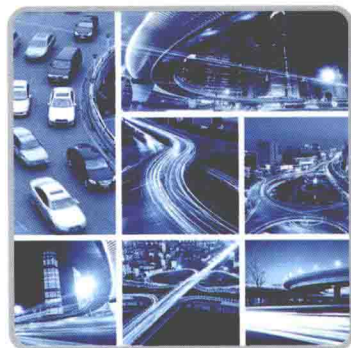


道路交通

信息检测 技术及应用

ROAD TRAFFIC INFORMATION DETECTION
TECHNOLOGY AND APPLICATION

李颖宏 张永忠 王力 主编



道路交通信息检测 技术及应用

李颖宏 张永忠 王力 主编
刘小明 主审



机械工业出版社

本书较为系统地介绍了道路信息检测技术的原理及应用。全书分为车辆检测技术、无检测器路口交通信息的获取技术、交通检测技术综合应用、交通环境检测技术共4部分10章,着重介绍了基于磁频、波频、视频的车辆检测技术,基于主成分分析法和聚类分析法来获取未安装检测器路口的交通流信息的技术,交通信息的预处理技术,车辆检测技术在智能交通系统中的综合应用,以及道路能见度检测及道路空气污染监测技术。

本书注重理论分析与工程实践相结合,内容丰富、针对性强、注重实用性,可作为高等院校交通工程专业、交通信息工程与控制专业、交通设备与控制工程专业、自动化专业及其他相关专业的教材或教学参考书,也可作为交通领域专业工程师或其他领域工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

道路交通信息检测技术及应用/李颖宏,张永忠,王力主编. —北京:机械工业出版社,2013.8

ISBN 978-7-111-43778-9

I. ①道… II. ①李…②张…③王… III. ①公路运输—交通信息系统—检测—高等学校—教材 IV. ①U491.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第198522号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:王欢 责任编辑:王欢

版式设计:常天培 责任校对:刘岚

封面设计:赵颖喆 责任印制:张楠

北京诚信伟业印刷有限公司印刷

2014年1月第1版第1次印刷

184mm×260mm·18.25印张·498千字

0 001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-43778-9

定价:49.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010)68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010)88379203 封面无防伪标均为盗版

序

智能交通系统（Intelligent Transportation System, ITS）旨在通过多学科交叉融合和发展，特别是现代计算机技术、信息通信技术、智能控制技术、现代管理技术等的应用，来最大程度地提高路网通行能力和使用效率、减少交通事故、缓解交通拥挤、降低能源消耗和减轻环境污染。经过 20 多年的快速发展，ITS 从概念的提出与完善、设备和系统研发，到大规模的技术应用与实施，在许多发达国家和地区已被证明是解决交通问题的有效手段。

ITS 的出现和快速发展，是道路交通系统及综合交通运输体系发展到特定阶段需要通过综合应用高新技术来解决交通问题的必然需求，更受到近 20 年来信息技术（IT）快速发展的直接影响和推动。ITS 的技术核心之一就是交通信息的全面、准确、及时的采集、处理、传输和发布。ITS 的大量研发、推广与应用都是围绕着交通信息的获取和处理展开的。可以说，交通信息的采集、检测技术是整个 ITS 的基础和关键。

本书较为系统地介绍了道路交通领域交通信息检测技术的基础理论、基本原理、检测方法与实际应用，对分布于各章节的各种道路交通信息检测技术进行了相应的应用实例分析，并在第 9 章以典型的电子警察系统为应用案例进行了多种交通信息检测技术的综合应用剖析，使读者清楚地了解在实施 ITS 工程时各种交通信息检测技术应用的条件和环境。

现阶段我国正处在城市化、机动化的快速发展进程之中。尽管道路交通基础设施建设的投入巨大、发展迅速，但仍难以适应经济快速增长和人们对交通的需求。如何减少交通事故、缓解交通拥挤已经成为各级政府和广大交通参与者的重大关切问题之一。智能交通系统是提升道路交通综合管控水平、解决交通问题的行之有效的手段。《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020 年）》中把智能交通列为国家重点研究领域及优先课题之一。过去 10 年来，我国 ITS 发展迅速，特别是在系统、技术、设备的投入和应用方面投入很大，但在 ITS 发展所依赖的基础条件、基础技术方面的重视还不太够，对交通信息检测、采集技术的发展，特别是基于有效应用的发展方面存在很多不足。本书的一个重要特色就是围绕各种道路交通信息检测技术，突出强调理论联系实际，注重技术应用和工程实践性。

期望本书的出版将有利于推动道路交通信息和智能交通领域专业人才的培养，有助于推动我国在 ITS 方面的积极探索和健康发展，我愿意将本书推荐给广大的读者。



2013 年 5 月

前 言

智能交通系统（ITS）是将先进的信息技术、数据通信传输技术、电子传感技术、控制技术及计算机技术等有效地集成运用于整个地面交通管理系统而建立的一种在大范围内、全方位发挥作用的实时、准确、高效的综合交通管理运输系统。智能交通系统一般由多个功能子系统，包括先进的交通管理系统、交通控制系统、电子收费系统、先进的公共交通系统等，而所有子系统都以交通信息为基础，因此交通信息是智能交通系统三大核心要素（信息、通信和集成）之一。

交通信息检测技术是智能交通系统的关键技术之一，本书主要介绍了目前道路交通控制与管理中所涉及的主流信息检测技术，并针对每种技术结合具体交通应用进行了实例分析。

全书共有10章，由李颖宏教授、张永忠研究员、王力副教授主编，刘小明教授主审，同时城市道路交通控制技术北京市重点实验室的田红芳、王玉全、杨飏、张福生、王志建、熊昌镇、周慧娟、陈兆盟、张海波等同志分别参编了不同的章节，公安部交通管理科学研究所姜良维研究员编写了第9章。

