

一种基于神经网络的路面养护决策方法

文辉龙

(株洲市交通局, 湖南 株洲 412000)

摘要: 提出一种基于神经网络的路面养护决策方法, 该方法根据路面损坏状况指数 PCI 、结构强度指数 SI 、行驶质量指数 RQI 和交通量 $AADT$ 等性能评价指标的隶属函数, 结合各种典型对策, 改善各性能指标的可行程度, 计算 PCI 、 SI 、 RQI 和 $AADT$ 评价指标, 然后利用这些评价指标, 建立一种路面养护决策的神经网络模型, 以获取最优的路面养护决策。

关键词: 路面养护; 神经网络; 路面养护决策优化

中图分类号: U418.6

文献标识码: A

文章编号: 1673-9833(2008)03-0017-03

Decision Method for Pavement Maintenance Based on Neural Network

Wen Huilong

(Zhuzhou Communication Bureau, Zhuzhou Hunan 412000, China)

Abstract: A decision method for pavement maintenance based on neural network is proposed. This method is used to compute different evaluating indicators as Pavement Condition Index (PCI), Structure Condition Index (SI), Riding Quality Index (RQI) and Annually Average Daily Traffic ($AADT$) in terms of their membership function combining with various classical strategies which aims at improving the feasibility of these indicators' performance. After that, a neural-network decision model of pavement maintenance is established according to these evaluating indicators in order to obtain an optimal decision of pavement maintenance.

Key words: pavement maintenance; neural network; optimal decision of pavement maintenance

随着公路建设的迅速发展, 高速公路里程日益增长。但由于交通流量增大、汽车轴载增重、交通渠化和行车速度提升等原因, 先期修建的高速公路相继出现了不同程度的路面破损, 许多路面急需养护维修。如何利用有限的资金来维护公路的服务水平和保证车辆的行驶质量, 如何处理大量复杂的信息, 以制定有效的养护决策, 这些都要求用系统、科学的方法, 协调和控制与道路相关的全部活动。目前, 国内通常依靠个人经验并参照道路养护决策历史, 制定满足各因素要求的养护方案, 但往往难以达到最优路面养护决策^[1,2]。本文提出一种基于神经网络的路面养护决策方法, 该方法首先根据性能评价指标的隶属函数, 结合各种典型对策, 改善各性能指标的可行程度, 计算 PCI 、 SI 、 RQI 和 $AADT$ 评价指标; 然后利用这些评价

指标建立一种路面养护决策的神经网络模型; 最后, 在依托工程中选择 30 个实验路段数据进行模拟实验, 获取了最优的路面养护决策。

1 人工神经网络

人工神经网络是根据人脑构造基本单元组成的系统, 以模拟人脑的形象思维过程而形成的一种较好的计算思维模型, 其特色在于信息的分布式存储和并行协同处理, 具有集体运算的能力和自适应的学习能力, 还有很强的容错性, 善于联想、综合和推广。

人工神经网络模型目前普遍采用的是 BP 神经网络^[3]。BP 网络由输入层、隐含层和输出层 3 层构成, 它是一单向传播的网络, 每一层的神经元只接受来自前

收稿日期: 2008-03-07

作者简介: 文辉龙 (1972-), 男, 湖南桃源人, 株洲市交通局工程师, 主要从事道路工程养护方面的工作。

一层神经元的信号，而同一层各神经元之间没有任何联系。当一对学习模式提供给网络后，神经元的激活值从输入层经各中间层向输出层传播，在输出层的各神经元获得网络的输入响应。在这之后，按减小希望输出与实际输出误差的方向，从输出层经各中间层逐层修正各连接权，最后回到输入层，故又称为“误差逆传播算法”。随着这种误差逆向传播修正的不断进行，网络输入模式响应的正确率也不断上升。

2 路面养护相关评价性能指标

2.1 养护决策

通常道路养护改建对策可分为日常养护、罩面和补强 3 类共 15 种方案^[4]。例如在依托工程实验路段 3 中，路况指数为良，结构强度为临界，行驶质量指数为不接受，交通量为重，第 10 号养护方案对各种性能指标的满足程度都为 10 分，相对第 11 号养护方案则可以节约成本，故采用第 10 号养护方案。

