DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2024.08.002

城市快速路短时交通量预测方法研究

邓 卓
(广东省建筑设计研究院有限公司,广东 广州 510010)

摘 要: 随着我国城市规模的快速发展,大型城市中的快速路已成为人们主要的出行选择,而早晚高峰的短时交通量暴增可能引发交通拥堵等问题,采用合理的方法对其进行预测,可实现有效的交通诱导、降低交通事故发生率和缩短延误时间等。根据交通流的离散性,将单日时间分成 3 个时间段,采用灰色系统理论对每个时间段分别建立 5、10、15 min 等步长的交通量预测 GM(1,1)及其残差模型。将该方法应用于广州市广园快速路的短时交通量预测,分析不同时间段内多种步长预测方式的误差结果,通过残差率对比分别确定模型的适应时间段。将预测结果与传统线性回归的预测方法进行对比,验证模型的准确性。

关键词: GM(1,1)模型;快速路;短时交通量;多步长预测
中图分类号: U491.1⁺4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-7716(2024)08-0006-04

0 引 言

交通出行一直是人们生产生活中的重点问题,对快速路交通量进行短时预测,通过控制流量可实现有效的交通分流与诱导,避免快速路上的车辆处于过渡饱和状态,可提高通行速度和交通安全性[1]。目前对交通量的预测方法有着非常广泛的研究,除增长率法和时间序列法等传统的方法外[2],还发展出了神经网络模型和遗传算法等[3],但目前的预测方法通常以年为单位,过渡依赖过去的数据,或提出某类假设,降低了准确度,多适用于路网规划、制定建设方案等方面,对短时的交通量预测不足[4]。城市快速路的交通流数据有昼夜的层次复杂性,动态变化较为随机,受时间、自然环境和人为因素的影响较大,容易出现数据的误差,难以精确预测其状态关系。灰色预测的 GM(1,1)模型无假设条件,与数据的随机分布的统计概率关系较弱,所需的数据量较为简单,可将快速路交通量看作灰色系统,将不同步长的交通量作为原始数据进行变换构建预测模型,可完成对短时数据和跳跃性增长的数据的预测,较为准确地反应交通流的时空变化规律。

本文对快速路单日实际交通数据进行统计。由于单日的交通量差异过大,因此根据车辆出行的主要分布情况,分为第一、二、三时间段进行预测。每个时间段为 8 h,然后将各时间段分为 5 min、10 min、15 min 的时间步长构造新序列,建立一个适用性强的灰色 GM(1,1)预测模型,对 6 个时间步长内的短时交通流量进行预测。为提高预测模型的准确性,对结果进行平均相对误差率分析,并进行模型适用性对比分析。

收稿日期:2023-08-26
作者简介:邓卓(1995—),男,硕士,工程师,从事道路工程设计工作。

1 灰色 GM(1,1)模型的原理

灰色 GM(1,1)模型将预测数据系统中的任意元素进行灰色序列处理,寻找数据内部存在的规律,其原始数据量要求不高,可随预测数据不断深入,提高精准度,较为适用于长期的变化预测。该模型各项参数较为客观,无人为经验系数的干扰。为体现快速路交通流量与时间步长的特定关系,采用单变量因素的一阶微分方程 GM(1,1)模型来进行短时预测。

通过 n 个离散的时间序列交通量累加生成相同步长的新序列,由最小二乘法求得发展系数 α 和内生控制灰色作用量 μ,设 $\breve{a}$ 为待估参数向量,结合数据阵 B 和数据列,构成相应函数:

$$\breve{a}=[a,\mu]=(B^{\mathrm{T}}B)^{-1}B^{\mathrm{T}}Y_n$$

$$B=\begin{bmatrix}-(X_{(1)}^{(1)}+X_{(2)}^{(1)})/2 & 1\\ -(X_{(2)}^{(1)}+X_{(3)}^{(1)})/2 & 1\\ \vdots & \vdots\\ -(X_{(n-1)}^{(1)}+X_{(n)}^{(1)})/2 & 1\end{bmatrix}$$

$$Y_n=[X_{(2)}^{(0)},X_{(3)}^{(0)},X_{(4)}^{(0)},\cdots,X_{(n)}^{(0)}]^{\mathrm{T}}$$

