

基于突变理论的交通速度预测方法研究^{*}何磊^{1,2}, 丘建栋^{1,2}, 刘恒^{1,2}

(1. 深圳市城市交通规划设计研究中心有限公司, 广东 深圳 518021;

2. 广东省交通信息工程技术研究中心, 广东 深圳 518021)

摘要: 引入时间序列分析方法和突变理论模型, 将交通流状态按速度是否发生突变划分为平稳段和突变段, 分析状态分析尺度、波动阈值、最小突变长度等对交通流速度预测结果的影响, 建立平稳段和突变段交通流速度预测模型; 以深圳市北环大道某断面为研究对象, 选取 1 个月的交通流速度数据进行分析, 验证文中预测模型的合理性与可行性。结果表明, 平稳段的预测结果与实际值接近, 预测精度较高; 突变段的部分预测值与实际值相比偏保守, 仅反映了交通流速度的变化趋势; 预测时间越长, 实际值与预测值相差越大, 预测结果的可信度越低, 可参考价值越小。

关键词: 城市交通; 速度预测; 突变理论; 时间序列

中图分类号: U491.2

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2018)04-0011-03

汽车保有量的快速增长, 导致交通需求量增加, 发生交通拥堵的频率越来越大, 拥堵时间越来越长, 严重影响交通运行安全与效率, 如何应对社会发展带来的交通问题成为亟需解决的难题。实践证明, 单纯依靠基础设施扩建只能暂时缓解当前难题, 需辅之以智能化、精细化的管理手段, 最大程度地挖掘路网运输潜能。时刻变化着的交通状态(车速、占有率、流量等状态指标)的精确预测是交通管理现代化的核心, 是各项交通决策的基础和依据。现有交通预测模型主要有历史平均模型、时间序列模型、神经网络模型、非参数回归模型、混沌理论模型、尖点突变理论模型等。该文选取交通流状态的重要表征指标——速度作为研究对象, 针对速度不同变化状态应用不同预测方法, 以最大程度提高交通流速度预测精度, 有效支持管理部门的管控决策。

1 突变段识别

1.1 时间序列与突变理论

引入时间序列与状态突变分析法进行交通流速度预测。按时间顺序排列的检测值的有序集合称为时间序列, 时间序列分析是隶属于应用统计学的一个分支, 由 G. Box 和 G. M. Jenkins 提出。时间序列模型成立的前提是观测值之间存在某种依赖关系, 这与交通流变化特征相吻合。突变理论研究从一种稳态向另一种稳态跃迁的转变, 这种转变以瞬

时突变的形式发生。

1.2 突变段识别模型

假设存在时间长度为 n 的速度序列 $v = \{v(t), t = 0, 1, \dots, n\}$, 定义单位弧度 $rad(t)$ 为 (t, v_t) 和其相邻点 $(t + \Delta t, v_{t+\Delta t})$ 构成的直线与 t 所在轴的夹角弧度, 即:

$$rad(t) = \begin{cases} \arctan \frac{v_{t+\Delta t} - v_t}{\Delta t}, & t = [0, n) \\ 0 \end{cases} \quad (1)$$

$$rad(t) \in (-0.5\pi, 0.5\pi) \quad (2)$$

图 1 为单位弧度示意图, $\Delta t = 1$ 。根据上述定义, 有:

$$rad(t+1) = \theta_{t+1} < 0, rad(t) = \theta_t < 0$$

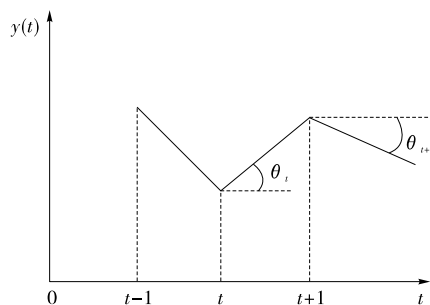


图 1 单位弧度示意图

单位弧度并不能完全表征速度的变化趋势, 故进一步定义累积弧度 $cr(t_s, t_e)$ 为从 t_s 到 t_e 的弧度和, 即:

^{*} 基金项目: 深圳市科技计划项目(GGFW2016033017241891); 深圳市战略性新兴产业发展专项(深发改[2017]550号)

$$cr(t_s, t_e) = \sum_{i=t_s}^{t_e} rad(i)$$

引入常数 $k, k \in N^+$, 则有:

$$\begin{cases} lcr(t) = \sum_{i=t-k+1}^t rad(i), \text{向左侧累积弧度} \\ rcr(t) = \sum_{i=t}^{t+k-1} rad(i), \text{向右侧累积弧度} \end{cases} \quad (3)$$

