

交通流短时预测研究进展

Synthesis of Short-Term Traffic Flow Forecasting Research Progress

袁 健, 范炳全

(上海理工大学, 上海 200093)

Yuan Jian, Fan Bingquan

(University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

摘要: 交通短时流预测是交通控制和交通诱导的基础和关键技术之一,经过几十年的研究已出现200多种预测方法。首先对城市道路交通流短时预测方法进行分类。然后分析、归纳了交通流预测领域的最新研究进展,总结出几类最新的研究趋势:综合模型应用,组合模型应用,时空相关性研究,单断面向多断面、路网扩展研究,单步预测向多步预测发展研究,以及基于反馈的动态预测。最后,展望了今后交通流短时预测的研究方向。

Abstract: Short-term traffic flow forecasting is the foundation and one of the key technologies for route guidance and traffic control. In the past several decades, more than 200 approaches have been developed in literature. This paper first classifies the related research into different categories, and then analyzes and synthesizes their most recent development and progress, including but not limited to the integrated model application, combinational model application, spatial-temporal correlation studies, single-link to multi-link and road network, one-step to multi-step prediction, and feedback based dynamic forecasting. Finally, the paper envisions the trend of research on short-term traffic flow forecasting.

关键词: 交通工程; 交通流; 短时预测; 方法分类; 研究进展; 研究方向

Keywords: traffic engineering; traffic flow; short-term forecasting; methods classification; research progress; research trend

中图分类号: U491 文献标识码: A

收稿日期: 2012-03-01

基金项目: 国家自然科学基金项目“基于移动瓶颈理论的低速货车对快速道路通行能力影响机理”(51008196); 上海市重点学科项目“系统管理”(S30504)

作者简介: 袁健(1971—), 女, 四川泸州人, 博士研究生, 副教授, 研究方向: 智能交通、计算机网络应用、数据挖掘。

E-mail: yuanjianwq@163.com

准确、实时的交通流短时预测是智能交通系统的基础和关键。利用道路实时和历史检测数据,通过各种模型和方法预测下一时段的交通量,既可作为智能交通系统信号控制的设计依据,也可为出行者的动态路径诱导提供决策支持。

1 城市道路交通流短时预测方法

根据预测时长,通常将城市道路交通流预测分为中长期预测、近期预测、短期预测和短时预测,预测时长分别为未来3~10 a、1~3 a、1 a以内、不超过15 min。由于短时交通流具有很强的动态性、非线性、不确定性、周期性、非平稳性及空间相关性,其预测方法应具备实时性、准确性、鲁棒性、自适应性和可移植性。经过几十年的研究,各国专家提出的交通流短时预测方法已超过200种,基本可分为基于线性系统理论、基于非线性系统理论、基于知识发现模型、基于动态交通分配模型和基于交通仿真模型等。

1.1 基于线性系统理论的预测方法

该类方法假设道路交通量具有周期性变化规律,据此对历史交通流数据进行分析、处理,推断道路的短时交通量。主要包括历史平均模型、线性回归模型、时间序列模型、卡尔曼滤波模型等。

历史平均模型是把若干天中同一时刻的历史交通量平均值作为当前时刻的预测值。该模型只能用于交通流变化较平稳的路段,是早期采用的较简单的模型。

线性回归模型根据历史数据确定回归方程,预测短时交通量。由于考虑了影响交通流的因素,与历史平均模型相比,适应性更强。但是,由于确定的回归方程参数是静态的,无法及时修正误差,因此不能反映短时交通流的非线性变化。

时间序列模型是根据观测到的时间序列数据,构成一个随时间变化的统计序列,通过曲线拟合和参数估计建立数学模型,并将模型外推到未来进行预测。主要包括自回归法、移动平均法、自回归移动平均法、自回归求和滑动平均法。1979年,文献[1]首次用自回归移动平均法预测高速公路的短时交通量;1984年,在缺失数据的情况下,文献[2]利用自回归法分析预测了高速公路服务水平的变化;文献[3]则在2006年提出了一种考虑交通流突变情况且包含两种交通事件监测算法的预测模型——自回归求和滑动平均法。时间序列模型建模简单,在数据充足及交通量周期性平稳变化的情况下,预测精度较高。但在数据有缺失、路段交通量受随机因素干扰大、不确定性强时,预测误差较大。同时,由于该模型只考虑被预测路段历史数据的时间序列规律,未考虑相邻路段的影响因素,因此预测结果的适应性不强。