在本书的编写过程中，得到了李正熙教授建设性的指导意见，深圳市公安局交通警察局林维望、南京市公安局公安交通管理局顾怀中、宁波市公安局公安交通管理局张为秀、北京博研智通科技有限公司尹胜超等为编者提供了丰富的材料，研究生刘乐敏、郝小青、郑增强、李朝等参加了本书的资料整理工作。本书还引用了大量国内外作者发表的有关智能交通系统方面的文献，在此表示衷心的感谢。

由于道路交通信息检测技术尚处于不断发展的过程中，本书涉及的内容有限，加之时间仓促，难免存在不妥之处，敬请读者批评指正。

李颖宏

2013年5月于北方工业大学

目 录

序	
前言	
第 1 章 绪论	1
1.1 智能交通系统概述	1
1.2 智能交通系统中的交通信息	3
1.2.1 主要交通流参数	3
1.2.2 交通信息检测器	9
第 2 章 基于磁频的车辆检测技术	13
2.1 环形线圈车辆检测器	13
2.1.1 环形线圈的检测原理	14
2.1.2 LC 并联谐振电路的谐振频率	15
2.1.3 频率 f_0 的估计方法	16
2.1.4 基于环形线圈车辆检测器的交通数据检测方法	17
2.2 环形线圈车辆检测器的应用	20
2.2.1 环形线圈车辆检测器的安装	20
2.2.2 典型的环形线圈车辆检测器	23
2.2.3 环形线圈车辆检测器在电子警察系统中的应用	27
2.2.4 环形线圈车辆检测器在 SCOOT 信号控制系统中的应用	30
2.2.5 环形线圈车辆检测器在城市快速路出入口信号控制系统中的应用	37
2.3 地磁车辆检测器	40
2.3.1 地磁车辆检测器的工作原理	40
2.3.2 基于地磁车辆检测器的车辆信息检测	42
2.4 地磁车辆检测器在车辆检测中的应用	44
2.4.1 地磁车辆检测器的安装	44
2.4.2 地磁车辆检测器在停车场管理系统中的应用	46
2.4.3 Sensys 无线地磁车辆检测系统	49
第 3 章 基于射频的车辆检测技术	63
3.1 射频识别技术的发展概况	63
3.2 RFID 系统的组成	64
3.3 RFID 的工作原理及技术特点	67
3.3.1 RFID 工作的物理基础	67
3.3.2 RFID 系统的数据编码	73
3.3.3 RFID 的工作过程	75
3.3.4 电子标签 (或 RFID 射频卡) 的分类	76
3.3.5 环境对 RFID 的影响	76
3.4 RFID 在智能交通中的应用	77
3.4.1 RFID 车辆检测器的主要功能	77
3.4.2 RFID 在厦门智能交通控制与管理中的应用	77
3.4.3 RFID 在机动车身份自动检测识别系统中的应用	84
3.4.4 RFID 在公交优先系统中的应用	87
第 4 章 基于波频的车辆检测技术	95
4.1 超声波车辆检测器	95
4.1.1 超声波车辆检测器的工作原理	95
4.1.2 超声波车辆检测器的应用	98
4.2 微波车辆检测器	100
4.2.1 雷达测速仪	101
4.2.2 远程微波交通检测器	108
4.3 红外车辆检测器	122
4.3.1 红外车辆检测器概述	122
4.3.2 红外车辆检测器的性能与应用	124
4.4 其他车辆检测器	128
第 5 章 基于视频的车辆检测技术	131
5.1 视频车辆检测技术的发展概况	131
5.2 视频车辆检测系统组成	133
5.3 目标检测与跟踪方法及原理	136
5.3.1 目标检测	137
5.3.2 基于边缘高斯混合模型的运动车辆检测方法	144
5.3.3 基于车牌识别的车辆检测方法	164
5.3.4 目标跟踪	179
5.3.5 基于自适应均值漂移算法的运动车辆目标跟踪方法	185
5.4 视频车辆检测系统的安装	194
5.5 视频车辆检测技术的应用	195

5.5.1 闯红灯违法检测	195	7.3.2 相似系数的计算	233
5.5.2 车辆逆行检测	197	7.3.3 相似系数的选取原则	234
第6章 移动型交通数据采集技术	200	7.3.4 聚类分析法预测	234
6.1 基于GPS的浮动车交通信息采集		7.4 基于数据融合的交通信息获取技术	237
技术概述	201	第8章 交通检测数据预处理技术	239
6.2 GPS浮动车信息采集系统的		8.1 错误数据的界定与识别	239
基本组成	201	8.1.1 统计判别法	239
6.3 移动型交通流检测系统浮动车样本的		8.1.2 物理判别法	241
选取	205	8.2 缺失数据的修复	243
6.3.1 基于路段速度估计的浮动车样本		8.2.1 基于时间序列的数据修复	243
大小模型	205	8.2.2 基于历史数据的数据修复	244
6.3.2 基于路网覆盖率分析的浮动车样本		8.2.3 基于空间位置的数据修复	244
比例模型	206	8.3 基于检测数据的异常交通状况识别	244
6.3.3 基于路段车辆分布的浮动车样本		第9章 交通检测技术综合应用	249
大小模型	208	9.1 交通数据检测器性能特点比较	249
6.3.4 综合浮动车大小模型的建立	210	9.2 交通流检测系统的组成及应用	252
6.3.5 移动型交通流检测系统浮动车		9.3 交通检测技术综合应用——	
样本的选择	215	电子警察	255
6.4 GPS浮动车信息采集系统的		9.3.1 概述	255
应用分析	218	9.3.2 闯红灯自动记录系统	256
6.4.1 GPS浮动车原始数据的预处理	218	9.3.3 公路车辆智能监测记录系统	260
6.4.2 基于GPS浮动车数据的路段		9.4 小结	269
平均速度估计	219	第10章 道路环境检测技术	270
6.5 应用案例简介	220	10.1 道路能见度检测	270
第7章 无检测器道路交通信息的		10.1.1 能见度的定义	270
获取技术	222	10.1.2 能见度检测原理	271
7.1 邻近交叉口关联分析方法	222	10.1.3 能见度检测方法	272
7.2 主成分分析法	224	10.2 道路空气污染的监测	282
7.2.1 主成分分析法中主分量的确定	224	10.2.1 机动车污染物排放量的检测与	
7.2.2 主成分分析的计算过程	226	估算方法	282
7.2.3 数据验证	227	10.2.2 道路上机动车污染物	
7.2.4 主成分分析法预测	228	排放量的检测	283
7.3 聚类分析法	231	参考文献	285
7.3.1 聚类分析法的选择	231		

