

# 基于 T-S 模糊神经网络公交线路速度等级评价

张顺风 李培庆 \*

(浙江科技学院 机械与能源工程学院,浙江 杭州 310023)

**摘 要:**基于公交线路速度等级评价问题,提出了基于 T-S 模糊神经网络的评价方法。以杭州市 28 条公交线路为研究对象,进行评价方法的实例分析。结果表明,所提方法能准确评价杭州公交线路速度等级。为杭州及其他城市公交线路速度等级评价提供了新的思路与方法。

**关键词:**T-S 模型系统;杭州公交;等级评价

**中图分类号:**P22

**文献标识码:**A

**文章编号:**2096-4390(2020)30-0014-02

目前,针对公交线路评价方法较多,谭英嘉等<sup>[1]</sup>利用 AHP 方法构建城市常规公交线路网评价指标体系。黄婷<sup>[2]</sup>等从乘客立场评价公交的时效性、安全性和舒适性等。吴瑶等<sup>[3]</sup>对西安、宝鸡和咸阳 3 个城市的公共交通进行了适应性评价。季珏等<sup>[4]</sup>使用了数据包络法分析了北京市六区交通综合效率。但是很少有专门针对公交线路速度等级的研究,同时为了解决公交线路等级评价中指标值与评价等级之间的非线性关系导致的评价不完善和评价整体性不强的问题<sup>[5]</sup>,本文提出了 T-S 模糊神经网络速度等级评价方法,并以杭州市 28 条公交线路为例对 T-S 模糊神经网络评价方法进行实例分析。证明了所提方法的准确性。

## 1 T-S 模糊神经网络

T-S 模糊神经网络结构是由前件网络和后件网络两部分组成。前件网络包括输入层、模糊化层、模糊规则计算层、归一化层<sup>[6-7]</sup>。后件网络又分为  $r$  个结构相同的子网,第一层为输入层,该层中第 0 个节点的输入值为 1,提供模糊规则后件中的常数项。第二层为隐含层,其共有  $m$  个节点,每个节点对应一条规则。第三层是输出层,用来计算网络的输出值,即公交线路速度等级评价。

T-S 模糊神经网络算法原理<sup>[8]</sup>:

第一步根据公式  $e = \frac{1}{2}(y_d - y_c)^2$  进行误差计算,式中  $y_d$  和  $y_c$  是期望输出和实际输出。

第二步,根据公式  $p_j(k) = p_j(k-1) - \alpha \frac{\partial e}{\partial p_j}$  和  $\frac{\partial e}{\partial p_j} = (y_d - y_c) \omega_j^i \sum_{i=1}^m \omega_i \cdot x_j$  进行所系数修正,式中  $p_j$  为网络系数, $\alpha$  为学习率, $x_j$  为输入参数, $\omega_i$  为输入参数隶属度连乘积。

第三步,根据公式  $c_j^i(k) = c_j^i(k-1) - \beta \frac{\partial e}{\partial p_j}$  和  $b_j^i(k) = b_j^i(k-1)$

$-\beta \frac{\partial e}{\partial p_j}$  进行参数修正。

## 2 基于 T-S 模糊神经网络的评价实验

### 2.1 数据采集与处理

本文分别取了 2019 年 4 月 26 日、8 月 9 日和 10 月 31 日为基准日,每条线路抽查 12 辆车,其中早中晚上下行各选 2 辆车,测算全线路全程运行速度,共采集到 1008 条数据,异常数据 27 条,有效数据 981 条。公交线路等级评价数据均来自实际测得数据,保证了原始数据的真实性。为了消除样本数据相差太大对网络训练造成影响,采用公式  $x'_j = (x_j - x_{j,\min}) / (x_{j,\max} - x_{j,\min})$  对输入数据进行归一化处理<sup>[9]</sup>,式中  $x_j$  为输入变量, $x'_j$  是变量归一化值, $x_{j,\min}$  是变量中的最小值, $x_{j,\max}$  是变量中的最大值。

### 2.2 网络构建、训练和测试

本文根据输入/输出的数据维数确定网络结构,由于输入数据维数为 6,输出数据维数为 1,因此输入节点为 6,输出节点为 1。本文通过经验公式  $l = \sqrt{m+n} + a$  和误差训练可知,隐含层神经元个数为 11 时误差最小、网络最优,因此构建的网络结构为 6-11-1。

综合考虑公交线路速度等级指标的影响因素,选用早高峰上/下行速度(V1/V2)、晚高峰上/下行速度(V3/V4)和平峰上/下行速度(V5/V6)6 项指标速度作为评价因子,对杭州市公交线路速度等级进行评价。在公交线路评价标准中,通过大量实测数据求平均值后,将速度等级从低到高分 5 类,并分别给出了相应的速度临界值。如表 1 所示。

在本研究中,以公交线路指标等级标准限值为依据,采用线性内插的方法扩充训练样本,进行网络训练和测试,设置网络训练次数为 1000 次,使用均方误差(MSE)表示网络误差值,设定期望误差值为 0.01,当训练结果均方误差小于该值时,认为网络训练效果较好,达到要求。误差变化趋势如图 1。

研究成果获得国家自然科学基金资助(基金编号:51741810,71871078);

浙江省自然科学基金资助(基金编号:LGG18E080005);

