

Traffic Flow

parameter and traffic incident dynamic forecast method

交通流参数及交通事件 动态预测方法

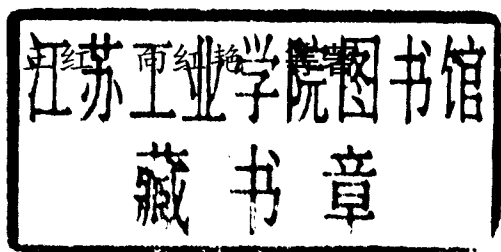
朱顺应 王 红 向红艳 等著

东南大学出版社



交通流参数及交通事件 动态预测方法

朱顺应



东南大学出版社

· 南京 ·

图书在版编目(CIP)数据

交通流参数及交通事件动态预测方法/朱顺应,王红,向红艳等著. —南京:东南大学出版社, 2008. 5

ISBN 978-7-5641-1159-5

I. 交… II. ①朱… ②王… ③向… III. 交通流—研究 IV. U491.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 031572 号

东南大学出版社出版发行

(南京市四牌楼 2 号 邮编: 210096)

出版人: 江 汉

网 址: <http://press.seu.edu.cn>

电子邮件: press@seu.edu.cn

全国各地新华书店经销

南京玉河印刷厂印刷

开本: 850 mm×1168 mm 1/32 印张: 10.75 字数: 267 千字

2008 年 5 月第 1 版 2008 年 5 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5641-1159-5/U·20

印数: 1~2000 册 定价: 25.00 元

本社图书若有印装质量问题,可直接与读者服务部联系。电话(传真):025—83792328

前 言

随着我国交通运输事业的发展,交通安全成为社会日益关注的问题。我国 2005 年因道路交通事故而死亡的人数超过 9.8 万人,美国因道路交通事故死亡约 4.3 万人,日本约 0.7 万人。根据我国各级公安交通管理部门上报的材料统计,2005 年,全国共发生道路交通事故 45 万起,特大交通事故 47 起,直接经济损失 18.8 亿元。目前我国仍然是世界上道路交通事故最多、事故伤亡人数最多的国家。大量的交通事故居高不下,已经形成了一个严重的社会问题。提高交通安全是一项紧迫的任务。交通事故发生又是造成交通拥堵的主要原因之一。动态获取交通事故发生信息,是管理人员及时处理交通事故、减轻伤亡程度、减少财产损失、防止二次事故发生、避免长时间交通拥堵的关键。目前,我国城市道路交通事故信息主要是通过目击者打有线、无线电话或控制人员通过电视画面等方式获取,然后通过指令电话派交警到现场对交通事故进行处理,疏导交通,排除堵塞;高速公路交通事故信息主要是通过切换关键路段安设的野外摄像机交通流画面或者通过巡逻车辆及紧急电话等方式获取。无论城市道路还是高速公路交通事故发生的信息获取都是人工的,需要时间长,这与及时处理交通事故的交通管理要求相违背,不符合现代化交通管理要求。国内外都把交通事故智能化处理作为智能交通(ITS)的一个重要子系统,开展智能化交通事故信息动态获取研究,不仅解决了实践问题需要,又可为高速公路控制系统设备采购、设计、安装提供指导,还可为开发具有自主知识产权的适应中国交通特色的交通事件检测仪器提供科学的核心组件打下基础。无论是交通管理、控制,还



是智能交通系统的交通流诱导,都需要预知下一个时段的交通流状况。交通流参数动态预测也是交通事件发生与否判断识别的基础,是交通事件检测仪的核心内容,是交通信息系统中交通流信息深度和实用处理的关键技术。对路段上交通流根据其上几个时段观测记录进行处理,预测下一时段交通流状况是让交通控制设备更好地用于交通管理的关键,好比微机设备和应用软件的功能分工一样。