2.2 沥青路面使用性能评价标准

沥青路面使用性能评价标准参见文献[4]中的表 1 和文献[5]。

2.3 典型对策满足各性能指标的程度

文献[4]给出了各种典型对策改善各性能指标的可行程度（专家评价出的各对策的满意程度），其中：满分为 10 分，指该方案完全适用于该情况；最低分为 0 分，指该方案完全不适用于该情况。例如在依托工程实验路段 3 中，路况指数为良，第 9 号养护方案对该性能指标的满足程度为 4 分，第 10 号养护方案对该性能指标的满足程度为 10 分；结构强度为临界，第 9 号养护方案对该性能指标的满足程度为 3 分，第 10 号养护方案对该性能指标的满足程度也为 10 分。

设定 a_{ij} 是决策 i 在性能指标 j 下的系数矢量，即决策 i 对性能指标 j 下各个状态 k 的满足程度，则

$$a_{ij} = (a_{(i,j,1)}, a_{(i,j,2)}, \dots, a_{(i,j,k)}) \quad (1)$$

其中： $1 \leq i \leq 15$ ， $1 \leq j \leq 4$ ， $1 \leq k \leq d$ (d 是性能指标 j 的状态划分总数)。如 $a_{11}=(10,10,10,10,5,1)$ ， $a_{12}=(10,10,1)$ 。

3 基于神经网络的路面养护决策方法

3.1 计算隶属度

隶属度是指各种性能评价指标隶属于特定的评价等级的概率。

设 μ_j 是性能评价指标 j 的隶属度，则

$$\mu_j = \mu_{j1}, \mu_{j2}, \dots, \mu_{jk} \quad (2)$$

其中 $1 \leq j \leq 4$ ， $1 \leq k \leq d$ (d 是性能指标 j 的状态划分总数)，如：对于交通量 $AADT=2000$ 辆/昼夜，由其隶属函数求得其隶属度为： $\mu_4 = (0, 0.5, 0.5, 0)$ ，说明该路段交通量隶属于轻交通、中等交通、重交通、特重交通

的概率分别为 0、50%、50%、0。

3.2 获取指标系数

假设 x_{ij} 是决策 i 在性能指标 j 下的指标系数，即决策 i 对性能指标 j 的满足程度。根据隶属度 μ_j ($1 \leq j \leq 4$) 以及性能指标系数矢量 a_{ij} 来确定路面养护方案的指标系数，

$$x_{ij} = a_{ij} \cdot \mu_j \quad (3)$$

式中： i 为第 i 种决策， j 为第 j 种性能指标（分别为 PCI, SI, RQI, AADT）， $1 \leq i \leq 15$ ， $1 \leq j \leq 4$ 。

由式 (1)、(2) 可得，

$$x_{ij} = \sum_{k=1}^d a_{(i,j,k)} \mu_{jk} \quad (4)$$

其中 $1 \leq k \leq d$ (d 是性能指标 j 的状态划分总数)。如： $AADT=2000$ 辆/昼夜时， $\mu_4 = (0, 0.5, 0.5, 0)$ ，由文献[1]可查得 $a_{144} = (10, 10, 10, 10)$ ，故 $x_{144} = a_{144} \cdot \mu_4 = 10$ 。

3.3 构建 BP 网络模型

首先对性能指标系数 x_{ij} 进行如下变换，

$$\begin{cases} x_i = x_{ij} \\ k = (i-1) \times 4 + j \end{cases} \quad (5)$$

其中 $1 \leq i \leq 15$ ， $1 \leq j \leq 4$ ，然后构建如图 1 所示的 BP 网络模型，其中输入层结点有 60 个，隐含层结点有 40 个，输出层结点有 15 个，输出层的期望输出为

$$\hat{o}_i = \begin{cases} 1, & \text{如果决策 } i \text{ 是最优决策;} \\ 0, & \text{其余;} \end{cases}$$