最终可得到时间响应的 GM(1,1)模型:

$$\hat{X}^{(1)}(t+1)=C_1e^{-at}+C_2(t=0,1,2,\cdots,n)$$

在建立 GM(1,1)预估模型后,仍须对模型的精

度进行检验[5]。本文采用残差(相对平均误差)对模型值和实测值的残差进行逐点检验，对拟合程度进行评定[6]。根据预测公式,计算绝对残差和相对残差序列值 ϕ:

$$\Delta^{(0)}=\hat{X}^{(0)}(t)-\hat{X}^{(1)}(t)$$

$$\phi=\frac{\|\Delta^{(0)}\|}{n-1}\times 100\%$$

根据残差序列值 ϕ 判断 GM(1,1)的准确性和统计规律,其值越大代表模型适应性越低,越小则适应性越高，根据不同时间段和不同步长下的残差序列值确定最佳的预测模型。

2　实例分析

本文以广州市广园快速路的交通量数据进行短时交通量预测。该路建于 1998 年,全长约 47.1 km,设计时速 80 km/h,是广东省境内一条连接广州市与东莞市的城市快速路,是交通流量非常大的快速路,有较高的短时交通量预测需求。通过将所有类型车辆统一换算为以小汽车为单位的交通量(pcu),按照车流量分区的主要规律，将单日 24 h 划分为 8:00—16:00、16:00—24:00、24:00—次日 8:00 三个时间段,再分别将各时间段的交通量数据按照以 5、10、15 min 为代表的三类步长进行统计排列。根据传统 GM(1,1) 模型和残差改进模型,进行建模、预测和分析。

2.1　交通量预测

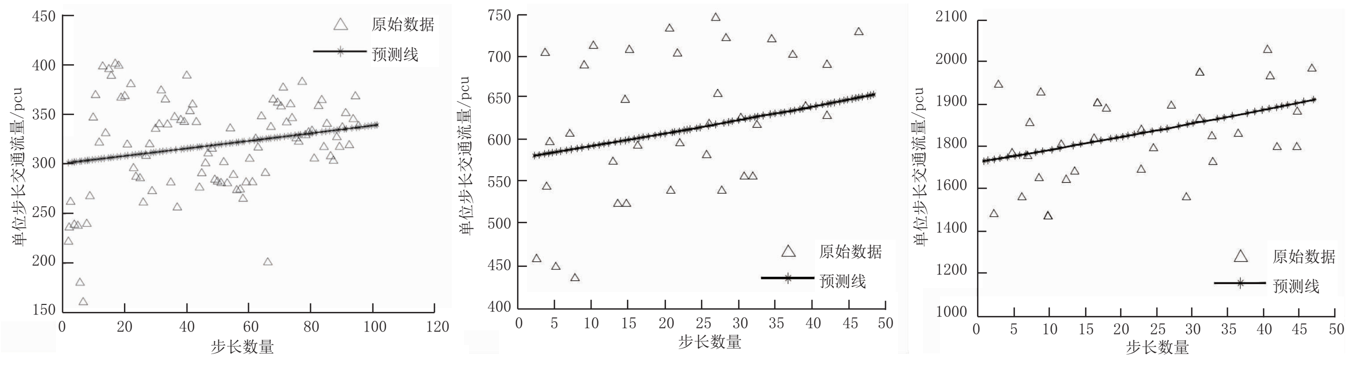
通过 Matlab 数据分析软件计算，可以得到第一时间段预测函数模型(见表 1),并对 6 组数据的预测值和残值序列值进行预测分析(见图 1)。

