像机的
车辆检测



图 1.2.8 车载摄像机的
车辆检测



图 1.2.9 十字路口的
交通检测

②基于运动摄像机的车辆跟踪,使用运动中的摄像机检测与跟踪运动车辆是一个困难的课题,这归因于摄像机的运动从而导致图像中每一个图像像素均在运动。系统的该模块采用一定数量的多视图几何约束从静态背景中分离出运动部分^[3],图 1.2.8 所示为基于车载运动摄像机的检测图像。

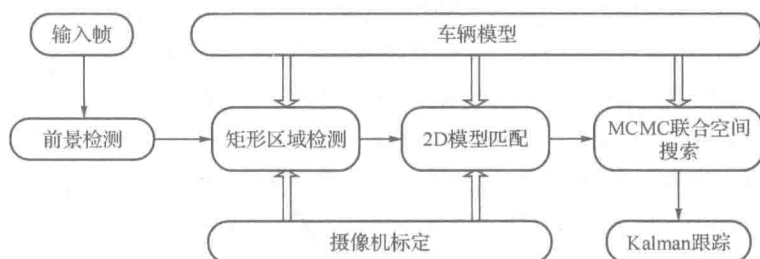


图 1.2.10 固定摄像机的车辆检测与跟踪结构框图

美国加利福尼亚大学圣地亚哥分校统计视觉计算实验室 SVCL 课题组, 其中一个长期的研究领域就是基于视频的智能车辆检测系统的开发, 包括可见信息的图像理解、视频信息的检索、视频信息的认知与分类、运动车辆的分割与跟踪等交通视频的分类与检索项目。相对传统的电子检测器方法, 近几年使用视频图像进行视频流数据的分析方法具有明显优势。如图 1.2.9 所示, 针对视频流的分析通常可以提供更为全面的信息, 如总体的交通流速度、车道的占有率以及单个车辆的跟踪信息, 许多已经存在的车辆检测系统采用车辆分割与跟踪框架。首先利用运动线索将待监控车辆从场景中分割出来, 然后运用多种跟踪方法对分割出的目标车辆进行跟踪。这种车辆跟踪框架有着先天性的缺陷: 目标车辆跟踪的准确性严重依赖分割后的结果。尤其对于一些复杂的交通场景例如光照的变化、阴影的干扰、车辆的相互遮拦等而言, 成功地分割出待跟踪车辆往往是难以完成的任务。另外的难点在于: 如果待跟踪车辆在图像中的区域较小, 例如只有几个像素大小, 这种情况下对于分割的准确性就要求更高, 图像分割中的细小偏差将极大地影响后续跟踪的可靠性。在 SVCL 的车辆视频的分类与检索项目中, 研究者利用动态纹理信息生成相应的概率模型并从整体上对运动场进行建模^[4]。运动场可以从视频流中被提取出并建立起相应的模型, 该方法避免了先分割再跟踪带来的难点问题。基于车辆的视频流分类与检索可以在使用概率 SVM 框架的基础上完成, 试验结果验证了该方法在拥挤的交通场景中进行车辆分类与检索的有效性。

2003 年 3 月, 由清华大学研制的我国首辆智能车 THMR-V 在公路上进行了现场测试, 该智能车使用计算机视觉技术对车道线进行检测与跟踪, 其平均时速为 100 公里/时, 最高时速达到 150 公里/时。一汽红旗 CA7460 自动驾驶车于 2003 年 6 月在湖南长沙的高速公路上进行试验, 自动驾驶最高时速达到 130 公里/时, 该车采用国防科技大学研制的视觉系统进行导航控制。2009 年 6 月首届中国“智能车挑战未来”比赛在西安浐灞生态区举行。参加比赛的有来自西安交通大学、清华大学、意大利帕尔玛大学、上海交通大学、国防科技大学等 9 支车队。比赛分为规定动作测试、挑战性测试和特色表演三个部分。规定动作测试和挑战性测试使

