

文章编号:1671-1637(2012)06-0119-08

无人飞机在交通信息采集中的研究进展和展望

彭仲仁^{1,2,3}, 刘晓锋⁴, 张立业⁴, 孙健^{1,2}

(1. 上海交通大学 海洋工程国家重点实验室, 上海 200240; 2. 上海交通大学 智能交通与无人机应用研究中心, 上海 200240; 3. 佛罗里达大学 城市与区域规划系, 佛罗里达 盖恩斯维尔 32611; 4. 同济大学 交通运输工程学院, 上海 201804)

摘要:以无人飞机多次试飞试验和相关研究成果为基础,分析了无人飞机在交通信息采集、处理与应用中的可能性及主要挑战,从不同角度展望了无人飞机在交通规划与仿真、道路监控、应急调度和城市交通拥堵分析等领域的应用前景。分析结果表明:应用无人飞机可以弥补现有交通信息采集技术的不足,是有效采集连续交通信息的新手段;随着动态交通视频处理技术的发展,从无人飞机采集的视频中可以自动提取交通信息;应用无人飞机采集的交通信息可用于应急调度、车辆跟驰、换道行为与交通拥挤等方面的研究;无人飞机动态交通视频处理技术的适应性还有待提高;利用无人飞机信息的车辆跟驰、换道行为与交通拥挤尚缺乏实证研究;建立无人飞机与地面应急系统的通讯和协调系统及无人飞机-车-路协调通信系统是未来重要的研究方向。

关键词:交通信息采集;无人飞机;信息融合;图像识别;地理信息系统

中图分类号:V279 **文献标志码:**A

Research progress and prospect of UAV applications in transportation information collection

PENG Zhong-ren^{1,2,3}, LIU Xiao-feng⁴, ZHANG Li-ye⁴, SUN Jian^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Ocean Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China; 2. Research center for Intelligent Transportation System and UAV Application, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China; 3. Department of Urban and Regional Planning, University of Florida, Gainesville 32611, USA; 4. School of Transportation Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract: Based on the flight tests and subsequent studies of unmanned aerial vehicle (UAV), the opportunities and challenges of UAV in traffic information collection, processing and application were analyzed, and the application future of UAV in traffic planning and simulation, road surveillance, emergency dispatch, urban congestion analysis and so on was prospected. Analysis result shows that the traffic information collection method using UAV is effective for continuous traffic information collection and complements existing methods. Traffic information is automatically derived from UAV videos with the development of dynamic video processing technology. UAV traffic information can be used to study emergency responses, car-following, lane-changing behavior, traffic congestion and so on. However, the adaptability of UAV dynamic video processing technology needs to be improved. The research on car-following, lane-changing and traffic congestion using UAV information needs empirical testing. Some important research direction in the future includes the establishment of UAV-ground emergency communication and

收稿日期:2012-08-30

基金项目:国家863计划项目(2009AA11Z220);国家自然科学基金项目(71101109)

作者简介:彭仲仁(1963-),男,湖南茶陵人,上海交通大学教授,工学博士,从事交通信息工程及地理信息系统研究。

coordination system, and UAV-vehicle-road coordination communication system. 4 figs, 30 refs.

Key words: traffic information collection; unmanned aerial vehicle; information fusion; image recognition; geographic information system

Author resume: PENG Zhong-ren(1963-), male, professor, PhD, +86-21-69583695, zrpeng@sjtu.edu.cn.

0 引 言

交通信息是交通运营、管理及事件应急的基础。当前的交通信息采集主要依赖于固定布设的各类交通检测设备,同时,基于浮动车、手机的移动检测系统也逐步成为了交通信息采集的方式之一。然而,在很多城市,固定型交通检测设备仅布设在快速路、主干路上,且布设路段数量有限,造成部分重要路段的交通信息缺失。浮动车与手机数据的有效性和可靠性往往受到抽样率的影响,抽样不足会导致该类数据的可信度不高。如何实时、准确、可靠地获取道路交通信息,是智能交通系统需要解决的关键技术之一。

无人驾驶飞机(Unmanned Aerial Vehicle, UAV),简称无人飞机,源于军事领域,当前已在民用领域,包括交通监控和信息采集、交通管理控制、应急响应、港口安全和自然灾害监控(如雪崩和森林火灾)等得到了广泛的应用。在交通领域,国内外学者对 UAV 的交通信息采集、信息提取开展了相关研究。目前,国际上主要有 4 个研究团队在飞行摄影应用于交通研究和应用领域成果显著,分别为美国亚利桑那大学 Hickman 教授研究团队、俄亥俄州立大学 Coifman 教授研究团队、荷兰代尔夫特理工大学 Hoogendoorn 教授研究团队和德国宇航中心 Kuhne 教授研究团队。美国与荷兰采用离线处理方式,而德国采用在线微观交通分析建立各自的航拍影像采集和分析软硬件平台。Coifman 等使用 UAV 采集了城市道路交通流信息,结合 GIS 平台,得到了道路流量、密度、平均交通量、道路服务水平等,还采用 UAV 进行 2 h 的定点盘旋试验,来监测城市道路交通,采集了交叉口排队长度、小型路网 OD 以及停车场利用率等信息,并用人工方式,完成 UAV 监测视频的流量、车速等信息提取^[1];Hickman 教授研究团队的 Agrawal 等通过航拍数字视频来获取交叉口排队长度,并使用人工实地调查对航拍视频处理效果进行了验证^[2];Kuhne 教授研究团队的 Ruhe 等对地面检测数据和航拍检测数据进行融合来对地面交通状况进行预测^[3];中国彭仲仁教授研究团队的刘晓锋等对 UAV 的路径规划、交通信息