卡尔曼滤波模型利用由状态方程和观测方程组成的状态空间模型来描述交通系统、预测短时交通流。1984年,文献[4]提出了基于卡尔曼滤波理论的交通流预测模型。2005年,文献[5]利用交通仿真数据检验了卡尔曼滤波模型的预测效果,结果显示,利用卡尔曼滤波模型将含噪声的数据处理后,可以得出相对真值,从而降低了对数据采集的精度要求,并且更适应数据采集的实际情况。由于卡尔曼滤波理论以线性理论为基础,因此对非线性、不确定性大的短时交通流,其预测误差较大。

综上,基于线性系统理论的交通流预测方法不太适合时间间隔较短、不确定性较大的短时交通流,更适合预测中长期及短期交通流。

1.2 基于非线性系统理论的预测方法

非线性系统理论主要针对非线性变化的数据进行处理。对较短时间的交通流进行预测时,例如5 min以下,由于其不确定性和非线性特点,必须采用非线性系统理论进行分析。用于交通流短时预测的非线性系统理论方法主要有:非参数回归法、小波分析法、基于混沌理论的预测方法和基于分形理论的预测方法。

利用非参数回归法进行交通流短时预测时,只需要有足够的历史数据,寻找历史数据中与当前点相似的“近邻”,并用“近邻”下个时段的数据作为预测值。1991年,文献[6]将该方法用于交通流短时预测,文献[7]则在2005年提出了一种改进的近邻非参数回归法。该方法误差小,预测精度高,尤其适合有特殊事件发生时的短时交通流预测,其缺点是要求历史数据足够丰富,寻找“近邻”的工作量较大。

小波分析法是20世纪80年代中期发展起来的一种数学分析法。小波具有良好的时-频局部化性质,能聚焦到信号的任一局部细节,因此很多人将其用于混沌、非平稳时间序列的分析与预测,并取得了较好的效果。2002年,文献[8]提出了一种基于多分辨率小波分解与重构的交通流短时预测方法。由于小波分析擅长于对信号的放大、去噪和聚焦处理,因此多与其他方法组合预测短时交通流,如卡尔曼滤波模型、神经网络模型、支持向量机模型、模糊神经网络模型等。

混沌是指在确定性系统中出现的一种貌似无规则、类似随机的现象。混沌不是简单的无序,其中蕴含各种周期解。由于交通系统是一个复杂的大系统,组成系统的各个方面存在复杂的非线性关系,必然导致混沌现象的产生。混沌现象可以短时预测,不能长期预测。基于混沌的预测主要以混沌理论、分形理论、耗散理论、协同论、自组织理论等为基础,利用相空间重构、奇怪吸引子、分形论、自组织论等建立预测模型。1989年混沌被引入交通领域,2001年,文献[9]研究得出交通数据具有混沌特性,可以用相空间重构技术预测;2003年,文献[10]提出了一种基于相空间重构理论的短时交通流预测方法;2006年,文献[11]采用最大Lyapunov指数、以流率序列为例

进行混沌交通流预测；2008年，文献[12]利用混沌理论对多项式进行改进，建立了对短时交通流的一步预测，并预测了以5 min为时间尺度的交通量。

分形理论最早于1967年提出，是刻画混沌运动的直观几何语言。短时交通流具有分形特征，因此，近年来开始采用分形理论预测短时交通流。预测时，既可以直接采用分形的概念和交通流特征，也可以根据分形的自相似特征采用最近邻法。2010年，文献[13]针对短时交通流的非线性特征，采用基于分形的方法预测短时交通流，缩短了预测时间、提高了预测精度。