用全长 2.2 公里的赛道,规定动作测试要求无人驾驶车辆完成指定路线行驶,考察其基本自主行驶、通过交通路口以及转弯等能力;挑战性测试则针对城市道路环境,要求车辆在行驶过程中自动识别障碍物、交通信号、减速带以及执行 U 型弯道的能力等;挑战性测试 B 则专门针对没有标识线的乡村土路环境,考察无人驾驶车辆在非结构化道路中的环境感知和自动驾驶等综合能力;特色表演主要在模拟高速公路的环境中进行,包括高速自主行驶、自主超车、保持车距等内容。在针对城市和乡村两种道路的环境中,参赛车辆在对障碍物、交通信号和交通基础设施的识别和处理过程中各展其能,让人们近距离地目睹了国内无人驾驶车辆的科技风采。我国智能车的研究尚处于初中期阶段,整体研究工作和水平与欧美发达国家相比仍有一定的差距。在国内的高校和科研机构中,清华大学、浙江大学、国防科技大学、上海交通大学、西安交通大学、北京航空航天大学、西北工业大学、河海大学、南京理工大学、中国科学院北京自动化研究所和计算所等均开展过智能车与导航、视觉计算与理解、车辆控制等相关课题的研究工作,对我国智能车研发从实验室走向现场环境、推动和促进无人驾驶车辆验证平台的创新与发展具有重要意义。在民用车研发领域中,传统的针对冲撞后乘员保护技术已经远远不能满足现代交通对汽车安全性的要求。把以冲撞安全为核心的传统汽车被动安全技术,发展为以预防为核心的现代汽车主动安全技术,不仅已成为现代交通领域的迫切要求,更有效降低交通死亡率,减少特重大交通事故。在智能车研究向民用车的技术成果转化方面,近年来兴起一种“基于防撞自动刹车的车辆主动安全技术”,例如奔驰全新 S 级等高端车型配备的自动刹车系统,利用雷达与视觉技术对前方行人或障碍物进行自动检测,在预判危险状况时可以进行提示报警、自动刹车甚至自动变道控制,这些车辆主动安全技术涉及基于计算机视觉技术的车辆前方障碍物自动识别、前方车距与行道线检测、驾驶员工作状态检测等几个方面的研究成果。该领域一些研究项目采用单目视觉方法,在基于视觉信息处理的全天时行道线检测、车道偏离告警、前方车距检测及运动车辆跟踪、全天时驾驶员疲劳状态检测等关键技术方面取得了进展。

1.3 涉及的主要研究内容、面临的难点与解决方法

尽管国内外有不少专家预测未来 10~20 年内,无人驾驶车辆无法真正地实现产品化,但是仍然有越来越多的汽车厂商及国内外大学加入到车辆的智能驾驶研究中来,他们的研究重点由最初的完全无人自主驾驶转移到包括车道偏离报警、驾驶员疲劳驾驶预警、车速自适应控制等广阔的汽车辅助驾驶系统。目前车载雷达作为欧洲、美国和日本等国在智能车辆和传感器领域研究的热点,主要使用在高端

豪华车的汽车前向报警系统、主动避撞系统及自适应巡航控制系统等方面。随着世界各国对道路交通安全和主动式车载安全系统认识的不断提高,车载雷达自身及其相关系统的研究必然会得到进一步的重视。尽管新型车载雷达产品不断问世,车载雷达的探测能力与工作方式都得到了相应的改进,但是由于道路交通状况的日益复杂性,例如在繁忙的交通路线上行驶中的车辆总会存在变线、并线、转弯及上下坡等突发状况,再加上各种恶劣气候的影响,车载雷达测量的误报率总是很高,很难实时提供完全可靠的路面信息。随着电子技术日新月异的高速发展,早期制约计算机视觉导航的一些硬件方面的因素,例如运算速度、芯片体积、计算与存储能力、成本等问题已经不复存在,针对高速公路的无人驾驶车辆,在采用计算机视觉技术进行导航控制方面已经取得了初步的成功。视觉测量技术具有非接触性测量、适应能力较强、高精度、智能化等优点,在车辆自动驾驶与辅助导航方面具有广阔的发展前景,是智能车辆研究的关键与核心技术。在针对城市拥挤路面或复杂道路环境中采用视觉导航控制仍然遇到不少的难点问题,装备视觉导航系统的车辆在实际测试中只能达到 90% 左右的正确率,产生问题的原因主要包括:室外环境光照强度的变化、城市道路中车辆的高度拥挤、路面阴影、雨雪等无规律自然噪声、视觉算法自身的稳定性与抗扰性能等。由于视频或序列图像先天性容易受到自然恶劣天气条件与各类噪声的干扰,因此在复杂环境下进行视觉的检测与解析便是该项技术走向真正实用化需要解决的关键性难题。在计算机视觉导航的子任务中,例如噪声扰动下运动车辆的检测与识别、运动车辆的在线识别与分类、前方车距实时检测、障碍物与行人检测等仍然存在技术上的瓶颈问题。