采集、交通事件检测等进行了相应的研究^[4-5]。

上述研究虽然对 UAV 的交通信息采集技术及应用做了有益的探索,但缺乏对 UAV 交通研究框架和研究内容的系统分析和阐述。本文以 UAV 多次试飞试验和相关研究成果为基础,分析了 UAV 在交通应用研究中的机遇和面临的挑战,并从 UAV 的信息采集、处理和应用 3 个层面,提出了 UAV 在交通应用中的研究框架和内容。

1 UAV 交通信息采集技术及机遇

交通信息采集方式大致分为 2 种:一种为固定型交通检测器,主要包括线圈检测器、红外线检测器、雷达检测器、超声波检测器和视频检测器(含车辆牌照识别系统);另一种为移动型检测器,如 GPS 浮动车、基于蜂窝网络的手机定位、车载射频识别系统(Radio Frequency Identification, RFID)等。此外,无人飞机数据采集技术作为一种空中检测平台已经逐渐受到国内外的重视。

与早期的人工数据采集方式相比,固定型交通检测器具备很大优势,如节省大量人力物力,能够实现对道路交通状态的实时、全天候监测,可实时采集交通量、车速、车型、密度等信息。但受交通投资额的限制,布设有固定型交通检测器的路段数量有限,未布设的路段无法获取交通信息。

相对于固定型采集技术,移动型采集技术通过车载设备或手机,综合全球定位、通信、数据存储和地理信息系统等技术,实现动态交通信息采集。使用浮动车技术可以获得浮动车所经过道路的车速、行车旅行时间等信息。当浮动车数量足够大时,其行驶速度可定期、实时地传输到交通信息处理中心,经过处理后,可获得城市动态、实时的交通状态。但浮动车技术也存在不足,主要表现为:浮动车数据的可靠性受到驾驶人与记录仪器的双重影响,特别是 GPS 卫星信号强度很容易受楼群的影响;另外,仅依靠某一特定测试车辆(主动)或给定样本车辆(被动)估计整个路网行程时间会带来误差,且浮动车数量对交通信息的质量影响较大^[6]。使用手机定位技术采集交通信息具有投资小、覆盖范围广、数据量大

等特点,通过无线定位技术可以获取平均速度、旅行时间,还可以由平均速度推断交通事件等信息,但手机的定位精度、定位更新频率以及道路匹配问题会影响到数据质量。RFID 技术可以实现对装载有电子标签车辆的跟踪,获取其通过信息、平均速度、交通事件等信息,但车辆装载电子标签的比例一般较低,使其交通信息采集功能受到很大的限制。

无人机作为一种空中移动设备,通过装载各类传感器与摄像机或照相机,可实现对道路交通状况的实时监测,其侦测范围较广,机动灵活,但当风力大于 6 级或温度低于 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,无人机的飞行会受到较大的影响。无人机数据采集系统是一个综合的系统,主要由无人机、地面监控站和系统载体 3 部分组成。地面监控站的硬件设备主要包括地面发射机、地面接收机等,软件部分主要有数据通讯模块、监控模块和数据处理模块等。系统载体主要包括 GPS、传感器与摄像机或照相机等。无人机进行交通数据采集的工作原理见图 1,交通信息采集步骤如下。

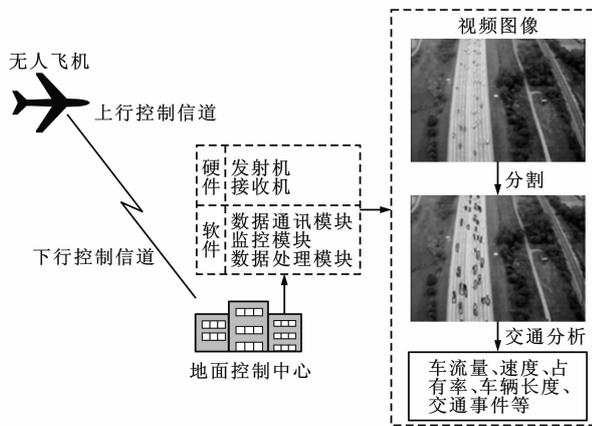


图 1 工作原理
Fig.1 Work principle

Step 1: 确定无人机的飞行范围,在地面监控站系统的地图上规划出无人机的飞行路径,通过地面控制平台发射各种指令,经过数据通讯模块与无人机进行信息交互,结合机内的自动控制系统完成无人机定高、定姿、定航线的飞行。