1.3 基于知识发现模型的智能预测方法

基于知识发现模型的智能预测方法其本质是非线性系统模型，因其有别于普通非线性方法，故单独分类。该类方法主要针对复杂的非线性大系统进行预测，用于短时交通流预测的知识发现模型主要包括人工神经网络模型和支持向量机模型。

人工神经网络主要利用工程技术手段模拟人脑神经系统的结构和功能，本质上是大规模并行处理的自适应非线性系统。神经网络预测方法利用大量历史数据训练神经网络模型，得到输入—输出的映射关系，然后给定输入值利用该映射输出预测值。这种预测方法不需要任何经验公式，即使不清楚预测问题的内部机理，只要有大量的输入、输出样本，便可建立良好的输入、输出映射模型。1993年，人工神经网络被首次引入交通流预测领域；由于神经网络具有自学习、自适应、自组织、较强的容错性和鲁棒性等特性，因此被大量使用。已用于短时交通流预测的人工神经网络模型有：反向神经网络、递归神经网络、径向基函数神经网络、时间延迟神经网络、多层反馈神经网络、谱分析人工神经网络、对偶传播神经网络、高阶广义神经网络、粗神经网络等。虽然人工神经网络模型在交通流预测领域应用较广，但也存在很多不足：神经网络学习模式需要大量原始数据训练，数据不足或数据有噪声都将导致预测结果偏差较大，并且其学习过程采用经验风险最小化原则，在小样本情况下，容易出现

过学习现象从而导致泛化能力低下；训练网络结果只适应于被训练样本数据的路段，因此路网每个路段均需训练，导致数据处理量过大；隐层神经元的数量由经验获得，隐层节点太少可能影响精度，隐层节点太多会导致计算时间长，降低网络的推广能力。

支持向量机以统计学习理论为基础，是一种机器学习方法，出现于20世纪90年代。该方法根据结构风险最小化原则进行学习，从本质上提高了学习机的泛化能力，不存在局部最小问题，同时运用核函数巧妙解决了维数问题，优于基于经验风险最小化的常规神经网络方法。为了解决神经网络模型的缺点，支持向量机模型被引入交通流预测领域。文献[14]对比了支持向量机模型和神经网络模型的交通流预测效果；文献[15]采用支持向量机模型进行了交通流实时预测；文献[16–17]研究了支持向量机模型的短时交通流状态和预测模型；文献[18]则采用支持向量机模型与退火算法相结合的方式对交通流进行预测。目前，就短时交通流预测来说，普遍认为支持向量机模型比神经网络模型更快速、更准确。

1.4 基于动态交通分配模型的预测方法

该类方法通过采集实时交通流数据和出行选择行为，估计交通流随时间变化的情况^[19]；有明确的目标函数和约束条件，所得结果精度较高。只要有OD交通量，动态交通分配模型就能预测交通流信息，因此中长期、短期和短时交通流预测均适用。利用该类方法进行交通流预测时，需要将OD交通量按照一定规则合理地分配在所选路径上。根据分配时采用的路径选择准则，可将模型分为动态用户最优和动态系统最优两类，两者的区别是目标函数和约束条件不同：前者以单个用户出行费用最少为目标，后者则是使整个系统总出行费用最少。

动态交通分配模型的本质是为了描述交通网络供给和需求间的动态关系，但要得到时变的OD交通量，对交通信息的实时采集要求较高，获取信息代价昂贵，再加上模型求解有一定难度，因此，很难在大规模路网中应用，也很难捕捉路网的动态特性。

1.5 基于交通仿真模型的预测方法

交通仿真是20世纪60年代开始发展起来的、采用计算机数字模型反映复杂道路交通现象的交通分析方法,是再现交通流时间和空间变化的模拟技术。交通仿真模型通常用来评价交通控制方案设计的优劣和交通规划设计的合理性,不能直接进行交通流预测,通常与其他方法相结合,通过模拟交通流、道路占有率、出行时间之间的关系,间接获得交通流预测值。例如,与动态交通分配模型相结合的启发式模型,既能评价真实的交通网络、捕捉多种交通网络的动态特性,也能有效地描述交通控制信息对交通流的影响及交通诱导信息对出行行为的影响^[19];利用车头时距分布模型与OD矩阵估计技术建立的基于微观交通仿真的短时交通预测模型,对未来5 min之内的道路交通状态进行仿真,结果显示,相比神经网络模型其预测速度更快^[20];文献[21]结合交通仿真模型和线性系统理论的优点,先利用流体连续模型仿真交通动态性得到对应路段的相关交通参数,然后输入贝叶斯模型预测路段的交通流,与单独使用贝叶斯模型相比,在计算精度相同的情况下,降低了计算的复杂程度。