第 1 章 绪 论

1.1 智能交通系统概述

智能交通系统 (Intelligent Transportation System, ITS) 是交通系统的发展方向。它是将先进的信息技术、数据通信传输技术、电子传感技术、控制技术及计算机技术等有效地集成运用于整个地面交通管理系统, 而建立的一种在大范围内、全方位发挥作用的实时、准确、高效的综合交通运输管理系统。ITS 可以有效利用现有交通设施、减少交通负载和环境污染、保证交通安全、提高运输效率, 因而日益受到各国的重视。

从 20 世纪 60 年代以来, 发达国家进行了城市智能交通系统的研究。美国是目前智能交通系统发展最为先进的国家之一。在 1995 年美国交通部 (Department of Transportation, DOT) 发布了“国家智能交通系统项目规划”, 明确规定了智能交通系统的 7 大领域和 29 个用户服务功能。其中, 着重发展的 7 大领域为出行和交通管理系统、出行需求管理系统、公共交通运营系统、商用车辆运营系统、电子收费系统、应急管理系统、先进的车辆控制和安全系统。

日本有关部门认为 ITS 是解决 20 世纪遗留的最大问题之一——道路交通问题的有效手段, 而且是保持和推进日本经济活力的重要措施, 并认为 ITS 将成为其 21 世纪上半叶重要的产业, 可以创建新的产业领域。1996 年, 日本制定了“推进 ITS 总体构想”, 推出了为长达 20 年的发展计划, 包含了智能交通子系统部分应用、改善基础设施建设及系统和产品研发。

欧洲的 ITS 研究开发是由官方 (主要是欧盟) 与民间并行进行的, 促进 ITS 发展的机构主要是欧洲研究协调局 (European Research Coordination Agency, EURECA) 和欧洲道路交通远程实现协调组织 (European Road Transport Telematics Implementation Coordination Organization, ERTICO)。1985 年, 为了促进官方与民间在研究开发领域的合作, 成立了 EURECA。并先后启动了欧洲高效安全交通系统计划——PROMETHEUS, 和保障车辆安全的欧洲道路基础设施计划 DRIVE。在这两大计划的指导下, 欧洲各国开展了 ITS 领域的研究开发工作。欧洲 ITS 协会提出要将道路、车辆、卫星和计算机利用通信系统进行集成, 远景是将各国独立的系统逐步转变为车与车、车与路、车与其他的合作系统, 实现人和物的移动信息互操作和一票移动, 准备实现路侧紧急呼叫、车内和路侧速度提示, 实现通过浮动车和蜂窝电话检测交通和道路状态、危险货物车辆和被盗车辆跟踪系统、客户关系管理等服务。

我国 ITS 的发展虽然起步略晚于发达国家, 但也有几十年的历史, 到目前为止经历了三个阶段。第一阶段从 1973 年至 1984 年, 依靠自己的技术和国产设备, 以电视监控与线控为起点逐步向面控系统发展, 实现了以北京前三门交通监控系统为代表的城市主要交叉路口的点控制及路段的线控制。第二阶段从 1984 年至 1993 年, 北京、上海分别应用南斯拉夫、美国和澳大利亚的面控系统, 直到公安部组织完成了面控系统国产化的“七五”攻关。此后, 我国几十个大中城市相继采用了国产的面控系统。第三阶段从 1993 年起, 我国部分城市开始了现代化综合交通指挥系统的研制与实施。这种系统不仅包括了交通信号控制和电视监视系统, 还包括了警车定位系统、地理信息系统以及交通事故、车辆与机动车驾驶人档案管理等综合静态信息系统。这种现代化交通管理与指挥系统实际上就是我国智能交通系统的基础。

目前我国大中城市已建或在建的智能交通系统主要包括以下几个方面:

① 交通信号控制与指挥系统。我国大多数大城市的信号控制系统建设已经具有相当的规模,而且在此基础上又进一步建设了指挥系统;很多城市指挥中心的规模与设备水平已经达到一些发达国家的建设规模与水平,其中包括我国自行开发的系统和引进的国外 SCATS、SCOOT 等系统。目前,我国若干研究机构和一些企业集团正在致力于适合我国混合交通特点的、具有一定自学习功能的、与交通诱导等其他子系统有相当协调能力的信号控制系统的研究开发工作。

② 交通监视与监测系统。我国多数城市已经建立了以电视摄像为主体的交通监视与交通流信息监测系统。管理人员通过该系统监视突发交通事故,及时处理交通事故、交通堵塞和记录交通违章、交通违法。有些城市的监视系统还能够根据交通流量的变化来控制摄像机镜头自动指向道路拥挤或发生突发交通事故的路段,具备了一定的智能化功能。