Step 2: 无人机的传感接收器接收指令后沿着规划路径飞行,监控模块对无人机的飞行进行实时监控,利用摄像机连续拍摄路面交通的视频图像,通过无线电传输 GPS 定位数据和视频图像至地面监控站。

Step 3: 地面监控站的数据处理模块完成对视频图像的处理,结合 GPS 定位数据分析各种交通

参数。

Step 3.1: 首先进行视频图像的分割,利用全域动态补偿技术(Global Motion Compensation, GMC)或其他图像处理技术完成对运动车辆的识别。

Step 3.2: 其次采用相关的算法实现对车辆的跟踪,结合交通分析方法,获得各种交通参数和交通事件。

无人机交通信息采集技术可以发挥其机动、灵活的优势,突破空间距离因素的制约,克服特殊地理与环境条件的影响(如沙漠公路、大雾天气等)。运用单 UAV 或多 UAV 的协作方式,实现较大范围内的交通信息采集,结合视频图像处理技术,可直接获取交叉口与路段的流量、速度、占有率、车辆长度与交通基础设施、行人、自行车等交通信息,此外,通过实时的视频监控检测交通事件的发生。相对于传统的交通信息采集方式,UAV 采集技术的环境适应性强,能够采集到广面域、多参数、宏微观兼具的交通信息,可为交通规划、交通仿真、交通控制、交通安全、交通拥堵等研究提供较好的信息源,并与其他交通信息采集技术相结合,丰富和发展现有的交通信息采集方法。

2 UAV 交通研究的方向和挑战

UAV 交通研究涉及交通信息的采集、处理、应用 3 个层面,每一层面均有各自的关键技术和研究内容。UAV 交通信息采集技术的研究框架见图 2。

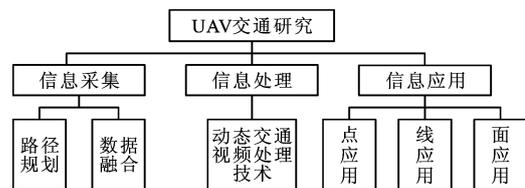


图 2 研究框架
Fig.2 Research framework

2.1 交通信息采集

无人机采集的交通信息与传统检测器信息相比,具有显著差异。首先,检测目标的空间范围不同。传统的固定型交通检测器对固定地点或小区域的交通流进行持续观测,而无人机因较好的机动性,能持续监测较大范围的交通信息^[7]。相比常规固定检测器,无人机检测到的交通信息在时空分布上具有明显的差异,从时空抽样的角度看,无人机检测的交通信息时空覆盖率最高,提供的交通信息最为丰富。其次,采集的信息粒度不同,即详细程度有差异。无人机通过对感兴趣区域的连续视频采

集,可跟踪、检测单个车辆的空间位置和运行状态,因此,运用无人机交通信息采集技术,既可以检测单个车辆的运行状态和行人、自行车行为等微观交通信息,也可以采集交通流量、平均速度、密度与交通设施分布等宏观交通信息。

运用无人机采集交通信息前,需要规划其飞行路径,本文基于国家 863 计划项目——基于地空信息技术的稀疏路网交通监控与预警系统研究,进行了以下研究。

(1)稀疏路网条件下的无人机路径规划。

(2)有一定数量的侦察目标和无人机,如何用最少的无人机和最小的代价实现对所有目标的侦察。

(3)无人机数量有限,如何用最少的代价侦察尽可能多的目标^[8]。

(4)如何用最少的无人机和最小的代价实现对所有目标的侦察,且对某些重要目标进行多次侦察。

稀疏路网条件下的地域范围较大,受 UAV 最大巡航距离和交通监控响应速度的影响,单架次的无人机一般较难满足巡航任务的需求,此时需要对区域路网进行动态飞行小区划分,在监控小区内部署无人机,实现飞行路径优化。本文充分借鉴已有研究成果^[9-13],提出了无人机巡航路径优化过程^[14],具体流程为:首先,对无人机的巡航区域进行监控小区划分,每个监控小区部署一架无人机进行侦察;其次,以无人机的巡航距离最短为目标,将监控小区内的无人机路径问题转化为旅行商问题,并用启发式算法求解最短巡航路径距离与巡航时间;再次,分析各监控小区的最短巡航时间是否满足无人机的巡航能力,即最大续航时间,满足则为最优巡航路径,否则返回到监控小区的划分步骤中,增加无人机的监控小区数量。