2 研究趋势

交通系统是一个复杂的巨系统,经过了几十年的研究,仍然没有公认、成熟的交通流预测模型,每种模型都有其局限性,因此需要继续寻找更适用的模型和方法。近年来,短时交通流预测出现了下述一些趋势。

1) 综合模型应用。

综合模型是指以一种预测模型为主,再引入一种算法对该模型的某几个参数进行处理和优化,以得到更精确的预测结果。例如分别以灰色理论、人工神经网络、支持向量机等为基础的综合模型。

灰色预测方法适应于变化趋势较明显的时间序列,对随机波动大的时间序列则无能为力,而灰色马尔可夫预测模型先采用GM(1,1)模型拟合交通系统的发展变化趋势,再对随机波动大的残差序列进行马尔可夫预测,克服了灰色理论的不

足^[22]。遗传算法具有全局搜索、收敛速度快的特点。遗传优化灰色预测模型通过用遗传算法优化GM(1,1)模型的参数,改善了灰色模型的预测效果^[23];模糊优化灰色预测模型则是通过引入加权因子 ω ,建立GM(1,1, ω)预测模型。将遗传算法与神经网络结合的遗传神经网络预测模型,不仅能发挥神经网络的泛化映射能力,而且能克服神经网络收敛速度慢、易陷入局部最优的缺点。小波神经网络具有最佳的函数逼近能力,该网络利用小波方法将交通信息中的高频部分和低频部分分离,再用神经网络分别预测其高频和低频部分,从而提高预测精度。基于粗糙集理论的支持向量机预测克服了支持向量机训练大量样本时速度较慢的缺点。基于小波分解和支持向量回归的交通流预测模型通过将数据分解、重构、叠加,提高预测精度。除此之外,用于交通流短时预测的综合模型还有很多,如分形与混沌结合、小波和卡尔曼滤波结合、混沌与神经网络结合等^[24]。

2) 组合模型应用。

组合模型是将几个不同角度的模型按一定方法组合起来,综合利用各模型的有用信息,全面认识系统,改善预测效果。组合模型与综合模型不同,其预测结果取决于多种预测方法的综合结果,综合模型则是在预测算法的不同阶段应用不同的优化策略或方法。按照组合方式不同,组合模型预测分为线性组合和非线性组合。线性组合预测通常采用简单平均、简单加权平均、方差倒数加权、均方差倒数加权、二项式等组合方式;其中,动态变化的组合权重更为科学,但也更复杂,因此线性变权重组合预测较为少见。非线性组合预测是将不同的模型预测结果作为非线性函数的输入值,求出最终预测结果。由于非线性组合预测的高度复杂性,导致其相关理论研究进展缓慢,因此目前主要采用线性组合预测。

3) 时空相关性研究。

道路网多个断面间的交通流数据具有时空演化规律,找出路段交通流数据的时空相关性,批量预测路段交通量,可提高大规模路网众多路段交通流的预测速度和效率。目前,国内外有关交通流预测时空相关性的研究并不多,采用的预测方法主要有相关系数计算法、聚类分析法和多维