累积弧度表征 t 时刻 $v(t)$ 在分析尺度 k 下的波动情况。 $lcr(t)$ 和 $rcr(t)$ 较小时, t 时刻速度 $v(t)$ 处于平稳段; 当 $|lcr(t)|$ 和 $|rcr(t)|$ 超过预先设置的波动阈值 ϵ 时, 速度 $v(t)$ 在 t 时刻处于不稳定的突变段。

对于速度序列 $V = \{v(t), t=0, 1, \dots, n\}$, 允许波动阈值为 ϵ , 若存在子序列 $v = \{v_i, v_{i+1}, \dots, v_{j-1}, v_j\}, j > i+1$ 且 $\epsilon > 0$, 同时满足以下条件, 则称子序列 $v = \{v_i, v_{i+1}, \dots, v_{j-1}, v_j\}$ 为速度序列 $V = \{v(t)\}$ 的一个突变段, y_i, y_j 分别为 v 的起点和终点, $j-i+1$ 为突变段的长度: 1) 任意 $t \in (i, j)$, $|lcr(t)| \geq \epsilon$; 2) 任意 $t \in (i, j)$, $|rcr(t)| \geq \epsilon$; 3) 不存在子序列 $v' \subset v$ 且 $v \cap v' = \phi$, 满足条件 1 和条件 2。

1.3 相关参数

(1) 分析尺度 k 。式(3)中, $k=1$ 时, 累积弧度 $lcr(t) = rcr(t) = rad(t)$, k 值最小, 只考虑了自身的波动, 容易产生突变段误判。 k 取较大值时, 小范围的突变则无法识别。因此, 应用中需根据实际数据切片大小、分析精度要求等选择合适的 k 值。

(2) 波动阈值 ϵ 。 ϵ 是判别数据点是否为突变点的依据, 其值越小突变点越多, 其值越大突变点越少, 无法识别部分小范围的突变。应用中需根据实际数据切片大小、精度要求等选择合适的 ϵ 值。

(3) 最小突变长度 L 。为排除短时速度突变对预测结果的影响, 设置最小突变长度 L , 满足 $j-i+1 > L$, 保证突变段不小于最小突变长度, 过滤部分未对交通流产生实质影响的短时小规模突变。

2 匹配算法

2.1 平稳段预测

多数情况下, 交通流速度变化平稳。平稳段采用二次移动平均法进行预测, 公式如下:

$$M_t^{(1)} = \frac{v_t + v_{t-1} + \dots + v_{t-N+1}}{N} \quad (4)$$

$$M_t^{(2)} = \frac{M_t^{(1)} + M_{t-1}^{(1)} + \dots + M_{t-N+1}^{(1)}}{N} \quad (5)$$

式中: $M_t^{(1)}$ 为 t 时刻一次移动平均值(km/h); v_t 为 t 时刻交通流速度(km/h); N 为数据点个数; $M_t^{(2)}$ 为 t 时刻二次移动平均值(km/h)。

递推得:

$$M_t^{(2)} = M_{t-1}^{(2)} + \frac{M_t^{(1)} - M_{t-1}^{(1)}}{N} \quad (6)$$

预测值为:

$$v_{t+T} = a_t + b_t T \quad (7)$$

$$a_t = 2 M_t^{(1)} - M_t^{(2)} \quad (8)$$

$$b_t = \frac{2}{N-1} (M_t^{(1)} - M_t^{(2)}) \quad (9)$$

式中: v_{t+T} 为 $t+T$ 时刻的速度预测值(km/h); a_t, b_t 为参数。

2.2 突变段预测

(1) 基本参数。突变段预测中有两个重要参数, 分别为匹配长度和预测时长。一般匹配长度越大, 预测结果越精确, 但匹配过程计算量和耗时会急剧增加; 预测时长越短, 预测结果越精确。预测前需根据精度要求选择合适的匹配长度和预测时长。

(2) 匹配算法。给定两个速度序列 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 和 $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$, 用距离和的方法计算匹配度 s [见式(10)]。同时根据实际需要设定合理的 us 的触发阈值 α , 获得 $us > \alpha$ 的序列集合 $\{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ 进行下一步数据处理。

$$us = us(X, Y) = \sqrt{\sum_{i=0}^n (x_i - y_i)^2}, s = \frac{1}{us} \quad (10)$$

(3) 基于相似度结果融合。假定基于触发阈值 α 共获得多个相似序列 $\{u_1, u_2, \dots, u_n\}$, 按下式对结果进行融合:

$$s'_i = \frac{s_i}{\sum_{j=1}^n s_j}, v_t = \sum_{i=1}^n s'_i u_i(t) \quad (11)$$