稀疏路网条件下的无人机路径规划主要以巡航距离最短为单一目标进行优化,与实际应用中的多样化需求存在一定的差距。针对无人机路径规划问题(2)~(4),进行了无人机路径规划问题的多目标优化数学建模和算法设计,对应情形的无人机路径规划见图 3,给定了 20 个侦察目标,同时结合 UAV 路径规划问题,给定一定数量的 UAV 和不同的侦察需求。图 3(a)中至少需要 3 架次 UAV 才能完成对所有目标的侦察;图 3(b)说明了只有 2 架次 UAV 时所能实现的最多目标侦察;图 3(c)为对单个目标的多次侦察。

运用无人机进行交通信息采集后,需要分析

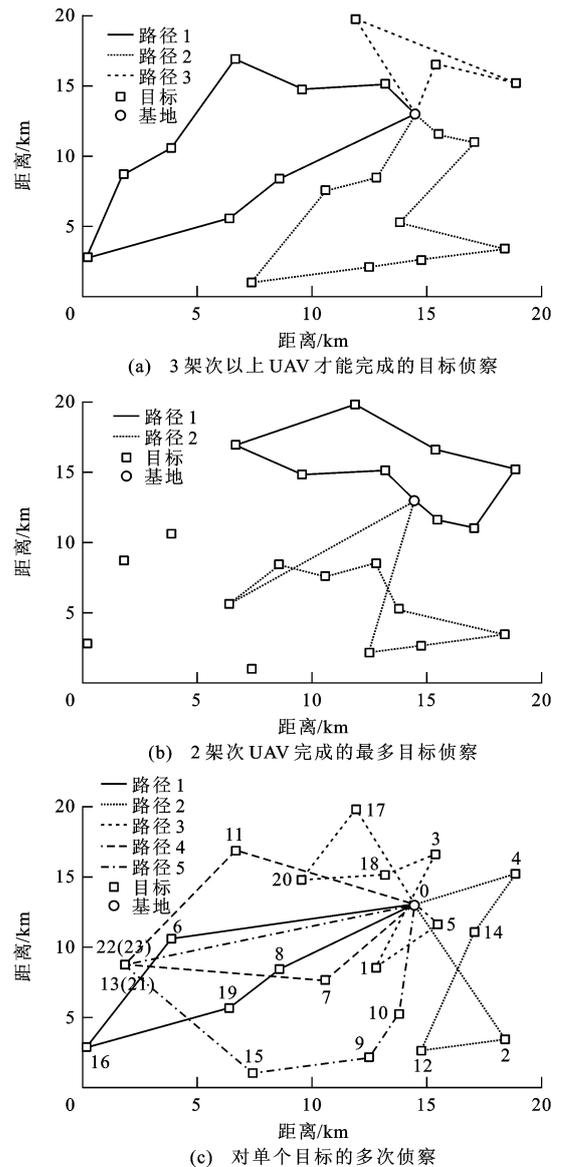


图 3 UAV 飞行路径规划

Fig. 3 UAV route planning

地空交通检测设备检测到的交通信息的相互关系。UAV、线圈、浮动车 3 种不同检测设备所检测信息距离与时间关系见图 4,坐标系体现了道路的时空维度,坐标原点为空间距离的参考点,图中显示的是与无人机飞行方向相反的路幅上所采集交通信息的时空分布。

目前已有学者探索了如何利用无人机进行交通信息检测,并展示了无人机获取交通流基本参数、交叉口转向比例、区域路网交通 OD 等交通信息的可行性。Coifman 等利用无人机对约 4.4 km² 的交通网络进行交通信息采集,检测道路服务水平、日均交通流量、交通 OD 和停车场利用状况等交通信息^[1];Puri 等针对城市路段和交叉口进行了类似的研究,展现了无人机应用于城市道路交通信息

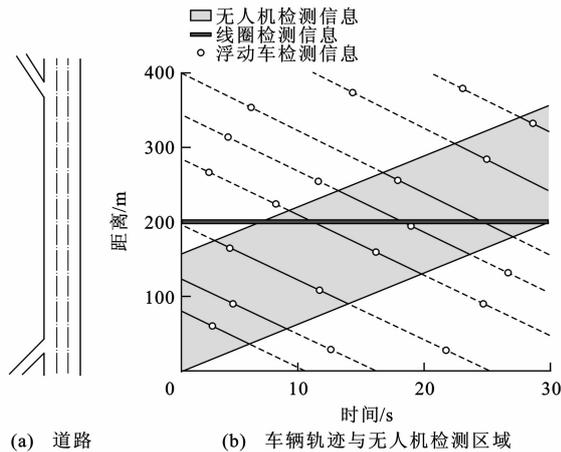


图 4 检测信息时空分布

Fig. 4 Spatio-temporal distribution of detection information

检测的潜力^[15-17]。但以上研究未对无人机检测的交通信息质量进行系统测试评估和误差分析,未考虑无人机与现有固定检测器和移动检测器的相互协调和补充方法。

研究表明,多种检测器合理搭配的检测效果要优于单类型检测器^[18-19]。基于无人机的交通信息检测方法,检测到的交通信息在时空覆盖范围和信度方面,与常规固定型或移动型检测器的检测结果有明显的差异,因此,如何有效融合不同数据来源、类型、粒度的地空交通信息,改善交通信息质量,具有较大的挑战性。未来的无人机交通信息应用重点研究内容包括以下几点。