浙江省教育厅一般科研基金资助(基金编号:F703102J11)。

**作者简介:**张顺风(1991-),男,汉族,安徽宿州人,硕士研究生在读,研究方向:智能交通与无人驾驶。

**通讯作者:**李培庆(1987-),男,汉族,浙江杭州人,东南大学博士,浙江大学博士后,浙江科技学院硕士研究生导师,研究方向:智能交通与无人驾驶。

表 1 公交线速度路等级评价划分标准限值

指标	I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级
V1 (km/h)	(9.6, 12.0]	(12.0, 12.8]	(12.8, 16.0]	(16.0, 19.8]	(19.8, 60]
V2 (km/h)	(9.1, 11.7]	(11.7, 12.7]	(12.7, 14.5]	(14.5, 17.0]	(17.0, 60]
V3 (km/h)	(12.3, 14.7]	(14.7, 15.8]	(15.8, 18.5]	(18.5, 23.2]	(23.2, 60]
V4 (km/h)	(11.0, 14.1]	(14.1, 15.8]	(15.8, 18.4]	(18.4, 20.4]	(20.4, 60]
V5 (km/h)	(14.6, 16.6]	(16.6, 17.8]	(17.8, 19.4]	(19.4, 24.6]	(24.6, 60]
V6 (km/h)	(14.1, 16.0]	(16.0, 17.3]	(17.3, 18.7]	(18.7, 23.4]	(23.4, 60]

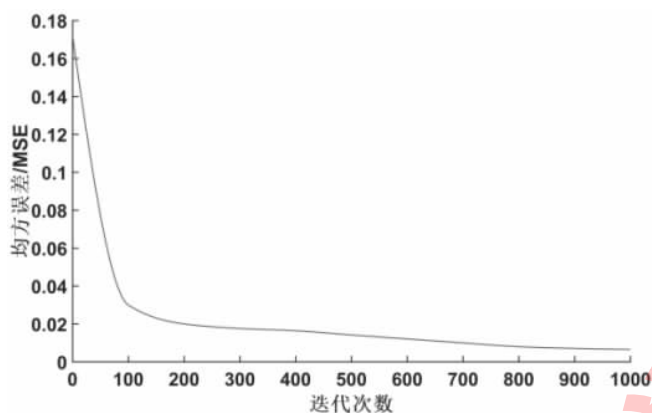


图 1 误差变化趋势图

根据图 1 所示,在网络训练过程中,随着迭代次数的增加,网络误差逐渐减小,在完成 1000 次迭代后,均方误差为 0.0066,小于 0.01,证明该 T-S 模糊神经网络训练结果较好,构建的评价模型准确可用,可以准确评价出公交线路速度等级。

### 2.3 实例验证

采通过训练好的 T-S 模糊神经网络,评价杭州市主城区 28 条公交线路速度等级。当评价值小于 1 时,速度等级为 I 级;当评价值大于 1 小于 2 时,速度等级为 II 级;当评价值大于 2 小于 3 时,速度等级为 III 级;当评价值大于 3 小于 4 时,速度等级为 IV 级;当评价值大于 4 时,速度等级为 V 级。评价结果中有 10 条公交线路为 IV 级,12 条公交线路为 III 级,6 条公交线路为 II 级。具体分析等级较低的 6 条线路,为后续线路优化调整提速参考。

通过 T-S 模糊神经网络评价结果可知,28 条线路中 55 路、20 路、86 路、17 路、290 路和 10 路六条线路评价等级是 II 级。实地研究考察等级较低的线路,发现 55 路、86 路和 290 路因轨道建设使专用车道长度缩短,车道数量减少,最终导致公交车辆运行速度下降;20 路公交因轨道建设使部分公交站点被围挡,从而出现车辆进站出现列车化、上下客拥堵现象,导致公交车辆运行速度降低;17 路和 10 路因轨道建设使运行线路出现大量曲线路段,线路非直线系数增加,导致公交车辆运行速度降低。

### 3 结论

随着城市的快速发展和轨道交通的规划建设,公交线路运行速度受到极大影响,所以准确对公交线路速度等级进行评价,

为后续优化提速奠定基础。因此提出一种基于 T-S 模糊神经网络的公交线路速度等级评价方法,实例验证表明该方法能快速准确的评价公交线路运行速度等级,为后期公交线路的优化提速提供理论支撑,也为一些城市快速评价公交线路速度等级提供了新的思路和方法。

### 参考文献

- [1]谭英嘉,郭莉.城市常规公交评价指标体系研究——以深圳为例[J].公路与汽运,2014(6):72-76.
- [2]黄婷,焦海贤,李秀丽,等.基于乘客观点的公交服务质量评价体系及方法研究[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2008(5):781-784.
- [3]吴瑶,陆建,邱红桐,等.基于 TOPSIS 模型城市常规公共交通适应性评价[J].交通信息与安全,2014,32(6):153-158,165.
- [4]季珏,高晓路,刘星辰.城市交通效率的多目标评价方法研究——以北京市城六区为例 [J]. 地理科学进展,2016,35(6):188-125.
- [5]周海贇,闫冬梅.基于 SSARX-NARX 模型的短时交通流预测[J].交通信息与安全,2019,37(4):89-95.
- [6]杨云,付彦丽.基于 T-S 模型模糊神经网络的 PM2.5 质量浓度预测[J].陕西科技大学学报,2015,33(6):162-166.
- [7]千思权,刘贺平,申祝江.一种改进型 T-S 模糊神经网络[J].控制工程,2005,12(5):442-445.
- [8]王小川,史峰,郁磊,等.MATLAB 神经网络 43 个案例分析[M].北京:北京航空航天大学出版社,2013.
- [9]韩红桂,邹晓丹,张璐,等.基于模糊神经网络的废旧手机价值评估方法[J].北京工业大学学报,2019,45(11):1033-1040.