③ 交通管理信息系统。该系统利用网络技术实现车辆档案、驾驶员档案、交通事故及交通违章的综合管理,建立盗抢机动车信息库、车辆与驾驶员信息库,并实现数据共享。

④ 交通信息动态显示系统。该系统利用交通控制系统和交通信息系统及 122 报警台采集突发交通事故信息,通过道路交通显示屏发放信息,引导道路使用者合理地参与交通。

⑤ 交通诱导系统。该系统利用交通广播电台或交通寻呼台实时发送交通信息。我国的省会城市和部分大城市目前已经基本上建立了交通广播电台和交通寻呼台,进行了交通数据广播网试点,利用调频附加信道和广播信息交换网,实现跨地区长途运输的交通信息传送。

⑥ 交通运输安全报警系统。该系统利用 GPS/GIS[⊙]等功能,监管长途客车安全运行,及时制止意外事故的发生。

⑦ 交通违法检测系统。该系统利用照相、摄像、视频检测等手段,记录机动车违法信息,又称“电子警察系统”。随着现代科技的广泛应用,目前我国的主要城市基本上都已经安装了电子警察系统,为公安交通管理非现场执法的实施提供了保障。

⑧ 驾驶员考试系统。该系统利用激光技术、摄像检测以及计算机信息技术自动记录驾驶学员的场地驾驶过程,实施场地考试自动监测;利用检测技术、信息技术自动记录驾驶学员的道路行驶过程,实施道路考试自动监测。

⑨ 交通事故快速勘察系统。该系统利用立体摄影、计算机信息和数据传输等技术,对事故现场进行快速勘察、制图和事故现场图像的及时传送,使指挥控制中心对交通事故进行实时处理和指挥。

⑩ 电子收费系统。该系统利用电子技术、计算机技术以及信息通信技术,通过安装在汽车上的电子标识卡(存储与车辆收费有关的大量信息,如预缴金额、车型、车主等)与安装在收费车道旁的读写收发器,通过微波或红外进行快速的数据交换,实现车辆的不停车收费。它不仅可以解决收费站的排队问题,而且可以方便地实现道路拥挤收费,进行交通需求管理;可进行交通监视、事件检测、实时 OD[⊙]矩阵估计、驾驶员信息采集和各种费用的自动收取等。

⑪ 公共交通运营指挥调度系统。该系统利用 GPS/GIS 等相关技术,实现公共交通的智能运营组织调度,特别是针对大型活动或突发交通事故,能够提供辅助指挥调度相关决策方案,提高救援效率。

⊙ GPS/GIS: Global Positioning System/Geographic Information System, 全球定位系统/地理信息系统。

⊙ OD Origin Destination, 起点终点。

2011年4月交通运输部组织编制了《交通运输“十二五”发展规划》，规划指出：交通运输行业必须把加快发展方式转变作为重要的战略举措，将交通运输结构调整作为主攻方向，以科技进步和创新为重要支撑，加快推进现代交通运输业发展。

目前，北京市已初步建成4大类ITS：道路交通控制、公共交通指挥与调度、高速公路管理、紧急事件管理，约30个子系统分散在各交通管理和运营部门。“十二五”期间，北京将构建并完善包括高速公路ETC系统^①、轨道交通、综合交通枢纽智能化、地面公交智能化、智能停车管理与服务、智能化公共自行车服务等在内的智能交通服务体系，并重点建设公共交通基础设施及运营数据体系。

1.2 智能交通系统中的交通信息

随着社会发展和技术进步，智能交通系统从一开始的交通管理计算机化，发展为强调系统性、信息交流的交互性及服务的广泛性的交通工程与管理信息系统。

交通信息是城市交通规划和交通控制与管理的重要基础信息，按照信息来源不同，可分为城市道路交通信息、高速路交通信息；按照统计间隔不同，可分为宏观交通信息、中观交通信息、微观交通信息；按照时间性质不同，可分为历史交通信息、实时交通信息；按照信息变化情况的不同，可分为静态交通信息和动态交通信息。静态交通信息是指交通系统中一段时间内稳定不变的信息，主要包括道路路网信息、交通管理设施信息等交通基础设施信息，也包括机动车保有量、道路交通流量等统计信息及交通参与者出行规律，这些是在时间上和空间上相对稳定的信息。动态交通信息是指实时道路交通流信息、交通控制状态信息及实时交通环境信息等这些在时间上和空间上相对变化着的信息。

另外，实时交通信息是指能表征城市道路实时交通状态的相关信息，如交通流三参数（流量、密度、速度）实时信息、交通事故信息、天气信息、实时交通管理与控制信息、车辆和出行者需求服务信息等。这些信息是非常重要的。

交通信息主要是通过车辆检测器获取的。车辆检测器（又称为车辆交通信息采集系统）是现代交通控制系统中的基础设施。车辆检测器是以机动车辆为检测目标，检测车辆的通过或存在状况，主要检测对象包括车辆的行驶速度、交通流量、占有率等信息，从而提供较为全面的道路交通状况感知信息，以便为智能交通系统的建模、控制和决策诱导提供支撑。

本书重点介绍的是面向城市道路交通信号控制的实时交通信息检测与处理技术。

1.2.1 主要交通流参数

连续不断的车辆在道路上行驶，形成车流，称作“交通流”。交通流状态分为稳定交通流状态和非稳定交通流状态。稳定交通流状态是指车辆在道路上行驶时，依次鱼贯而行，受到外界的干扰因素较少，主要交通流参数包括交通流量、速度和密度以及车头时距、车头间距。非稳定交通流状态是指接近或超过道路通行能力时，交通流受阻，出现排队或等待，主要交通流参数包括排队长度、等待（延误）时间等。

交通流定性特征和定量特征，称为交通流特性。定性特征主要是指道路状况畅通、拥堵情况等，例如北京交通发展研究中心开发的“北京市交通运行智能化分析平台”首次提出“交通拥堵