在国外,交通流动态预测算法有两大类型,一是基于动态 OD (Origination-Destination)流按交通流选择路线的规律进行预测,二是基于特定路段上交通流的历史观测数据进行预测。前者需要大规模的 OD 流数据和道路网络基础设施数据,OD 流数据收集靠车载 GPS(全球定位系统)和 GIS(地理信息系统)进行,是属于宏观层次上的预测。路段上交通流动态预测可基于常规检测设备检测的特定路段上交通流数据进行,如环形线圈检测器、可视化交通检测仪器等,是微观层次上的交通流预测。前者为交通网络服务,后者为特定路段或特定地点服务;前者需要设备多且高级,后者需要设备少而常规;前者需要广大驾驶员的配合,后者不需要任何人的配合;两者实用领域不同,后者是前者的补充,且是目前我国交通管理中迫切需要的。

早在 20 世纪 70 年代末期,国外就开始进行微观层次上交通流动态预测,预测算法为时间序列技术,是为交通事件检测仪器开发而专门进行的研究。时间序列算法要求具有很长的交通流历史观测数据,但由于该种算法本身具有的“时空限制”的局限性,难以适应随机且具有增长特性的交通流动态预测。对于交通事件的预测,国外基于模式识别的算法有加利福尼亚算法(基于交通流时间占有率)、算法 7(车辆数、时间占有率、速度等)和 McMaster(交通量与时间占有率关系曲线);基于统计预测的算法有标准正常偏差法(交通量或时间占有率实际值与预测值偏差)和平滑算法(基于

时间占有率、移动平均、指数平滑、中值滤波);根据预测截面划分有单截面和双截面法等。目前,我国交通管理技术比较落后,智能交通系统(ITS)还处于体系框架、技术标准和硬件研究阶段,对交通流信息的动态性要求低,仅意识到要对未来交通信息进行研究的必要性,未开展实质性的研究。

在 20 世纪末,无线电信号处理技术、人工神经网络技术、控制论技术、分形等可用于随机信号处理的新技术,逐步由始创应用领域走进社会、经济管理等应用领域。交通流参数在时间轴上,实质上具有随机信号的特性,这些新技术即将用于交通流参数的动态预测,提高其预测精度。

本书内容的研究和出版得到了国家 973 基础研究项目“现代城市‘病’的系统识别理论与生态调控机理”(项目编号:2005CB724200)和交通部应用基础基金项目“交通流主要参数及交通事件动态预测算法研究”(项目编号:200331981408)资助。

本书由朱顺应教授组织编写并统稿,具体分工如下:

朱顺应、王红撰写第 1、3 章;

朱顺应、王红、张建旭撰写第 2 章;

朱顺应、向红艳撰写第 9 章;

王红、朱顺应、刘伟撰写第 7 章;

向红艳、王红撰写第 8 章;

向红艳、朱顺应撰写第 6 章;

杨芳明、朱顺应撰写第 4 章;

李建章、向红艳撰写第 5 章;

附录由朱顺应、向红艳等人共同编写。

限于作者水平,书中出现不妥之处,敬请读者批评、指正。

笔 者
2008 年 5 月

目 录

1 绪 论	1
1.1 什么是“动态预测”算法	2
1.2 国内外研究现状	4
1.3 本书的主要内容	10
2 交通调查与数据分析	11
2.1 交通调查	11
2.1.1 交通观测	11
2.1.2 交通模拟	13
2.1.3 数据处理	15
2.2 交通流特性分析	16
2.2.1 小流量交通特性	17
2.2.2 大流量交通特性	17
2.2.3 常发性拥挤交通特性	17
2.2.4 偶发性拥挤交通特性	18
2.3 交通流参数变化规律	18
2.4 交通流参数的可预测性	21
3 交通流预测常规算法	24
3.1 短时交通流预测原理	25
3.1.1 宏观模型预测原理	25
3.1.2 微观模型预测原理	26
3.2 移动平均法	26