标度法。在判断路段交通流相关性时,利用相关系数计算法可得到路段交通流数据的相关系数,以此表示数据间的相关程度,进而得到路网各路段的相关程度;该方法需计算所有路段两两间的相关系数,然后再按同一标准对其进行转化,计算量大且繁琐。聚类分析法是一种数据挖掘方法,以最近邻算法为例,利用欧几里得距离计算出以各路段交通量为变量的距离,得到类间距离矩阵,两类之间距离越小,相关度越大。多维标度法源自心理测度学,用于分析各路段交通流数据的相关性,例如,文献[25]采用多维标度法对多断面时间序列的相关性进行定量分析,根据分析结果同时对多断面进行交通流预测,实例验证结果显示,该方法可行、有效;文献[26]则研究了路网的时空相关性,将上下游路段的交通参数均带入GARCH模型进行实时交通流预测,提高了预测精度。

4) 单断面向多断面、路网扩展。

以往的历史平均模型、线性回归模型、时间序列模型等只考虑单路段的历史数据值,忽略了上下游路段和相邻交叉口的影响,导致预测结果因信息量不足而具有一定局限性。对于不确定性较强的交通系统,同时考虑上下游路段和相邻交叉口的交通流,可使预测结果具有更强的适应性。卡尔曼滤波模型、支持向量回归模型和混沌时间序列模型均可以多路段为研究对象,而神经网络模型则以相关性较强的局部路网为研究对象。这种从单路段向多路段甚至路网的转移现象,标志着交通预测模型的适用性越来越好。

5) 单步预测向多步预测发展。

交通流短时预测一般只进行一步预测,对于连续的多步预测研究较少,而从动态决策角度看,对未来一段时间内交通状态的发展趋势预测更为重要,因此,需要建立具有多步预测功能的模型。文献[27]通过分析短时交通流的混沌特性,运用混沌时间序列的相空间重构理论,提出了一种可连续预测路段交通流的最大步数方法,利用该方法可得到不同时间尺度下的最大预测步数,同时,通过将前一时间间隔的预测值假设为当前值,可连续多步预测未来较长时间间隔的交通流数值。

6) 基于反馈的动态预测。

短时交通流预测主要为交通控制或交通诱导服务。若交叉口信号控制策略与交通流预测结果建立联系,则该预测结果将有助于改善信号控制策略,而信号控制策略的改善又将改变交通流状况,从而影响下一时间间隔的交通流预测结果。同理,当交通流预测信息通过交通诱导系统发布后,也会由于出行者行为的改变而改变交通流本身,进而影响下一时间间隔的交通流预测结果。因此,有必要研究包含上述两种反馈效应的交通流短时预测方法。目前,此类研究较少,广获认可的研究成果是:采用计量经济学中的离散选择模型,研究出行者对实时交通信息的响应及其行为过程^[28]。

3 结语

交通流短时预测方法众多,研究其发展过程可发现近年来出现了以下演化趋势:微观模型向宏观模型演化,有参方法向无参方法演化,静态预测向动态预测演化,非智能预测向智能预测演化,预测时逐步在模型中考虑出行选择行为,从只考虑单路段到考虑多路段甚至路网中各路段的影响,并且开始考虑交通诱导信息发布对出行行为的影响以及对交通流预测的反馈作用。未来对交通流短时预测的研究还有许多问题需要考虑,例如,如何控制模型的复杂度和计算量;如何在预测模型中揭示并把握交通流的规律;如何研究微观、宏观与中观模型之间的联系以及静态与动态方法的联系;智能模型往往只能预测交通量,而交通流密度、速度和道路占有率是反映交通状态的重要参数,如何预测密度、速度和占有率,并在模型中反映交通的动态性。尽管对交通流预测方法的研究已相当深入和广泛,但将各预测方法用于实际路网后,对其效果的评价目前还很少有人研究,因此,今后加强此类研究将对交通流预测成果的实际应用,具有重要价值。

参考文献:

References:

[1] Ahmaed Mohamed S, Cook Allen R. Analysis of

- Freeway Traffic Time-series Data by Using Box-Jenkins Technique[J]. Transportation Research Record, 1979(722): 1-9.
- [2] Davis Gary A, Nihan Nancy L. Using Time-series Designs to Estimate Changes in Freeway Level of Service Despite Missing Data[J]. Transportation Research Part A, 1984, 18(5): 431-438.
- [3] Cetin Mecit, Comert Gurcan. Short-term Traffic Flow Prediction with Regime-switching Models [J]. Transportation Research Record, 2006(1965): 23-31.
- [4] Iwao Okutani. Dynamic Prediction of Traffic Volume through Kalman Filtering Theory[J]. Transportation Research, 1984, 18(1): 1-11.
- [5] 戴施华, 周欣荣. Kalman滤波理论在短时交通预测上的应用[J]. 哈尔滨商业大学学报(自然科学版), 2005, 21(6): 728-730.
- Dai Shihua, Zhou Xinrong. Application of Kalman Filtering Theory on Prediction of Short-term Traffic Volume[J]. Journal of Harbin University of Commerce (Natural Sciences Edition), 2005, 21(6): 728-730.
- [6] Davis Gary A, Nihan Nancy L. Nonparametric Regression and Short-term Freeway Traffic Forecasting[J]. Journal of Transportation Engineering, 1991, 117(2): 178-188.
- [7] Taehyung Kim, Hyoungsoo Kim, Lovell David J. Traffic Flow Forecasting: Overcoming Memory Less Property in Nearest Neighbor Non-parametric Regression[C]// IEEE. Proceedings of the 8th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems. Oakland: IEEE, 2005: 13-16.
- [8] 贺国光, 马寿峰, 李宇. 基于小波分解与重构的交通流短时预测法[J]. 系统工程理论与实践, 2003, 22(9): 101-106.
- He Guoguang, Ma Shoufeng, Li Yu. Study on the Short-term Forecasting for Traffic Flow Based on Wavelet Analysis[J]. Systems Engineering Theory & Practice, 2003, 22(9): 101-106.
- [9] Attoor Sanju Nair, Jyh-Charn Liu, Laurence Rilett, Saurabh Gupta. Non-linear Analysis of Traffic Flow [C]// IEEE. Proceedings of the 4th International IEEE Conference on Intelligent transportation Systems. Oakland: IEEE, 2001: 681-685.
- [10] 宗春光, 宋靖雁, 任江涛, 胡坚明. 基于相空间重构的短时交通流预测研究[J]. 公路交通科技, 2003, 20(4): 71-75.
- Zong Chunguang, Song Jingyan, Ren Jiangtao, Hu Jianming. Short-term Traffic Flow Forecasting Research Based on Phase Space Reconstruction [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2003, 20(4): 71-75.
- [11] 李宏萍. 城市快速路交通流分形特性研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2004.
- [12] 薛洁妮, 史忠科. 基于混沌时间序列分析法的短时交通流预测研究[J]. 交通运输系统工程与信息, 2008, 8(5): 68-72.
- Xue Jieni, Shi Zhongke. Short-time Traffic Flow Prediction Based on Chaos Time Series Theory[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2008, 8(5): 68-72.
- [13] 承向军, 刘军, 马敏书. 基于分形理论的短时交通流预测算法[J]. 交通运输系统工程与信息, 2010, 10(14): 106-110.
- Cheng Xiangjun, Liu Jun, Ma Minshu. Algorithm of Short-Term Traffic Flow Forecasting Using Fractal Theory[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2010, 10(14): 106-110.
- [14] 王继生, 高宝成, 时良平. 支持向量机在交通量预测中的应用[J]. 信息技术, 2004, 28(4): 8-10.
- Wang Jisheng, Gao Baocheng, Shi Liangping. Application of Support Vector Machines in Traffic Volume Forecast[J]. Information Technology, 2004, 28(4): 8-10.
- [15] 徐启华, 杨瑞. 支持向量机在交通量实时预测中的应用[J]. 公路交通科技, 2005, 22(12): 131-134.
- Xu Qihua, Yang Rui. Traffic Flow Prediction Using Support Vector Machine Based Method[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2005, 22(12): 131-134.
- [16] 姚智胜, 邵春福, 高永亮. 基于支持向量回归机的交通状态短时预测方法研究[J]. 北京交通大学