第二时间段预测函数模型、预测值和残差序列值见表 2,预测模型示意见图 2。

第三时间段预测函数模型、预测值和残差序列值见表 3,预测模型示意见图 3。

表 1　第一时间段 GM(1,1)预测模型及结果

时间步长	预测模型	交通流量 /pcu						平均相对误差率
		1	2	3	4	5	6	
5 min	$\hat{X}^{(1)}(t)=280\ 292\times e^{0.001\ 081\ 64(t-1)}-280\ 056$	338.20	338.69	339.10	339.50	339.91	340.32	8.444%
10 min	$\hat{X}^{(1)}(t)=150\ 127\times e^{0.003\ 882\ 13(t-1)}-149\ 669$	680.69	682.51	684.34	686.17	688.01	689.85	14.072%
15 min	$\hat{X}^{(1)}(t)=315\ 247\times e^{0.003\ 214\ 57(t-1)}-298\ 576$	1 747.74	1 754.72	1 761.72	1 768.76	1 775.82	1 782.90	17.433%



(a)5 min 步长　　(b)10 min 步长　　(c)15 min 步长

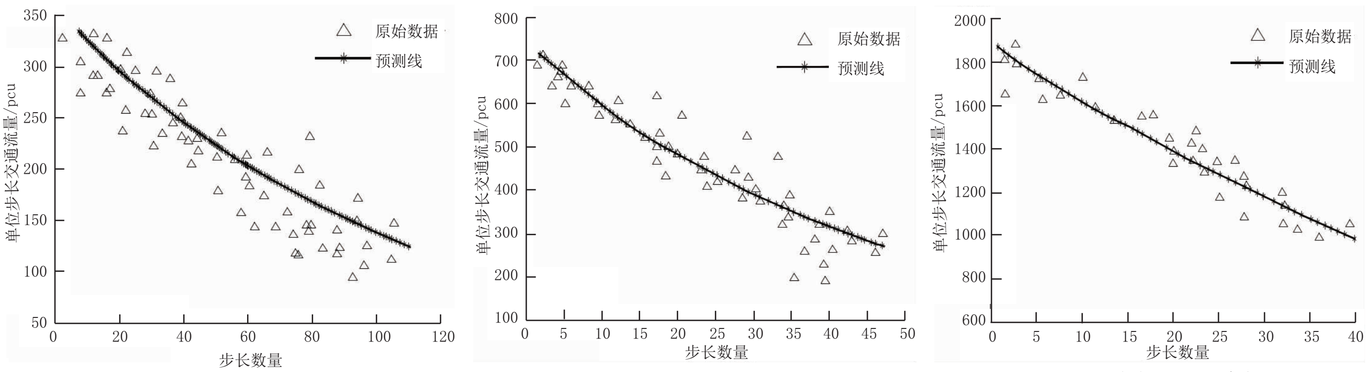
图 1　第一时间段内预测模型示意图

表 2　第二时间段 GM(1,1)预测模型及结果

时间步长	预测模型	交通流量 /pcu						平均相对误差率
		1	2	3	4	5	6	
5 min	$\hat{X}^{(1)}(t)=57\ 485\times e^{0.035\ 174\ 1(t-1)}-56\ 578$	109.24	107.84	106.46	105.10	103.75	102.42	8.549%
10 min	$\hat{X}^{(1)}(t)=29\ 413\times e^{0.025\ 071\ 7(t-1)}-30\ 059$	247.79	241.66	235.67	229.84	224.15	218.60	11.239%
15 min	$\hat{X}^{(1)}(t)=38\ 697\times e^{0.039\ 837\ 8(t-1)}-38\ 570$	549.14	528.06	507.78	488.29	469.54	451.51	14.452%