3.2.1 简单移动平均法	27
3.2.2 加权移动平均法	28
3.2.3 趋势移动平均法	30
3.3 指数平滑法	31
3.3.1 一次指数平滑法	32
3.3.2 二次指数平滑法	34
3.3.3 差分-指数平滑法	35
3.4 时间序列法	37
3.5 神经网络法	41
3.5.1 线性神经网络模型	41
3.5.2 BP 神经网络模型	43
3.5.3 RBF 神经网络模型	48
4 交通流动态预测小波法	51
4.1 研究现状	51
4.2 小波分析法	52
4.2.1 连续小波变换	52
4.2.2 离散小波变换	53
4.2.3 多分辨分析与 Mallat 算法	54
4.3 基于小波分解和支持向量回归的短时交通流预测	61
4.3.1 支持向量机	61
4.3.2 支持向量回归	63
4.3.3 支持向量机的学习算法	65
4.3.4 基于小波分解和支持向量回归的交通流预测模型	68
4.4 基于小波神经网络的短时交通流预测	81
4.4.1 小波神经网络	81
4.4.2 小波神经网络的学习算法及改进	84
4.4.3 基于小波神经网络的交通流预测方法	87

5 交通流动态预测分形法	99
5.1 分形的概念及分形维数.....	99
5.1.1 分形的概念	100
5.1.2 分形维数的定义及其计算	100
5.2 交通流的分形与混沌分析	108
5.2.1 交通流时间序列的递归图	108
5.2.2 交通流时间序列的混沌判据——最大 Lyapunov 指数 ...	125
5.2.3 利用最大 Lyapunov 指数预测交通流	128
5.2.4 交通流时间序列的 Kolmogorov 熵	129
5.3 交通流时间序列的分形预测法	129
5.3.1 基于分形概念的交通流预测	130
5.3.2 基于分形自相似性的预测——移动平均自回归最近邻域 综合预测法	142
6 交通流动态预测控制论法	179
6.1 反馈控制理论	179
6.1.1 开环控制	179
6.1.2 闭环控制	180
6.1.3 反馈系统的传递函数	181
6.2 自适应控制算法	182
6.3 交通流预测控制论法	184
6.3.1 基于反馈控制的预测模型	184
6.3.2 模型参数标定	187
6.3.3 自适应预测控制器的设计	188
6.3.4 实例应用	189
7 交通流动态预测双点及多点模型	195
7.1 交通流动态预测双点模型	195



7.2	交通流动态预测多点模型	197
7.3	参数标定	198
7.3.1	确定权重	198
7.3.2	确定系数矩阵	199
7.4	预测实例	200
8	短期交通流预测综合评价	206
8.1	评价模型	206
8.1.1	二级模糊综合评判法原理	206
8.1.2	建立因素集	207
8.1.3	建立权重集	208
8.1.4	建立备择集	209
8.1.5	确定隶属函数	209
8.1.6	模糊综合评判	210
8.2	交通流参数预测最佳方法	211
8.2.1	预测方法评价	211
8.2.2	智能预测系统	214
8.3	最佳预测时间间隔与窗口长度	217
8.3.1	预测窗口长度	218
8.3.2	最佳窗口长度与时间间隔的关系	219
8.3.3	不同时间间隔预测效果定量比较	220
8.4	不同参数预测效果的比较	221
8.4.1	交通参数的敏感性分析	222
8.4.2	交通量预测	225
8.4.3	时间占有率预测	225
8.4.4	地点车速预测	225
9	交通事件检测算法	238
9.1	交通事件检测综述	238

9.1.1 比较(模式识别)算法	239
9.1.2 统计算法	241
9.1.3 时间序列和平滑/滤波算法	241
9.1.4 交通模型和理论算法	242
9.1.5 低流量事件检测算法	242
9.1.6 其他事件检测算法	243
9.2 基于预测偏差的交通事件检测算法	243
9.2.1 算法原理	243
9.2.2 检测参数	245
9.2.3 数据预处理	249
9.2.4 事件识别的步骤	250
9.2.5 交通事件发生的概率	252
9.3 算法性能评价	253
9.3.1 评价指标	253
9.3.2 评价方法	254
9.3.3 算法阈值标定	254
9.3.4 各种事件检测算法的对比评价	257
附录	259
参考文献	310