- 学报(自然科学版), 2006, 30(3): 19-22.
- Yao Zhisheng, Shao Chunfu, Gao Yongliang. Research on Methods of Short-Term Traffic Forecasting Based on Support Vector Regression [J]. Journal of Beijing Jiaotong University(Natural Sciences Edition), 2006, 30(3): 19-22.
- [17] 杨兆升, 王媛, 管青. 基于支持向量机方法的短时交通量预测方法[J]. 吉林大学学报(工学版), 2006, 36(6): 881-884.
- Yang Zhaosheng, Wang Yuan, Guan Qing. Short-term Traffic Flow Prediction Method Based on SVM[J]. Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition), 2006, 36(6): 881-884.
- [18] Hong Wei-Chiang. Traffic Flow Forecasting by Seasonal SVR with Chaotic Simulated Annealing Algorithm[J]. Neurocomputing, 2011 (74): 2096-2107.
- [19] 胡婷, 于雷, 赵娜乐. 动态交通分配理论研究综述[J]. 交通标准化, 2010, 220(5): 6-10.
- Hu Ting, Yu Lei, Zhao Nale. A Synthesis of Dynamic Traffic Assignment Theories[J]. Transport Standardization, 2010, 220(5): 6-10.
- [20] 马云龙, 王坚, 任子晖. 基于微观仿真的快速路短时交通流预测研究[J]. 系统仿真学报, 2009, 21(14): 4501-4503.
- Ma Yunlong, Wang Jian, Ren Zihui. Research on Short-term Traffic Flow Prediction Based on Microcosmic Simulation[J]. Journal of System Simulation, 2009, 21(14): 4501-4503.
- [21] Jennifer McCrea, Salissou Moutari. A Hybrid Macroscopic-based Model for Traffic Flow in Road Networks[J]. European Journal of Operational Research, 2009(207): 676-684.
- [22] 李红梅. 基于 Matlab 的短时交通流预测分析及实现[D]. 青岛: 山东科技大学, 2007.
- [23] 陈淑燕, 陈家胜. 一种改进的灰色模型在交通量预测中的应用[J]. 公路交通科技, 2004, 21(2): 80-83.
- Chen Shuyan, Chen Jiasheng. Application of A Novel Grey Model to Traffic Flow Prediction[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2004, 21(2): 80-83.
- [24] 胡家兴, 陈燕, 张立东. 基于混沌神经网络的交通流预测算法[J]. 济南大学学报(自然科学版), 2012, 26(2): 152-155.
- Hu Jiaying, Chen Yan, Zhang Lidong. Traffic Flow Prediction Algorithm Study via Chaos RBF Network[J]. Journal of University of Jinan (Science and Technology), 2012, 26(2): 152-155.
- [25] 姚智胜, 熊志华, 邵春福. 交通流短时预测的相关性研究[J]. 交通运输系统工程与信息, 2010, 10(2): 117-121.
- Yao Zhisheng, Xiong Zhihua, Shao Chunfu. Relation Analysis for Road Traffic Flow Short-term Forecasting[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2010, 10(2): 117-121.
- [26] Wan limin, Laura Wynter. Real-time Road Traffic Prediction with Spatio-temporal Correlations[J]. Transportation Research Part C, 2011(19): 606-616.
- [27] 曹凤萍. 城市道路交通参数短时多步预测方法研究[D]. 长春: 吉林大学, 2008.
- [28] Train K. Discrete Choice Methods With Simulation [EB/OL]. 2003[2012-03-01]. <http://elsa.berkeley.edu/choice2/all.zip>.

(上接第 72 页)

- [6] 陈云飞, 彭国雄. 建设项目不同实施阶段的交通影响分析[J]. 城市公用事业, 2008, 22(1): 17-19.
- Chen Yunfei, Peng Guoxiong. Analysis of Effect of Different Phases of Project Construction on Traffic [J]. Public Utilities, 2008, 22(1): 17-19.
- [7] 邓毛颖. 广州市大型建设项目交通影响分析实施办法研究[J]. 规划师, 2002, 18(10): 62-65.
- Deng Maoying. Operation Methods of Traffic Impact Analysis on Large-Scale Construction Project in Guangzhou[J]. Planners, 2002, 18(10): 62-65.