2.2　模型预测结果分析

完成三个时间段各步长时间的交通量预测及误差分析后，采用传统的线性回归模型进行相同的预测分析[3],比较 5、10、15 min 等步长时间内的相对误

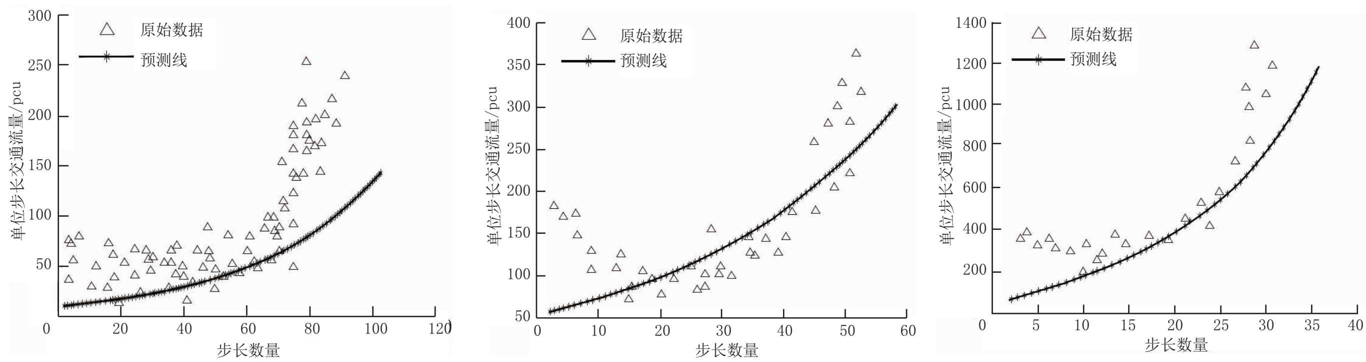


(a)5 min 步长　　(b)10 min 步长　　(c)15 min 步长

图 2　第二时间段内预测模型示意图

表 3　第三时间段 GM(1,1)预测模型及结果

时间步长	预测模型	交通流量/pcu						平均相对误差率
		1	2	3	4	5	6	
5 min	$\hat{X}^{(1)}(t)=960.23\times e^{0.020\,803\,9(t-1)}-889.23$	126.46	129.65	132.93	136.29	139.73	143.26	14.78%
10 min	$\hat{X}^{(1)}(t)=736.71\times e^{0.041\,712\,7(t-1)}-534.71$	260.99	268.70	276.64	284.82	293.24	301.90	26.54%
15 min	$\hat{X}^{(1)}(t)=510.24\times e^{0.083\,396\,8(t-1)}-476.24$	588.76	639.97	695.63	756.13	821.90	893.38	32.64%



(a)5 min 步长　　(b)10 min 步长　　(c)15 min 步长

图 3　第三时间段内预测模型示意图

差值形成对比表,寻找精度最为准确的预测空间(见表 4 和图 4)。

表 4　不同时间步长平均相对误差率对比表

时间步长	GM(1,1)模型的平均相对误差率			
	第一时间段	第二时间段	第三时间段	平均值
5 min	8.444%	8.549%	14.780%	10.591%
10 min	14.072%	11.239%	26.540%	17.284%
15 min	17.433%	14.452%	32.640%	21.508%
平均值	13.316%	11.413%	24.653%	

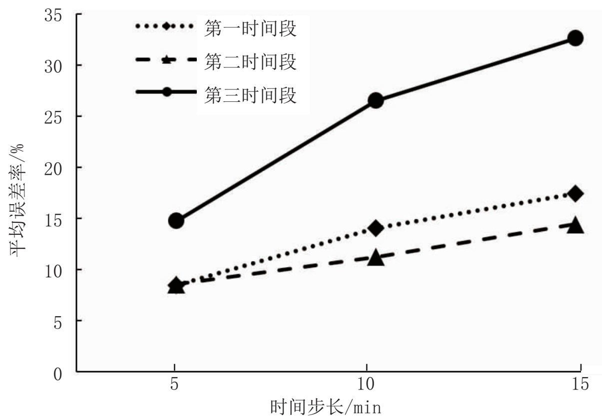


图 4　不同时间步长的平均相对误差率

由表 4 可知:平均相对误差最小值在第一时间段内的 5 min 步长,为 8.444%;最大误差出现在第三时间段内的 15 min 步长,为 32.64%,此时模型已经不再适用。随着短时预测时间步长的增加,GM(1,1)模型的平均相对误差从 10.591%增加至 21.508%,模型精度逐渐降低。其中:5 min 步长时间在任意时间段的平均相对误差率均在 15%以内,宜作为短时预测模型的适用步长;10 min 和 15 min 步长的平均误差率均超过 15%。

在分区段的 24 h 内,第一和第二时段的平均误差值在 15%以内,主要是由于在 8 点至 24 点内车辆出行频率较为均衡,波动较小。凌晨 0:00—8:00 的第三时间段内的平均误差率增幅加大,且总体数