3 实例分析

利用深圳市北环大道彩田立交附近断面 2017 年 8 月 14 日—9 月 15 日的浮动车监测数据(见图 2), 以 8 月 14 日—9 月 14 日的数据作为背景数据集、9 月 15 日的数据作为测试数据集, 采用上述方法进行状态划分、分段预测, 并将预测结果与监测结果进行对比。基本参数设置见表 1, 图 3 为预测结果与监测结果对比。

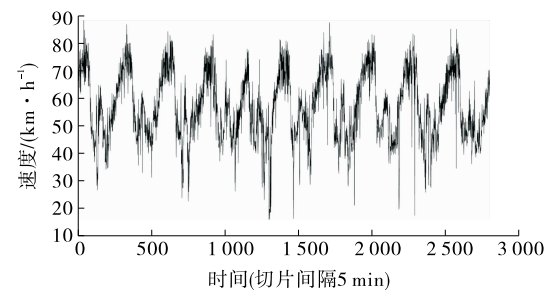


图 2 深圳市北环大道彩田立交附近断面的浮动车监测数据

表 1 参数设置

参数名	设定值
分析尺度 k/min	60
波动允许阈值 ϵ	0.5π
最小突变长度 L/min	15
匹配长度 min	180

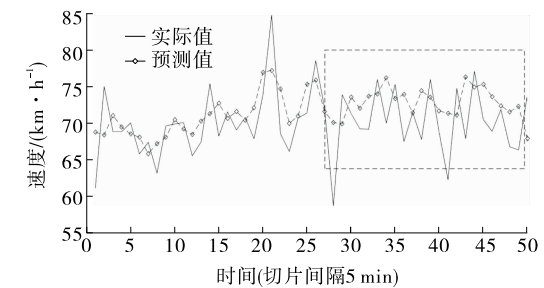


图 3 预测结果与监测结果对比

由图 3 可知:平稳段预测结果与实际监测结果较接近;突变段预测值与监测结果相比则偏保守,精度稍差,仅反映了交通流速度的变化趋势,主要原因在于匹配了历史突变段数据;虚线范围内实际值与预测值相差较大,说明预测时间越长,预测结果可信度越低,可参考价值越小。

4 结语

该文依据速度是否发生突变将其分为平稳段和突变段,分别使用不同方法进行交通流速度预测,其中平稳段预测采用二次移动平均法,突变段则构建基于历史数据的匹配模型,充分考虑交通流的变化特征,以提高预测精度。实例预测结果表明,平稳段的预测结果较好,而突变段的预测结果偏保守,但基本上反映了交通流速度的变化趋势,说明所采用的预测方法可行,对交通流状态判别与划分、路网运行状态评估、安全性评价等具有参考价值。

由于背景数据集不够庞大,其预测精度还有待提高。同时随着预测时长的增加,预测精度急速下降,如何利用有限的数据库尽可能提高预测精度,降低预测时长对预测结果的影响还有待进一步研究。

参考文献:

[1] 王井,史其信.短时交通流预测模型综述[J].ITS 通讯,2005,7(1).

[2] Ahmed S A,Cook A R.Analysis of freeway traffic time-series data by using Box-Jenkins techniques[J].Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board,1979,773(722).

[3] Davis G A,Nihan N L.Using time-series designs to estimate changes in freeway level of service, despite missing data[J].Transportation Research Part A:General,1984,18(5).

[4] Gary A Davis,Nancy L Nihan.Nonparametric regression and short-term freeway traffic forecasting [J].Journal of Transportation Engineering,1991,117(2).

[5] Iwao Okutani,Yorgos J Stephanedes.Dynamic prediction of traffic volume through Kalman filtering theory [J].Transportation Research Part B:Methodological,1984,18(1).

[6] Brian L Smith,Michael J Demestky.Short-term traffic flow prediction:neural network approach[J].Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board,1994,1453.

[7] Hussein Dia. An object-oriented neural network approach to short-term traffic forecasting [J].European Journal of Operational Research,2001,131(2).

[8] 贺国光,李宇,马寿峰.基于数学模型的短时交通流预测方法探讨[J].系统工程理论与实践,2000,20(12).

[9] 宗春光,宋靖雁,任江涛,等.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).

[10] 徐启华,丁兆奎.交通流量的递归神经网络实时预测模型研究[J].公路交通科技,2004,21(10).

[11] 田晶,杨玉珍,陈阳舟.短时交通流量两种预测方法的研究[J].公路交通科技,2006,23(4).

[12] 王进,史其信.基于非线性理论的短期交通流量预测研究[J].西安建筑科技大学学报:自然科学版,2006,38(2).

[13] 张朝元,陈丽.改进的 LS-SVM 算法及在交通流量预测上的应用[J].昆明理工大学学报:理工版,2008,33(6).

[14] 胡建荣,何磊.基于尖点突变理论的高速公路交通流状态判别方法[J].中国公路学报,2017,30(10).