随着图像处理和模式识别技术以及计算机硬件水平的提高,道路信息可以通过对图像或视频的处理和分析来获得。视频检测与图像处理技术为现代智能车视觉识别系统提供全面、准确的基础数据,同时也为城市智能交通控制系统的建设奠定了坚实的技术基础。法国标志-雪铁龙公司在雪铁龙 C3 轿车平台上开发了一款车辆辅助驾驶系统,该原型车采用单目视觉为主的技术手段可以实现智能速度接近控制,不仅可以识别前方摩托车、轿车与卡车的类型,并能实现纵向深度提取与避让控制^[5]。视频检测技术是随着图像处理技术的发展而产生的,也是最有发展前途的一种智能车检测方式。视频传感器主要通过安装在车辆上方或车身的摄像机摄取道路中前方路面图像,然后利用图像处理算法检测相关车辆与行人信息,进而识别并提取出相关的交通参数。与传统的电子检测技术相比,视频检测技术可提供现场的视频图像,具有直观可靠、安装调试维护方便、价格便宜、可以实现多车道同时检测等优点,缺点是容易受恶劣雪雾天气、灯光、阴影等自然环境因素的影响。现有的视频检测与识别系统对光照条件要求很高,不能满足夜间以及雨、雪、雾等极端天气条件下进行全天候检测,同时视频检测技术的理论与应用研究也需

要进一步地加以深入。对比其他类型传感器信息,视频或序列图像包含相对丰富的环境信息量,如交通信号、交通标识、道路标识、车辆与行人信息、车辆间距等。针对摄像机传输的视频图像信号,利用图像处理与智能识别、计算机视觉等综合技术手段进行图像特征提取、识别与解析,从序列图像中获取有价值的交通环境信息的视觉测量研究正受到越来越广泛的关注。研究主要涉及复杂道路场景与光照变化等噪声扰动环境下,运动车辆的检测、跟踪与识别技术。

在视觉传感器的具体检测手段上,利用机器视觉获取视频图像的技术通常分为单目视觉、双目视觉、多目视觉方法。双目视觉模仿人类双眼立体成像的原理获知图像中的三维视觉信息,利用双摄像机从不同角度对景物成像以获得视差从而恢复距离。相对单目视觉来说,双目或多目视觉尽管可以获取待测目标更多的图像数据,然而却牺牲了处理速度。双目或多目视觉都存在耗时的图像配准过程,要求图像传输同步且摄像机安装与架构的难度大。单目视觉具有相对成本低、系统结构简单、不需图像配准过程、处理速度快等优点,这对于利用视觉技术的智能导航系统来说具有重要的实际意义。尤其近年来,国外在自主机器人导航方面“视觉声纳”概念的提出,利用单摄像机结合其他传感器进行数据融合逐渐成为研究的主流,单目视觉技术相对双、多目视觉技术更具有研究的价值和意义。在基于智能车辆的视频图像自动检测方面,围绕如何解决其中所涉及的关键技术难题进行研究。从视频或序列图像中检测和识别车辆的前提就是稳健并精确地跟踪预定目标车辆,因此一个重点研究内容就是关于运动车辆的跟踪,基于车辆的运动跟踪涉及计算机视觉中从低层到高层的许多基本原理与方法,该问题的解决也为车辆以外其他类型的运动目标图像跟踪提供了思路与方法。随着模式识别领域子空间表达^[6]、李群理论^[7]的进一步研究,将这些理论方法结合目标跟踪也正逐渐成为车辆跟踪研究中的热点。在光照变化、目标车辆发生形变、雨雪等噪声扰动下,研究提高车辆跟踪算法稳定性、实时性与抗噪性的有效解决方法。在复杂场景的模式检测研究中,例如在城市道路或高速公路拥挤的行车环境中对单一目标车辆进行跟踪十分困难,那么从视频流中在线学习目标重要的信息或模式就是一个具有挑战性的视觉问题。复杂场景下的模式检测系统并非一味地采用长时段预测跟踪,也不是针对视频流的每一帧图像进行目标的检测,而是使用新样本的在线学习增强系统的分类性能,将车辆的跟踪问题转化为在线分类问题。基于机器视觉的目标测距技术对于机器人及自主车辆导航来说具有重要的意义,目标车辆的距离、姿态和方位等空间参数的准确获知将对后续阶段的决策有着决定性的影响。

1.4 已有技术手段及其弱点

计算机视觉中的车辆跟踪与识别技术,依据所使用视觉传感器的数量与技术

特点可以分为单摄像机、双摄像机与多摄像机识别 3 类。双摄像机和多摄像机检测与识别精度较高,存在的主要问题有:①需要精确的配准,耗时的配准过程对实时视觉导航来说有着不可忽略的影响。②一些特殊条件的约束,比如基线和摄像机光轴要严格处于同一平面上,这点对于摄像机的架设要求极高。另外值得注意的是:复杂路况环境下行驶的车辆将不可避免地会受到振动与颠簸,因而在长时段长距离行驶条件下,所架设的多个摄像机会存在位置与姿态上的相对变化。而采用单摄像机作为传感器对环境进行检测与识别,后期技术处理上不需要经过图像配准过程,同时具备算法处理速度快等优点。