(1) UAV 侦察未布设交通检测设备的路段,如无交通检测设备的郊区和农村偏远地区道路,获取相应的交通信息。

(2) UAV 侦察已布设交通检测设备的路段,融合地空交通检测设备检测到的交通参数,包括增加交通参数的种类,改善交通流参数的检测精度,更新和调整交通 OD 等。

(3) 以地面交通检测设备为基础,判断城市快速路、主干路与高速公路等是否发生交通事件,或以 UAV 为验证手段,确认交通事件的发生地点和持续影响时间,提高交通事件的检测精度和应对能力。

2.2 交通信息处理

无人机交通信息检测方法集成了无人控制飞行器技术、计算机视觉技术、遥测技术和无线信息传输技术等高新技术。这种新的交通检测方法在机动性、信息采集范围和所采集信息的粒度方面具有独特的优势,丰富了现有的交通信息采集与监控手段^[20]。但是,如何从 UAV 交通视频中快速提取出准确可靠的交通信息面临诸多挑战。UAV 交通信

息检测方法的关键技术是动态视频的识别与处理,即如何从无人机拍摄的动态交通视频中提取交通信息,该技术综合了机器视觉技术与摄像测量技术,其核心是动态目标的识别和跟踪。从无人机交通视频中提取交通信息主要存在以下难点^[21]。

(1) 从机器视觉技术角度看,无人机视频处理属于动态相机静态背景下动态目标的跟踪问题,大量适用于静态相机的简单有效的图像识别和跟踪技术,都不能适用动态相机问题。

(2) 由于交通领域的应用强调图像处理的时效性,视频处理算法设计对实时效率要求较高。

(3) 在城市环境中,道路周边存在建筑物和植被等复杂物体,以及复杂的城市道路几何条件、非机动车和行人都给视频处理带来困难,因此,交通视频的处理更具挑战性。

目前,已有学者对无人机视频处理方法进行研究,并开发了视频处理系统。Cao 等基于 BLPS-HOG 特征提取算法与 STARS 车辆匹配算法,提出了新的视频处理方法,提高了车辆的识别率^[21]; Angel 等提出了一种运动补偿视频处理方法^[22],但不适用于静态车辆检测; Reinartz 等提出一种利用道路数字地图数据提高跟踪效果的视频处理方法^[23],由于对于道路的数字地图要求较高,在实际应用中推广难度较大; Shastry 等利用视频配准技术对无人机视频进行处理^[24],具备较好的适用性。

已有无人机视频处理算法大都针对特殊应用环境,尚未出现适应性强的成熟软件产品,因而,需要对各方法在不同环境下的适用性进行对比分析,以提高算法的适应性。同时,图像处理与参数提取是实现 UAV 交通应用研究的关键,而当前较成熟的图像处理算法大都基于固定相机,采用简单的运动检测技术,如帧差值算法实现运动车辆的信息提取。当检测设备自身处于运动状态时,简单的运动探测技术难以完成任务,即使采用了摄像机动态修补技术,也会产生错误。在无人机视频处理方面,以下内容值得深入研究。

(1) 研究适应性强的图像处理算法,考虑不同光照、阴影、交通密度、飞机飞行高度和道路背景等因素。

(2) 提高算法检测率和运算速度,开发相应的硬件,达到数据实时处理。

(3) 开发快速高效的相机标定和图像配准算法,提高车辆大地坐标检测精度。

(4) 研究激光雷达、多普勒雷达等感应设备与数码相机数据的融合,提高图像数据处理效果。

2.3 交通信息应用

无人飞机可在交通基础设施数据采集、动态交通信息采集及应用等方面发挥重要作用。通过装载激光雷达,UAV不仅可以探测道路路面的铺装状况和破损程度,进行路面评价^[25],还能提取道路的相关特征,包括转弯半径、车道数、出入口、收费站的分布状况与交叉口渠化情况等,为交通规划和交通设计提供基础数据。其次,无人飞机采集的车辆行驶轨迹、车辆加速度、交通流量、交通密度等动态交通数据可在“点-线-面”等层面予以应用。此外,UAV视频可用于事故快速监测、响应和救援车辆导航,将事件信息提前传输给警车及救援车队,有助于救援车队在到达事故现场之前更好地了解事故性质与状况,或为救援车队尽快到达事故地点提供相应路径信息。