① ETC系统：Electronic Toll Collection System，电子不停车收费系统。

指数”的概念。它通过道路实时动态交通拥堵指数,综合反映宏观路网动态运行状况,从拥堵强度、拥堵范围、拥堵时间、发生频度、稳定性这“五维”特征,表征拥堵的严重程度、时间和空间影响程度,全方位反映城市交通流定性特征及演变规律。定量特征,即上述提及的交通流参数,主要包括交通流量、速度和密度以及车头时距、车头间距、排队长度、等待延误时间等。

1. 交通流量

交通流量是指在单位时间内,通过道路某一点、某一断面或者某一条车道的运行单元数。当运行单元是车辆,则为车辆交通流量;若为行人或自行车则为行人交通流量或自行车交通流量。

车辆交通流量计算公式如下:

$$Q = N/T \quad (1.1)$$

式中, Q 为交通流量 (veh/h)^①; N 为数据采样间隔内的车辆数 (veh); T 为数据统计采用的时间间隔 (h)。

2. 车速

车辆行驶路程与相应时间之比,称为车速,是衡量为驾驶人提供的交通服务质量的一个重要指标。车速有以下几种不同的定义:

平均行驶速度,是以观测车辆通过已知长度路段的行驶时间为基础来度量交通流情况的。平均行驶速度等于车辆行驶路段长度除以车辆经过该路段的平均行驶时间。行驶时间只包括车辆运动时间。

平均行程速度,是以观测车辆通过已知长度路段的行程时间为基础来度量交通流情况的。平均行程速度等于车辆行驶路段长度除以车辆经过该路段的平均行程时间。行程时间包括车辆运动时间、停车延误时间。它也称作区间平均速度。

地点速度,又称为瞬时车速或点速度,它是车辆通过某一地点的瞬时速度。一般在测定地点速度时,通常取 20~50m 的距离来测定。

时间平均速度,是指通过道路上某一点观测车速的算术平均值,也称为平均地点速度。

区间平均速度,是指在某一特定时间内处在所测路段长度范围内的所有车辆行驶路程的平均值。

以环形线圈车辆检测器为例,每辆车的地点速度可以用下式计算:

$$v_i = \frac{D}{\Delta t_i} \quad (1.2)$$

式中, v_i 为采样间隔内第 i 辆车的地点速度; Δt_i 为采样间隔内第 i 辆车通过前后线圈的时间差; D 为前后线圈之间的距离。

根据 JT/T 455—2001《环形线圈车辆检测器》的要求,环形线圈车辆检测器输出的平均速度为时间平均速度,即观测时间内通过道路某断面所有车地点速度的算术平均值,即

$$\bar{v}_t = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N v_i \quad (1.3)$$

式中, \bar{v}_t 为采样间隔内时间平均速度; v_i 为采样间隔内第 i 辆车的地点速度; N 为数据采样间隔内的车辆数。

而在实际应用中,有些检测器输出的速度采用的是区间平均速度。如著名的英国 PEEK 公司的环形线圈检测器输出的速度就采用区间平均速度,即

① 本书中以 veh 表示车辆数, 1veh/h 表示每小时 1 辆。

$$\bar{v}_s = \frac{D}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \Delta t_i} = \frac{D}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{D}{v_i}} = \frac{1}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{1}{v_i}} \quad (1.4)$$

式中, \bar{v}_s 为采样间隔内区间平均速度。

式(1.4)表明区间平均速度是观测路段内所有车辆行驶速度的调和平均值。一般情况下, 时间平均速度和区间平均速度相差不大, 只有在采样间隔内速度波动很大的情况下, 两者才会有比较大的区别, 这时采用调和平均值能更好地表征交通状态。

3. 交通密度

当交通流量为零时, 不能认定此刻没有车辆, 而是有两种情况: 一是道路上没有行驶车辆; 二是车速为零, 有车而不流, 即阻塞。这种情况下, 不能只用交通流量来描述交通状况, 而应采用交通密度描述交通状况。

所谓交通密度, 是指单位长度道路上, 在某一瞬间的车辆总数。为使车流有可比性, 对于同一条道路, 可以不考虑车道仅考虑方向来比较; 对于不同车道数的不同道路应采用单车道来定义密度。交通密度是衡量车流畅通状况的重要指标, 有

$$\rho = \frac{N}{L} \quad (1.5)$$

式中, ρ 为交通密度, (veh/km); L 为路段长度 (km); N 为路段长度 L 内的某瞬时车辆数 (veh)。下面介绍几个相关概念。

临界交通密度: 是指交通流量接近或达到道路通行能力时的交通密度, 又称为最佳交通密度, 用 ρ_m 表示。

阻塞交通密度: 是指车流密集到所有车辆基本无法运动时的交通密度, 用 ρ_j 表示。此时车速近似于零, 车流量也接近于零。

交通密度的分布特征用空间占有率和时间占有率来描述, 统称为车道占有率。车道占有率越高, 则交通密度越大。

空间占有率: 在某一瞬间、一定的观测路段长度内行驶的车辆总长度占该观测路段长度的百分比, 称为空间占有率, 用 R_s 表示。

$$R_s = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^n l_i \times 100\% \quad (1.6)$$