图 1.4.1 基于单摄像机的前方车辆跟踪与识别的分类

基于单摄像机的前方车辆跟踪与识别方法众多,在此不可能一一列举所有理论与方法。如图 1.4.1 所示,从选用特征、采用模型和预测方法这 3 个角度将当前主流方法进行了分类。按选用的特征分为点、线和区域特征,光流场方法就是将图像的角点作为特征点进行跟踪识别,类似的方法还有 SIFT 算法^[8],以及近年来较为流行的时空方向能量场 SOE^[8]方法,这类方法的主要优点在于:对目标车辆在帧间的运动限制较小,由于只处理图像中少数的特征点,因而计算量相对较小。选用点特征进行跟踪的主要缺点是:很难提取目标车辆的精确形状,特征匹配问题尚未得到较好的解决。基于线特征的方法依据提取目标车辆边缘或轮廓信息对车辆进行跟踪识别,典型如主动轮廓线 Snake 方法,主动轮廓线方法提出后便一直成为图像分割领域的研究热点,随后又出现了多种改进型 Snake 方法并引入到运动目标跟踪领域。基于轮廓的跟踪方法由于轮廓的自动初始化问题、运算速度慢、不具备抗目标相互遮拦等缺陷,因而很难用于对实时性要求较高的车辆跟踪中。某一特

定区域图像提取的特征信息可以很好地代表待识别目标,因而基于区域特征的方法是采用最多的一类方法,其中 RGB 与 HSV 颜色直方图因其具备简单、高效、旋转不变性等优良属性是一种广泛采用的区域特征,主要的弱点在于损失了目标的空间信息、对光照强度变化敏感。值得注意的是,由于目标跟踪中模式识别领域子空间方法的引入,将代表目标的子空间作为区域特征进行跟踪与识别日臻成为研究的热点。按照是否依据特定模型可以将车辆跟踪与识别分为不基于模型与基于模型两类方法,早期采用的模板匹配与帧间差分等方法均属于不基于模型的方法^[9]。基于模型的方法文献众多,包括支持向量机 SVM 与神经网络 ANN 等方法均在车辆跟踪与识别中有所应用,这类方法中基于 2D 或 3D 模型的运动车辆跟踪、基于核估计理论的车辆跟踪是常采用的两种方法。基于 2D 或 3D 模型的运动车辆跟踪首先需要利用车辆的先验知识构建车辆的 2D 或 3D 模型^[10],模型的选择与构建可以基于特定车辆的结构关系,常用的车辆模型主要有:线框模型、表面边界模型、广义锥模型、视面图模型和体积模型,基于模型的运动车辆跟踪通过调整车身长度参数来模拟真实的车辆车身结构。针对类似大众桑塔纳 2000 这种车身结构特征分明的车辆,可以建立起较为完备的车辆模型,进而利用相关车身参数与模型匹配准则进行车辆的跟踪,然而现代流线型的车辆车身使得模型的构建与参数调整变得十分复杂,且计算量较大。基于模型的车辆跟踪存在的主要问题有:①为准确反映车辆特征,建立车辆模型往往需要大量的车辆数据。②只能针对已知车辆类型建立相应模型进行跟踪,对于突发闯入视野的未知车辆则无法跟踪。基于核估计理论的典型方法是均值移位算法,包括 Meanshift 和 Camshift 算法及其各种改进方法^[11],该类方法在视觉车辆跟踪领域中取得一定的成功,具有收敛速度快、跟踪精度高等优点,同时也存在一定的缺陷:①核函数窗口宽度的大小不能自适应调整,因此跟踪窗口不能适应序列图像中目标车辆尺寸的缩放。②核函数窗口不具备旋转特性,不能跟随目标车辆姿态与方位的改变自适应地调整跟踪窗口的方向。③均值移位算法因其迭代收敛的本质自身并不具备抗遮拦特性。按照预测类型分类,可以将车辆跟踪与识别分为两类,其中非预测方法不采用任何模型或技术对目标车辆的运行方向进行预测,而是在图像帧中实时检测或搜索目标车辆所在的位置,对实时性要求较高的场合通常采用预测的方法对目标车辆进行跟踪识别,常采用的方法为卡尔曼滤波器(Kalman filter)和粒子滤波器(Particle filter),这方面出现了很多相关衍生方法,诸如:扩展 Kalman filter、迭代扩展 Kalman filter、unscented Kalman filter、unscented Particle filter 和辅助 Particle filter 等^[12]。整体而言,基于优化估计理论的 Kalman filter 适合线性场合,而基于蒙特卡洛理论的 Particle filter 更加适合非线性场合。针对目标车辆的方向与速度突变、现场非高斯噪声的挑战,Particle filter 的预测效果要优于 Kalman filter,相对