2.3.1 关键点交通数据采集与应用

无人飞机对道路平面交叉口、立体交叉、区域进出口与城市轨道、隧道和道路衔接点高速公路、快速路交织区、停车场等“关键点”区域,采取蝶形观测模式或者圆形观测模式进行空中监控。如果 UAV 设备具备悬停功能,则可直接从高空垂直拍摄,通过图像处理影像,实现以下交通应用。

(1)提取交通冲突样本。无人飞机可用来提取平面交叉口或交织区的机动车-机动车、机动车-非机动车的交通冲突数据,获取交通冲突的类型、数量、时间分布等特征,进行安全评价,并作为事故分析评价的补充和完善。与传统的录像观测法相比,UAV平台可高效提取交通冲突类型、数量、时间分布等特征,为交通冲突技术的深入应用提供良好的基础数据支持。

(2)分析交叉口车辆驾驶行为。从 UAV 视频中提取、计算平面交叉口的各进口交通流量、交通组成、车辆排队长度、车辆延误等数据,统计分析交叉口各种驾驶行为的类型、数量、时间分布等特征,研究不同类型车辆的速度、持续时间、所处道路服务水平与驾驶行为的关系。

(3)标定、检验传统仿真模型。在研究车辆排队时,交叉口信号延误模型主要采用交通流体力学中的冲击波分析模型和排队分析模型,缺乏现实数据标定。UAV从空中摄像,能够有效获得时间和空间匹配的交通参数,包括交通量、交通组成、交通转向比例、车头时距、车头间距、车辆延误、排队长度、车道占有率等,以此为基础,可进行实证分析,验证相关仿真模型的效果。

(4)交通控制与停车场应用。在交叉口控制方面,通过 UAV 检测到的交通量、车头时距、车头间距等参数,可进行信号交叉口饱和流率、车道宽度对道路通行能力的影响等研究,为交叉口相位设置、服务水平的评价等提供理论依据,进行单交叉口或若干相邻交叉口的信号控制优化。另外,UAV还可以用来提取、计算停车场(含轨道交通站换乘停车场)的时间、空间利用率,发布停车场的使用信息,评价停车场布局和运营状况等。

2.3.2 线性交通流数据采集与应用

利用无人飞机沿道路飞行,可实现对路段等“线”区域的监控,优化交通流仿真模型,如研究、验证车辆跟驰模型、车辆换道行为模型等,具体内容如下。

(1)提取关键路段(如过江桥梁、施工路段等)的交通流量、密度、车辆运行速度等,根据车速计算路段平均行程时间、路段平均行程速度,并结合交通流量、密度,分析路段服务水平。

(2)在某些紧急情况下,对重点车辆(如救护车、消防车等)进行导航服务。

(3)提取车辆在跟驰、换道过程中的加速度,获得车辆的行驶轨迹、换道的持续时间、与上下游交叉口或公交站等关键换道点的距离、前后车辆横、纵向间距等,进行跟驰、换道模型研究以及仿真软件各子模块的参数标定和验证^[26-27]。

2.3.3 面域交通流数据采集与应用

主要考虑将固定检测器采集到的路段时变数据,与无人驾驶飞机采集的时空数据相结合,利用 UAV 采集城市常发性交通拥堵点、路段及其周围路网的相关交通参数,建立交通拥堵的时空分析模型,分析城市道路交通拥堵的产生^[28]、传播^[29]和消散机理及演变过程^[30]。基于面域交通数据的研究内容如下。

(1)相互独立的一个或多个路段或交叉口的拥堵分析。

(2)相互影响的多个路段或交叉口拥堵分析。

(3)在以上两种拥堵分析的基础上,分析整个路网的交通拥挤演变过程,探究区域交通拥挤产生、发展、消散的一般特征,然后从城市土地利用、路网结构、城市交通系统构成等角度寻找交通拥挤的成因,为缓解城市常发性交通拥挤提供决策支持。

3 结 语

无人飞机交通信息采集技术能够提供广面域、多参数、宏微观兼具的交通信息,可与现有的固定型

和移动型交通检测器相结合。为了更好地发挥交通检测设备的交通信息检测效果,需要明确不同的交通检测设备的分工协作关系:以固定型交通检测器为主,进行定点、连续的交通信息采集;以移动型交通检测器为辅,扩大交通信息的检测范围,多渠道获取动态的道路交通信息;以无人飞机为有益补充,进行广域、低成本、多交通参数的检测。由此构筑交通参数全、数据精度高、覆盖范围广、采集成本低的全息交通信息检测系统,为交通规划、交通诱导、交通事件检测等提供信息支持。UAV在交通信息、智能交通系统等方面具有很大的潜力和应用前景,同时也有不小的挑战。本文为无人飞机在交通中的研究和应用提供了基本的框架和方向,具有如下广阔的应用前景。