式中, L 为观测路段的总长度 (m); l_i 为第 i 辆车的车身长度 (m); n 为观测路段上车辆总数 (veh)。

时间占有率: 在某一时段内, 车辆通过某一断面的累积时间占该时段的百分比, 用 R_t 表示。

$$R_t = \frac{1}{T_0} \sum_{i=1}^n t_i \times 100\% \quad (1.7)$$

式中, T_0 为观测时段 (s); t_i 为第 i 辆车通过观测断面时占用的时间 (s); n 为观测时段内通过观测断面的车辆总数 (veh)。

4. 交通流量、车速、交通密度之间的相互关系

在以上的交通流参数中, 交通流量、车速和交通密度一般称为交通流三要素, 这三大参数是描述交通流基本特征的主要参数, 它们彼此之间既相互联系, 又相互制约。车速和交通密度反映了交通流从路上获得的服务质量, 交通流量可度量车流的数量和对交通设施的需求情况。交通流量 Q 、速度 v 和交通密度 ρ 三者之间的基本关系为

$$\bar{Q} = \rho \bar{v} \quad (1.8)$$

式中, \bar{Q} 为平均交通流量 (veh/h); \bar{v} 为空间平均速度 (km/h); $\bar{\rho}$ 为平均交通密度 (veh/km)。

(1) 车速与交通密度的关系

在道路上行车时会有一种感性认识, 当道路上交通密度小时, 车速较高, 畅行无阻; 当交通密度增大, 即道路上的车辆增加时, 则驾驶人被迫降低车速; 当交通达到拥挤状态时, 车速会降低得更低, 直至处于停止状态。这表明车速和交通密度之间存在一定的关系, 一般有以下几种模型可以表述这种关系。

1) 线性关系模型 根据实践经验, 1933 年美国专家格林·希尔茨 (Green Shields) 提出了车的速度 - 交通密度的单段式线性关系模型, 即

$$v = a - b\rho \quad (1.9)$$

式中, a 、 b 为常数。当 $\rho = 0$ 时, v 可达到理论最高速度, 即达到畅行速度 v_f , $v_f = a$; 当交通密度达到最大值, 即 $\rho = \rho_j$ 时, 车速 $v = 0$, 则 $b = v_f/\rho_j$, 代入式 (1.9) 有

$$v = v_f - \frac{v_f}{\rho_j}\rho = v_f\left(1 - \frac{\rho}{\rho_j}\right) \quad (1.10)$$

式中, ρ_j 为阻塞交通密度。

$$\rho = 0 \rightarrow v = v_f$$

$$\rho = \rho_j \rightarrow v = 0$$

$$\rho = \rho_m \rightarrow v = v_m$$

$$Q \rightarrow Q_{\max}$$

格林·希尔茨提出的车速 - 交通密度的单段式线性关系模型, 在交通密度适中的情况下是比较符合实际的。但此模型不能很好地表征交通密度很大或很小的情况下的车速 - 交通密度关系。

2) 对数模型 当交通密度比较大时, 采用 1959 年格林伯格 (Greenberg) 提出的基于对数模型的车速 - 交通密度关系能够较好地描述实际情况, 其公式如下:

$$v = v_m \ln\left(\frac{\rho_j}{\rho}\right) \quad (1.11)$$

式中, v_m 为对应最大交通流量时的车速 (km/h)。

这种模型和交通拥挤情况的现场数据相符合, 但是当交通密度小时不适用。

3) 指数模型 1961 年, 安德伍德 (Underwood) 提出的指数模型比较适合当交通密度小时的情况, 其公式如下:

$$v = v_f e^{\rho/\rho_m} \quad (1.12)$$

式中, ρ_m 为最大交通流量时的交通密度 (veh/km); e 为自然对数的底数。

在小交通流量情况下, 这种模型与现场数据曲线很吻合。但是存在一个问题, 当交通密度趋近于阻塞交通密度时, 以此模型推得的车速并不趋近于零, 与实际存在较大误差。

4) 广义的车速 - 交通密度模型

$$v = v_f \left(1 - \frac{\rho}{\rho_j}\right)^n \quad (1.13)$$

式中, n 为大于零的实数, 当 $n = 1$ 时, 式 (1.13) 变为线性关系式。

(2) 交通流量与交通密度关系

由交通流量、车速、交通密度之间的基本关系式式 (1.8) 和格林·希尔茨公式式 (1.10), 可得

$$Q = \rho v = \rho v_f \left(1 - \frac{\rho}{\rho_j}\right) = v_f \left(\rho - \frac{\rho^2}{\rho_j}\right) \quad (1.14)$$

则得，交通流量与交通密度的关系曲线如图 1-1 所示。

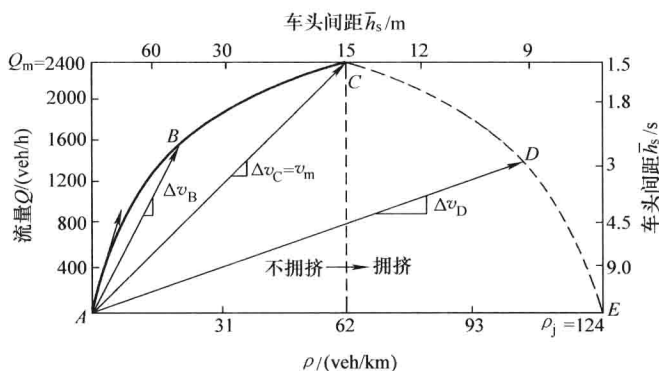


图 1-1 交通流量 - 交通密度关系曲线

将式 (1.14) 对 Q 求导，并令

$$\frac{dQ}{d\rho} = v_f - \frac{2v_f}{\rho_j}\rho = 0$$

可求出，当 $\rho = \rho_j/2$ 时， Q 最大，即

$$Q_{\max} = \frac{v_f \rho_j}{4} \quad (1.15)$$

当采用不同的车速 - 交通密度公式时，就可以求得不同的交通流量 - 交通密度公式，在此不再一一赘述。

由图 1-1 所示的交通流量 - 交通密度曲线，可以得到这两个变量之间的一些主要特征关系如下：

① 当交通密度为零时，交通流量为零，故曲线通过坐标原点。

② 随交通密度增加，交通流量增大，直至达到道路的通行能力，即曲线上点 C 的交通流量达到最大值，对应的交通密度为最佳交通密度 ρ_m 。

③ 从点 C 起，交通密度增加，车速下降，交通流量减少，直到阻塞交通密度 ρ_j ，则车速等于零，交通流量等于零。

④ 由坐标原点向曲线上任一点画矢径。这些矢径的斜率表示区段平均速度：通过点 A 的矢径与曲线相切，其斜率为畅行车速 v_f 。

⑤ 对于交通密度比 ρ_m 小的点表示不拥挤情况，而交通密度比 ρ_m 大的点表示拥挤情况。

【例 1-1】 已知某公路的畅行车速为 80km/h，阻塞交通密度为 110veh/km，车速 - 交通密度关系为线性关系。问：该路段上期望得到的最大交通流量是多少？此时所对应的车速是多少？