值偏大,均超过 15%,深夜的交通流量较为离散,故在进行短时交通量预测时,应尽量采用较短的时间步长。

为比较 GM(1,1)与传统交通量预测方法的拟合精度,采用相同数据和线性回归模型进行短时交通量预测,并对其平均误差率进行对比,(见表 5 和图 5)。在第一、第二和第三个时间段内,线性回归模型的平均误差率均大于 GM(1,1)模型的误差,其中第三个时间段的误差率相差较大,为 38.248%,另外两个时间段的误差率亦超过 20%,存在较大的偏差。

表 5　不同模型的平均误差对比

时间范围	平均相对误差率	
	GM(1,1)模型	线性回归模型
第一时间段	13.316%	27.125%
第二时间段	11.413%	32.393%
第三时间段	24.653%	62.901%
平均值	16.461%	40.806%

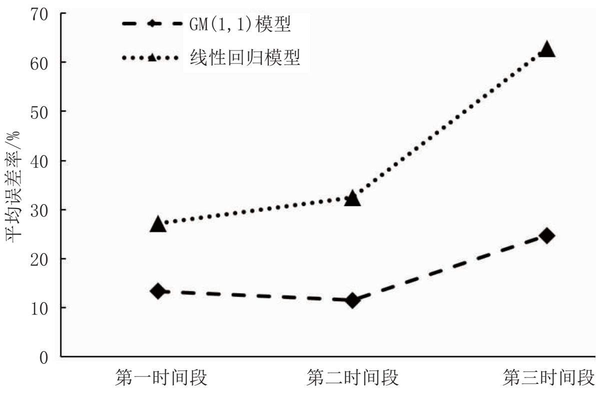


图 5　不同时间段的平均相对误差率

通过对预测模型的比较与分析,运用 GM(1,1)模型对广园快速路短时交通量进行预测,能够使预测值更接近于实际。

3　结　论

本文基于灰色 GM(1,1)模型对交通量数据的模糊性、离散性进行弱化,挖掘潜在达到规律,建立适合广园快速路短时交通量灰色预估模型,并通过对不同时间段内 5、10 、15 min 等时间步长进行模型预测精度分析,可知时间步长越短,交通量预测越准确的规律,在第一和第二时间段内的短时预测较为准确。同时与传统的线性回归模型的预测结果进行误差率分析,得出该模型具有一定的精确性和可行性,能基本满足工程实践中对交通量的短时预测要求,为城市快速路的运营管理提供决策依据。同时,可进一步对第三时间段的模型进行调整,改进单纯的数据分析带来的误差缺陷,提高模型的适用性。

参考文献:

[1] 陈丹钿.GL 高速公路交通预测及技术经济分析[D].广州:华南理工大学,2018.

[2] 胡梦飞.福银高速礼泉收费站改扩建工程可行性研究[D].西安:西安科技大学,2017.

[3] 魏丹.基于机器学习的交通状态判别与预测方法[D].长春:吉林大学,2020.

[4] 王鹏,何荷.灰色理论在交通量预测中的应用[J].公路交通科技(应用技术版),2014,10(7):325-327.

[5] 南爱强,王锋宪.经典灰色理论和马尔科夫链的交通量预测模型构建[J].微型电脑应用,2018,34(7):3-6.

[6] 刘宗明,贾志绚,李兴莉.基于灰色马尔科夫链模型的交通量预测[J].华东交通大学学报,2012,29(1):30-34.

(上接第 5 页)

参考文献:

[1] 曲林,张淑娟,冯洋,等.倾斜摄影测量高中低空解决方案研究[J].测绘与空间地理信息,2016,39(1):19-23.

[2] 李祎峰,宫晋平,杨新海,等.机载倾斜摄影数据在三维建模及单斜片测量中的应用[J].遥感信息,2013,28(3):102-106.

[3] 孙杰,谢文寒,白瑞杰.无人机倾斜摄影技术研究与应用[J].测绘科学,2019,44(6):145-150.