1 绪 论

近年来,随着我国交通运输事业的深入发展,人们对交通服务水平的要求也越来越高。与此同时,交通运输界已全面展开对智能运输系统(ITS)的研究,交通流主要参数及交通事件动态预测算法作为 ITS 的基础理论研究,是实现智能交通管理系统的关键技术,具有重要的学术意义和实用价值。

本书是对用于交通事件检测以及路段上交通流管理、控制、诱导的主要交通流参数(包括路段短时交通量、地点车速和时间占有率)进行短期实时预测,研究其实用、科学的动态预测方法,并对其最佳的预测时间间隔进行探讨。由于路段交通流状态的时变性和复杂性,很难给出精确的解析表达式描述其变化规律,因此静态预测模型无法达到很高的精度。动态预测的目的是使算法跟随状态的改变不断调整和更新模型,从而使预测值更接近真实值。交通流参数动态预测是交通信息系统中交通流信息深度和实用处理的关键技术,是城市交通流诱导系统的核心内容之一,也是交通事故处理系统以及 ITS 中其他子系统的重要应用技术基础之一。交通事件体现为交通不畅通,造成交通系统运营效率低。交通事件动态预测是在实现交通流参数动态预测的基础上,根据路段上下游的交通状态,准确快速地检测拥挤并确定拥挤类型,从而对其实施有效的控制。目前,我国城市道路交通事故信息主要是通过目击者打有线、无线电话或控制人员通过电视画面等方式获取,然后通过指令电话派交警到现场对交通事故进行处理,疏导交通,排除堵塞;高速公路交通事故信息主要是通过切换关键路段安设的野外摄像机交通流画面或巡逻车辆或紧急电话等方式获取。这些信



息的获取方式都是人工的,需要的时间长,与事故处理所要求的及时性相违背,不符合现代化交通管理的要求。因此动态获取交通事故发生信息,是交通管理人员及时处理交通事故的关键,有助于减轻事故中人员的伤亡程度,减少财产损失,防止二次事故发生。

1.1 什么是“动态预测”算法

在 20 世纪末,无线电信号处理技术、人工神经网络技术、控制论技术、时间序列技术、灰色系统理论、滤波技术、分形技术、小波分析法等可用于随机信号处理的新技术,逐步由始创应用领域走进社会、经济管理等应用领域。交通流参数在时间轴上具有随机信号的特性,将这些先进的理论与方法用于交通流信息动态预测将拥有很好的前景。

时间序列技术是在已知现在和过去的观测数据基础上估计将来的值或变化,目前该技术已经广泛用于气象、水文预报、商品销售预报、股市行情预报、地震预报、产品质量预报、雷达跟踪预报、产品产量预报等领域^[1]。时间序列模型考虑因素较为简单,参数一般用最小二乘法或似然估计法进行在线估计,相对而言计算简便,易于适时更新,便于应用。

滤波技术用于动态预测,主要有 Wiener 滤波法、卡尔曼滤波法、现代时间序列分析方法^[2]。其中 Wiener 滤波法要求信号是平稳随机过程,其应用有局限性。卡尔曼滤波法是一种时域分析法(即状态空间法),其中引入了状态变量的概念,用状态方程描写动态系统,用观测方程描写观测信息,用状态空间模型取代传递函数模型^[3]。此外该算法采用递推形式,便于在计算机上实现,其计算量和存储量较小,可处理时变系统、非平稳信号和多维信号,因此成为许多研究人员看好的一种算法,已成功用于飞机导航、导弹控制、宇航、工业过程控制、船舶控制、气象预报、水文和石油勘探等

领域^[4]。

小波分析法其实也算是滤波算法的一种,其基本思想是通过对信号进行小波变换达到对信号进行细致分析的目的。小波变换在频域和时域都具有良好的局部化性质,其物理意义就是某信号 $f(t)$ 对一具有带通滤波性质的系统的脉冲响应,实质是把一个母小波函数进行伸缩平移后与 $f(t)$ ($f(t) \in \mathbf{R}$) 做卷积。这种变换对不同的频率成分在时域上的采样步长具有调节作用,高频者采样步长小,低频者采样步长大,该性质被喻为数学显微镜。目前,小波分析法已经在信号检测、信号模拟、工业控制等各应用领域得到快速发展^[5, 6, 7]。