解：

最大交通流量为

$$Q_m = \frac{v_f \rho_j}{4} = \left(\frac{80 \times 110}{4} \right) \text{veh/h} = 2200 \text{veh/h}$$

车速为

$$v_m = \frac{v_f}{2} = \left(\frac{80}{2} \right) \text{km/h} = 40 \text{km/h}$$

(3) 交通流量与车速关系

由前面的论述可知, 车速 - 交通密度之间的关系可用多种关系式模型表达。以线性关系模型为例, 由式 (1.10) 可得

$$\rho = \rho_j \left(1 - \frac{v}{v_f} \right) \quad (1.16)$$

将式 (1.16) 代入三个参数的基本关系式式 (1.8) 得到

$$Q = \rho_j \left(v - \frac{v^2}{v_f} \right) \quad (1.17)$$

Q 与 v 是二次函数关系, 如图 1-2 所示。

当交通密度与交通流量均为较小值时, 车速可达最大值, 即畅行车速 v_f , 如图 1-2 所示的最高点 A; 当交通密度增大, 交通流量也随之增大时, 车速逐渐减小, 直至达到最佳速度 v_m , 这时交通流量最大, 为点 C。因此, 从 v_m 处至点 C 的线与曲线上半部分所围成的区域为不拥挤区。

当交通密度继续增大, 交通流量反而减小, 车速也减小, 直至达到最大交通密度 ρ_j 时形成阻塞, 这时车流停止行驶, 交通流量和车速均为零。因此, 车速 - 交通流量曲线通过坐标原点。同时, 从 v_m 处至点 C 的线与曲线下半部分所围成的区域为拥挤区。

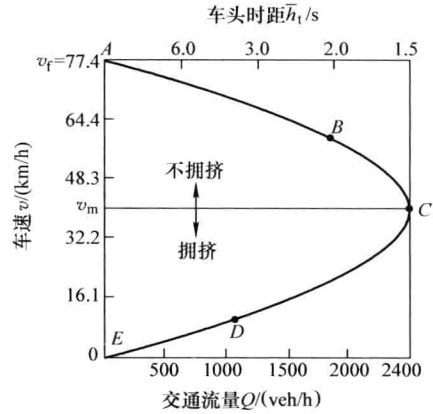


图 1-2 交通流量 - 车速关系曲线

综上所述, 按格林·希尔茨的车速 - 交通密度模型、交通流量 - 交通密度模型、车速 - 交通流量模型可以看出, Q_m 、 v_m 和 ρ_m (交通流量 - 车速关系曲线) 是划分交通拥挤的重要特征, 如图 1-3 所示。

- ① 当 $Q \leq Q_m$ 、 $\rho > \rho_m$ 、 $v < v_m$ 时, 属于拥挤状态;
- ② 当 $Q \leq Q_m$ 、 $\rho \leq \rho_m$ 、 $v \geq v_m$ 时, 属于不拥挤状态。

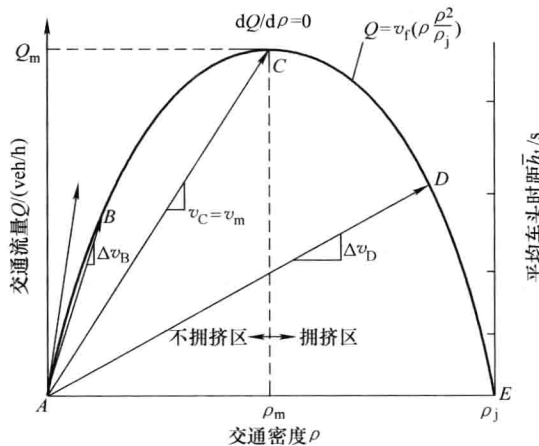


图 1-3 交通流三要素关系曲线图

1.2.2 交通信息检测器

交通信息检测器在智能交通系统中占有重要的地位,是实现智能交通控制与管理的关键基础设施。通过不同的检测技术实时获取道路上交通流量、车速、交通密度和时空占有率等交通参数,为监控中心分析、判断、发出信息和优化控制方案提供依据。交通信息检测器及其检测技术水平直接影响到道路交通监控系统的整体运行管控水平。

在交通流检测系统中,常用的车辆信息检测采集技术有环形线圈、微波、视频、超声波等车辆检测器,可概括为移动式 and 固定式两大类。固定检测以环形线圈检测技术为代表,该技术较成熟、检测准确度高,但由于只能检测路段点信息,因此信息完备性差。移动检测多以浮动车检测技术为代表,该技术能够检测整个路段,信息完备性好,但由于受到检测车随意停车等因素影响,存在检测度不高的情况。

1. 移动式交通信息获取技术

移动式交通信息获取技术是指,运用装有特定设备的移动车辆检测道路上的特定标示物来采集交通数据的方法的总称。

目前,该技术主要有基于定位技术的动态交通数据采集技术、基于电子标签的动态交通数据采集技术、基于汽车牌照自动判别的动态交通数据采集技术和基于手机探测车的交通信息采集技术。