(1)探索不同情景下的无人飞机交通信息采集方法,确定所需采集的交通参数种类,规范UAV起飞、侦察、回收3个阶段的技术流程;装载不同的传感器和摄像机或照相机,建立以不同的飞行高度、飞行速度和不同的空中侦察视野范围构成的侦察情景,评价不同情景下的交通信息采集质量。

(2)进一步研发无人飞机视频通信和图像处理技术,探索无人飞机视频数据实时传入控制中心技术和利用图像处理技术自动处理、提取及传递交通信息的方法,尤其是要加强无人飞机动态交通视频处理技术的适应性研究。

(3)基于无人飞机采集的交通点、线、面数据,结合手机、浮动车等获取的移动数据,拓展多源交通信息在交通领域的新应用,特别是结合大城市复杂路网的道路、交通、土地利用数据,建立并探究交通拥挤形成和扩散的时空演变模型,为解析交通拥挤的演变特征与发展趋势提供理论支持。

(4)基于无人飞机的紧急事件应急系统,建立UAV与地面应急系统的通讯和协调系统,既能够发挥无人飞机机动、灵活、视域广阔的优势,也能充分利用地面应急系统的资源,为紧急事件(如交通事故等)的检测、监控、资源调度等提供信息支持。

(5)基于无人飞机-车-路协调通信系统,将无人飞机作为一个空中监控和通信平台,为地面车辆运行提供实时导航与控制信息,有利于均衡路网负荷,提高路网的交通运行效率。

参考文献:

References:

[1] COIFMAN B, MCCORD M, MISHALANI R G, et al.

Roadway traffic monitoring from an unmanned aerial vehicle[J]. *Intelligent Transport Systems*, 2006, 153(1): 11-20.

[2] AGRAWAL A, HICKMAN M. Automated extraction of queue lengths from airborne imagery[C]//IEEE. *Proceedings of the 7th international IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems*. Washington DC: IEEE, 2004: 297-302.

[3] RUHE M, KUHNE R, ERNST I, et al. Airborne systems and data fusion for traffic surveillance and forecast for the soccer world cup[C]//TRB. *Proceedings of the 86th Annual Transportation Research Board Meeting*. Washington DC: TRB, 2007: 311-326.

[4] 刘晓锋,常云涛,王珣.稀疏路网条件下的无人飞机交通监控部署方法[J].*公路交通科技*,2012,29(3):124-130.
LIU Xiao-feng, CHANG Yun-tao, WANG Xun. An UAV allocation method for traffic surveillance in sparse road network[J]. *Journal of Highway and Transportation Research and Development*, 2012, 29(3): 124-130. (in Chinese)

[5] LIU Xiao-feng, PENG Zhong-ren, CHANG Yun-tao, et al. Multi-objective evolutionary approach for UAV cruise route planning to collect traffic information[J]. *Journal of Central South University*, 2012, 19(12): 3614-3621.

[6] 储浩,杨晓光,吴志周.交通移动采集技术及其适用性分析[J].*ITS通讯*,2005,10(5):57-60.
CHU Hao, YANG Xiao-guang, WU Zhi-zhou. The traffic moving-collection technology and its applicability[J]. *Intelligent Transportation Systems*, 2005, 10(5): 57-60. (in Chinese)

[7] COIFMAN B, MCCORD M, MISHALANI M, et al. Surface transportation surveillance from unmanned aerial vehicles[C]//TRB. *Proceedings of the 83rd Annual Transportation Research Board Meeting*. Washington DC: TRB, 2004: 101-107.

[8] 刘晓锋,彭仲仁,张立业,等.面向交通信息采集的无人飞机路径规划[J].*交通运输系统工程与信息*,2012,12(1):91-97.
LIU Xiao-feng, PENG Zhong-ren, ZHANG Li-ye, et al. Unmanned aerial vehicle route planning for traffic information collection[J]. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 2012, 12(1): 91-97. (in Chinese)

[9] 彭辉,王林,沈林成.区域目标搜索中基于改进RRT的UAV实时航迹规划[J].*国防科技大学学报*,2009,31(5):86-91.
PENG Hui, WANG Lin, SHEN Lin-cheng. The modified RRT-based real-time route planning for UAV area target searching[J]. *Journal of National University of Defense Technology*, 2009, 31(5): 86-91. (in Chinese)

[10] 赵锋,杨伟,王伟,等.基于组合优化算法的无人机航迹规划方法研究[J].*弹箭与制导学报*,2009,29(2):282-292.
ZHAO Feng, YANG Wei, WANG Wei, et al. A study of UAV trajectory planning approach based on combined optimization method[J]. *Journal of Projectiles, Rockets, Missiles and Guidance*, 2009, 29(2): 282-292. (in Chinese)

[11] 张艳,高晓光,魏小丰.四维空间中的无人机动态路径规划及仿真[J].*系统仿真学报*,2009,21(24):7838-7841.