人工神经网络技术(Artificial Neural Network)是旨在模拟人脑结构及其功能的一种新型处理系统。它是由大量简单的被称之为神经元的处理单元以某种拓扑结构广泛地相互连接而构成的非线性动力学系统。神经网络技术具有非线性描述、并行分布式处理、学习与适应、擅长处理多变量系统以及便于硬件实现等特性,在经历了 50 余年的发展后,其应用已经渗透到智能控制、模式识别、计算机视觉、图像处理、自适应滤波和信号处理、系统辨识以及非线性组合优化等多个领域^[8, 9]。神经网络用于预测是近几年研究人员探讨的热门话题,将其用于油田产油量及产水量、河水径流量、飞行状态预测均取得了较理想的效果^[10, 11, 12]。

分形技术原本是几何拓扑学中的概念,也是学者们激烈讨论的概念,至今还没有为人们普遍接受的定义。利用分形技术处理随机信号主要是利用整体与部分的自相似性,当局部观测尺度改变时这种相似性基本不变,因此分形可以从不同尺度层次来描述集合的几何特性。分形分析方法的这种特性使得这一技术正越来越多地被采用^[13]。目前,众多工作者正致力于将分形应用于复杂自然景物的建模、纹理分析、复杂曲线(临海岸线)的长度测量等领域,并已取得很大的成功。另外,分形在时间序列分析方面的应用



也引起科技工作者的广泛兴趣,已有研究成果表明,分形能对许多不规则时间序列数据的相似性和不规则性进行有效的刻画和建模^[14]。

控制论技术是 20 世纪 40 年代末发展起来的一门新方法,50 多年来它在多个领域的应用已经取得了辉煌的成果。它对工程技术、生物科学、经济科学以及社会科学的研究都有着深刻的意义^[15, 16],已经成为学术界不可忽视的科学思潮,为人类认识和改造世界提供了新的科学思想和方法。控制论技术用于预测,其基本思想是将预测当作过程控制,观测信号的历史记录作为输入,输出即为预测值,预测过程中将预测与观测的偏差信号反馈到输入端,不断修正、调整预测结果,能达到较高的预测精度^[17]。

1.2 国内外研究现状

早在 20 世纪 70 年代末期,国外就开始进行微观层次上交通流动态预测研究。1974 年, Nicholason H. 和 Swann C. D. 提出用谱分析模型预测交通流量。1979 年, Ahmed S. A. 和 Cock A. R. 探讨了时间序列技术在交通量预测中的应用^[18]。同年, Ahmed S. A. 和 Cock A. R. 利用 Box-Jenkins 技术对高速公路的交通流量进行预测,但预测精度不够理想。1980 年, Nihan N. L. 和 Holmesland K. O. 在已知某路段 4 年的交通量数据的条件下,再次应用 Box-Jenkins 技术进行预测,获得了比较好的预测效果。由此可见,Box-Jenkins 方法要求的历史数据多,对建模者的知识水平和建模技巧要求较高。1990 年, Davis G. A. 研究了用可调整的预测系统预测高速公路小时交通量,并以此判断交通是否拥挤。同年,还建立了高级可调整预测系统,并应用到城市交通路网的实时预测和数据收集等领域中,当时所取的预测时间间隔一般都是 1 h。另外也有不少研究人员使用滤波技术预测交通流状态。