目前,随着车路协同技术的发展,对移动式交通信息的获取技术要求越来越高,应用也会越来越广泛。

(1) 基于 GPS 定位的动态交通数据采集技术

基于 GPS 定位的动态交通数据采集技术是在车辆上配备 GPS 接收装置,以一定的采样间隔记录车辆的三维位置坐标和时间数据,这些数据通过与 GIS 的电子地图相结合,计算出车辆瞬时车速和通过特定路段的行程时间和行程速度指标。若在给定的时段内有多辆车经过特定路段,可以得到该路段的平均行程时间和平均行程速度。其不足之处在于,需要足够多装有 GPS 的车辆运行在城市路网中,检测准确度与 GPS 的定位准确度有很大的关系,且检测数据易受电磁干扰。

(2) 基于电子标签的动态交通数据采集技术

电子标签是射频识别(Radio Frequency Identification, RFID)系统的基本组成之一。基本的 RFID 系统由阅读器和应答器组成。应答器是 RFID 系统的信息载体,阅读器通过射频天线发送一定频率的射频信号,阅读器对接收的信号进行解调和解码,然后送到后台主系统,由主系统进行相关处理。基于电子标签的动态交通数据采集技术可以直接获取交通流量信息,间接得到车辆的行程时间、行程车速等。其不足之处在于,车辆必须安装电子标签,路网中车辆的贴签率是获得准确检测交通数据的关键指标。

2. 固定式交通信息获取技术

固定式交通信息获取技术主要是指,运用安装在固定地点的交通检测器对移动的车辆进行监测,从而实现采集交通信息的方法的总称。固定式交通检测器绝大部分安装在高速公路、快速路以及城市主干道和次干路的重要交叉出处。

(1) 按检测原理分类

按检测器检测原理不同,可将检测器划分为磁频、波频和视频车辆检测器。

1) 磁频车辆检测器

利用磁频技术采集交通信息的设备主要有环形线圈车辆检测器、地磁车辆检测器等。其中,

环形线圈车辆检测器是目前检测参数较多、车辆信息采集准确度较高、在交通控制中应用最为广泛的交通流检测器。它是利用埋设在车道下的感应线圈对通过线圈或位于线圈之上的车辆所引起电磁感应的变化进行处理而达到检测目的的。当车辆通过线圈时产生电感的变化会导致相位的变化,通过相位比较器获得一个相应的信号。它可以用来检测交通流量、占有率、车速以及车辆类型等。

2) 波频车辆检测器

波频车辆检测器主要有超声波车辆检测器、微波车辆检测器、红外车辆检测器以及被动式声波车辆检测器。

超声波车辆检测器的工作原理是利用“多普勒效应”反射原理,通过接收由超声波发生器发生、发射的超声波束并经车辆反射的超声波回波来检测车辆,通过判断发射信号与原反射回波信号在时间上的差异来检测车辆数和车辆类型等。它采用悬挂式安装,具有使用寿命长、可移动、架设方便的特点,但易受环境的影响。

微波车辆检测器同样是利用“多普勒效应”反射原理,通过发射器对检测区域发射微波,当车辆通过时,多普勒效应反射波会以不同的频率返回,就可以通过检测反射波的频率来检测通过车辆的信息。其优势是能胜任恶劣环境、全天候工作,检测出多达8个车道的交通流量、道路占有率、平均车速、长车流量等交通流参数。但对于多车道、车辆并行或人车混杂的复杂路段,在相邻车道同时过车时会出现误检。

红外车辆检测器采用反射式检测技术,反射式检测探头由一个红外发光管和一个红外接收管组成。通过红外探头向道路上发射调制脉冲,当有车辆通过时,红外线脉冲从车体反射回来被探头的接收管接收,经处理输出一个检测信号。该检测器具有快速准确的特点,但易受环境影响,如灰尘、冰、雾会影响系统的正常工作。

3) 视频检测技术

视频检测是将视频图像和模式识别技术相结合并应用于交通领域的新型数据采集技术。它通过实时分析输入的交通图像,判断图像中划定的一个或者多个检测区域内的运动目标物体,获得所需的交通数据。其优势是安装和维护比较方便,通过单台摄像机可检测多车道,信息全面,可实现检测车辆的存在、车速、占有率、车类、车色、车流向、车辆行驶轨迹、车头时距、通过时间、排队长度与交通密度等,但阴影、积水反射和天气变化易对车辆信息的提取造成不利的影

(2) 按施工方式分类

交通检测器按照施工方式的不同,分成侵入式检测器(Intrusive Detector)和非侵入式检测器(Non-intrusive Detector)两种。其中,侵入式检测器包含环形线圈车辆检测器、地磁车辆检测器;非侵入式检测器包含视频、微波雷达、激光雷达、被动红外、超声波车辆检测器,以及它们几个的共同使用而形成的新方式。侵入式检测的设备直接安装到公路的地表下方,需破开路面,这些检测器的应用都比较成熟。不过也正是因为它们在安装时需要挖开地表,这样不仅影响公路的使用寿命,而且在维修和更改应用时需要再次挖开地表,因此使它们逐渐被非侵入式检测的设备取代。非侵入式检测技术正是为了解决侵入式检测技术的这一缺点而提出来的。一般说来,它们在安装时对交通的影响比较小,并且能够提供高准确度的数据。最近的评估表明,安装在地表以上的检测器采集的数据基本可以表征相应路段的交通流参数。但其缺点是容易受环境的影响,如对于超声波车辆检测器,当风速6级以上时,反射波产生漂移而无法正常工作。探头下方通过的人或物也会产生反射波,造成误检。另外,对于红外车辆检测器工作现场的灰尘、冰、雾会影响系统的正常工作。这两种检测方法都有其利弊,因此还有些路段会在检测时会