- ZHANG Yan, GAO Xiao-guang, WEI Xiao-feng. Simulation of dynamic path planning for UAV in 4D space[J]. *Journal of System Simulation*, 2009, 21(24): 7838-7841. (in Chinese)
- [12] HUTCHISON M G. A method for estimating range requirements of tactical reconnaissance UAVs[C]//AIAA. Proceedings of 1st AIAA Technical Conference and Workshop on Unmanned Aerospace Vehicles. Portsmouth: AIAA, 2002: 1-12.
- [13] TIAN Jing, SHEN Lin-cheng, ZHENG Yan-xing. Genetic algorithm based approach for multi-UAV cooperative reconnaissance mission planning problem[C]//Springer. Proceedings of the 16th International Conference on Foundations of Intelligent Systems. Berlin: Springer, 2006: 101-110.
- [14] YAN Qing-yu, PENG Zhong-ren, CHANG Yun-tao. Unmanned aerial vehicle cruise route optimization model for sparse road-network[C]//TRB. Proceedings of the 90th Annual Transportation Research Board Meeting. Washington DC: TRB, 2011: 432-445.
- [15] PURI A, VALAVANIS K P, KONTITSIS M. Generating traffic statistical profiles using unmanned helicopter-based video data[C]//IEEE. Proceedings of the 2007 IEEE International Conference on Robotics and Automation. Roma: IEEE, 2007: 870-876.
- [16] PURI A, VALAVANIS K P, KONTITSIS M. Statistical profile generation for traffic monitoring using real-time UAV based video data[C]//IEEE. Proceedings of the 2007 Mediterranean Conference on Control and Automation. Athens: IEEE, 2007: 34-40.
- [17] MCCORD M R, MISHALANI R G, COIFMAN B, et al. Determining origin-destination flows across a two-intersection network from non-overlapping UAV and ground-based imagery[C]//WANG K C P, SMITH B L, UZARSKI D R, et al. Proceedings of the 9th International Conference on Applications of Advanced Technology in Transportation. Chicago: the American Society of Civil Engineers, 2006: 647-652.
- [18] BHASKAR A, CHUNG E, DUMONT A. Fusing loop detector and probe vehicle data to estimate travel time statistics on signalized urban networks[J]. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 2011, 26(6): 433-450.
- [19] DIA H, THOMAS K. Development and evaluation of arterial incident detection models using fusion of simulated probe vehicle and loop detector data[J]. *Information Fusion*, 2011, 12(1): 20-27.
- [20] ANGEL A, HICKMAN M, MIRCHANDANI P B, et al. Methods of analyzing traffic imagery collected from aerial platforms[J]. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2003, 4(2): 99-107.
- [21] CAO Xian-bin, WU Chang-xia, LAN Jin-he, et al. Vehicle detection and motion analysis in low-altitude airborne video under urban environment[J]. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2011, 21(10): 1522-1533.
- [22] ANGEL A, HICKMAN M, MIRCHANDANI P, et al. Methods of traffic data collection, using aerial video[C]//IEEE. Proceedings of the 5th International Conference on Intelligent Transportation Systems. Singapore: IEEE, 2002: 31-36.
- [23] REINARTZ P, LACHAISE M, SCHMEER E, et al. Traffic monitoring with serial images from airborne cameras[J]. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2006, 61(3): 149-158.
- [24] SHASTRY A C, SCHOWENGERDT R A. Airborne video registration and traffic-flow parameter estimation[J]. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2005, 6(4): 391-405.
- [25] ZHANG C S. An UAV-based photogrammetric mapping system for road condition assessment[C]//PRSSIS. Proceedings of the 2008 Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Beijing: PRSSIS, 2008: 627-631.
- [26] SUN D J, KONDYLI A. Modeling vehicle interactions during lane-changing behavior on arterial streets[J]. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 2010, 25(8): 557-571.
- [27] SUN D J, ELEFTERIADOU L. Research and implementation of lane-changing model based on driver behavior[J]. *Transportation Research Record*, 2010(2161): 1-10.
- [28] LIU Xiao-feng, SUN Jian, CHANG Yun-tao, et al. Traffic status evaluation based on fuzzy clustering and rbf neural network[C]//IEEE. Proceedings of the 7th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery. Yantai: IEEE, 2010: 1405-1408.
- [29] 孙 健, 刘 琼, 彭仲仁. 城市交通拥挤成因及时空演化规律分析——以深圳市为例[J]. *交通运输系统工程与信息*, 2011, 11(5): 86-93.
- SUN Jian, LIU Qiong, PENG Zhong-ren. Research and analysis on causality and spatial-temporal evolution of urban traffic congestions—a case study on Shenzhen of China[J]. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 2011, 11(5): 86-93. (in Chinese)
- [30] 刘建华. 城市道路常发性交通拥挤扩散范围估计方法研究[D]. 长春: 吉林大学, 2007.
- LIU Jian-hua. The research on the diffusion of recurrent congestion on urban road and forecasting method[D]. Changchun: Jilin University, 2007. (in Chinese)