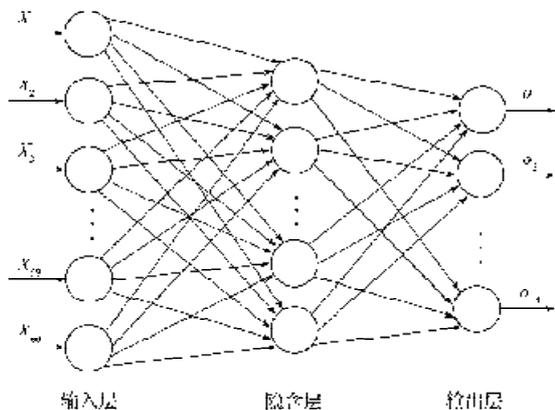


图 1 路面养护决策的 BP 网络模型

Fig. 1 BP network model of pavement maintenance

BP 网络按照如下步骤进行训练：

- Step 1. 网络初始化；
- Step 2. 输入第一个学习样本；
- Step 3. 求中间层的输入和输出，

$$x'_j = f \left(\sum_{i=1}^m w_{ij} x_i - \theta_j \right)$$

式中 f 是 Sigmoid 函数；

- Step 4. 求输出层的输出，

$$o_k = f \left(\sum_{j=1}^l w_{kj} x'_j - \theta_k \right)$$

Step 5. 计算输出层的误差,

$$\delta_i = o_i (1 - o_i) (o_i - o'_i);$$

Step 6. 计算中间层的误差,

$$\sigma_j = x'_j (1 - x'_j) \sum_k \delta_k w_{kj};$$

Step 7. 调整各层的误差,

$$\begin{cases} w_{ij} = w_{ij} + \eta \delta_i x'_j, \\ w_{jk} = w_{jk} + \eta \sigma_j x_k; \end{cases}$$

Step 8. 输入下一个学习样本。

在上述过程中, 首先规定训练次数和期望误差。当次数超过要求, 次数或误差达到期望值, 停止训练, 将结果储存。

3.4 实验路段路面养护决策

作为研究课题的依托工程, 考虑到路面损坏程度和平整度等因素, 在长潭高速公路上、下线选择 30 个实验路段, 路段长度为 30 000 m, 现场实测各试验路段的路面损坏状况指数 *PCI*、结构强度指数 *SI*、行驶质量指数 *RQI* 和交通量 *AADT* 等性能评价指标。

为了训练模型和对比模型的决策结果, 请 7 位专家对 30 个实验路段的路面养护给出维护对策, 选择最优的路面养护维护对策为实验路段的养护决策 (表 1), 然后, 通过本文提出的方法获取性能指标系数后输入神经网络程序进行训练, 选取隐层节点数为 40。由系统给出网络权值和阈值随机赋初值, 训练的次數设置为 2 000。

表 1 部分实验路段路面状况及养护方案

Tab. 1 Pavement information and maintenance method to a part of experimental highway

实验路段	路况指数 <i>PCI</i>	结构强度 <i>SI</i>	行驶质量指数 <i>RQI</i>	交通量 <i>AADT</i>	养护方案
1	优	足够	接受	中	2
2	优	临界	尚允许	重	3
3	良	临界	不接受	重	10
4	很差	不足	不接受	特重	15
5	中	临界	不接受	重	11
6	良	临界	尚允许	特重	4
7	差	临界	不接受	特重	6
8	优	足够	接受	中	2
9	很差	临界	不接受	重	7
10	优	足够	接受	轻	1

在所有的实验路段数据集上进行“3 折交叉检验”。将 30 个实验数据集平均分为成三部分, 每次挑选不同的一部分作为测试样本, 其余数据作为训练数据集训练提出的 BP 神经网络模型。重复测试过程 3 次, 直到每部分样本作为测试样本时为止。统计所有被正确决策的样本数, 并计算正确率。上述实验重复 10 次, 计算平均正确率, 表 2 中给出了所有的实验结果。

表 2 实验路段 BP 网络模型决策正确率

Tab. 2 Decision accuracy ratio for experimental highway with BP network model

测试实验路段位置	第一部分	第二部分	第三部分	所有实验路段
决策正确率 / %	94.6	92.8	97.3	94.9

从表 2 中可以看出提出的方法取得了很好的决策效果。

4 结论

根据性能评价指标的隶属函数, 提取了依托工程中路面损坏状况指数 *PCI*、结构强度指数 *SI*、行驶质

量指数 *RQI* 和交通量 *AADT* 等性能评价指标, 建立了路面养护决策的神经网络模型。通过对 30 个实验路段数据的分析实验, 证明了用该方法可以获取很好的路面养护决策。

参考文献:

- [1] 李明, 陈谦应, 彭克刚, 等. 路面管理系统发展综述[J]. 重庆交通学院学报, 2005, 24(3): 69-73.
- [2] 姚祖康, 孙立军, 胡东明, 等. 沥青路面评价与对策确定的专家系统[J]. 土木工程学报, 1991, 24(2): 28-36.
- [3] 王艳丽, 王秉纲. 应用人工神经网络预测路面使用性能[J]. 西安公路交通大学学报, 2001, 21(1): 42-45.
- [4] 谭明鹤, 杨增兴. 改进优劣系数法在路面管理系统对策分析中的应用[J]. 公路, 2001 (4): 16-20.
- [5] 黄文雄. 高速公路沥青路面使用性能评价指标[J]. 中外公路, 2003, 23(4): 74-76.

(责任编辑: 张亦静)