1971年, Gazi D. Che 和 Knapp C. H. (1984), Iwao Okutani 就曾利用卡尔曼滤波理论建立交通量动态预测模型, 1993年, P. C. Vythockas 也建立了基于卡尔曼滤波技术的交通流预测模型, 预测效果较好。1989年, Nihan 和 Davis 提出了预测误差最大最小可能模型。1991年, Nihan 和 Davis 建立非参数回归预测模型, 他们认为该模型在某些情况下的预测精度优于时间序列模型。1993年, Brain L. Smith 和 Michae J. Demetsky 利用神经网络方法建模, 发现预测结果具有较高的精度, 而且没有时滞现象^[19, 20]。此后, 神经网络技术在交通流参数预测领域得到长足发展, 1994年, Thierry Dochy 等人在建立神经网络模型预测时间间隔为 1 h 的交通流量, 预测结果令人满意。1996年, Maschavan DerVort 等人将神经网络与 ARIMA 时间序列模型结合, 使 ARIMA 模型具有更广泛的适应性和可移植性。之后, Gorinne Ledoux 提出用神经网络建立单个路段的交通流量模型, 并结合整个路网的交通量预测模型进行预测, 再用模拟的数据对该算法进行了验证。1997年, H. Kirby, M. Dougherty, S. Watson 再次建立神经网络模型研究高速公路短时交通流量预测, 他们认为该模型的成功之处在于使用了动态时间序列方法分析高速公路交通流变化规律。1998年, 英国学者 H. Chen, S. Clark, M. S. Dougherty, S. M. Grant-Muller 发现运用 Hermite 多项式和随机噪声理论能较好地描述交通流状态, 进一步证实神经网络模型用于交通流预测拥有很好的前景。随后 H. Chen 和 Susan Grant-Muller 将神经网络与卡尔曼滤波技术结合, 建立了卡尔曼滤波-神经网络模型, 得到预测绝对误差为 9.5%, 而用静态神经网络模型对同一组交通流数据进行预测得到的绝对误差要高出近两个百分点。作者将普通动态神经网络模型、基于卡尔曼滤波的动态神经网络模型以及静态神经网络模型三者进行比较后得出结论: 普通动态神经网络在很多情况下的预测效果都是最优的, 并认为实施分段预测效果更佳。



在交通事件自动检测技术方面,国外起步也较早。自 1961 年开始,一些学者就提出并建立了各类高速公路事件检测系统。纽约州政府在 Lincoln 隧道建立的事件自动探测系统是最早的系统之一。该系统使用的探测算法是通过跟踪和识别经过隧道口的单个车辆数来确定隧道内的车辆数,该法在隧道中很有用,但不适合高速公路其他路段的事件检测。1968 年,加利福尼亚运输局开发的事件检测算法得到最广泛的应用,被称为“加利福尼亚”算法。它采用的交通检测参数是车道占用时间。1970 年, Cook A. R. 和 Cleveland D. E. 提出了双指数平滑模型,在该算法中采用信号跟踪的方法来去掉统计数据中的白噪声。1973 年,美国联邦公路局开始组织进行先进的事件探测算法研究,此项研究对 10 种高速公路事件自动探测算法进行研究比较,并开发了参数标定软件。研究表明,加利福尼亚算法和指数平滑法都能较好的进行预测。20 世纪 70 年代末 80 年代初,英国 TRRL(运输及道路研究所)研究了在交通流较大时由车辆停驻或缓行造成的连续探测器占用情况,并提出 HIOCC(高检测器占有率)算法,此算法在 Bedfordshire 的美国一号高速公路上获得较好的使用效果。许多 80 年代提出的算法运用了概率模型,在事件探测时并不只是简单地判断是否报警,而且给出事件发生的概率。90 年代,随着各种数学方法和计算机技术的进一步发展和成熟,高速公路事件自动探测算法开始运用各种比较成熟的新方法新技术,提出了新的事件自动探测算法,例如将灾变论用于事件检测^[21]。

我国对智能交通系统(ITS)研究起步较晚,在 ITS 实施技术和基础理论研究方面均落后于发达国家。但我国政府部门及交通运输界已经认识到开展智能交通研究的重要性,国家自然科学基金委员会已经把智能运输研究作为该基金的资助重点,有越来越多的专家学者参与到 ITS 研究中来。作为智能交通系统的基础技术,交通流动态预测正受到越来越多的关注,许多其他学科中的