

文章编号: 1002-0268 (2001) 04-0028-03

基于神经网络的高速公路 沥青路面决策方法研究

李志刚¹, 刘新杰², 邓学钧³

(1. 解放军理工大学, 江苏 南京 210007; 2. 河北公路工程建设集团有限公司, 河北 石家庄 050011;
3. 东南大学, 江苏 南京 210096)

摘要: 针对高速公路行车特点, 利用神经网络理论建立高速公路沥青路面项目级智能综合决策模型, 在该模型中使用一种新型效用函数, 并应用于河北省京石高速公路养护工程。

关键词: 高速公路沥青路面; 神经网络决策; 效用函数

中图分类号: U416 217

文献标识码: A

Decision-making Models for Freeway Asphalt Pavements Based on Neural Network

LI Zhi-gang¹, LIU Xin-jie², DENG Xue-jun³

(1. PLA Xience-technology University, Jiangsu Nanjing 210007, China;
2. Hebei Highway-engineering Construction Ltd, Hebei Shijiazhuang 050011, China;
3. Southeast University, Jiangsu Nanjing 210096, China)

Abstract: Based on the characteristic of freeway riding and using the theory of ANN, a project decision-making model is established in which a new utility function was used. In addition, the model was applied to the maintenance project of the Hebei province.

Key words: Freeway; Asphalt pavement; Decision-making; ANN; Utility function

在路面养护管理系统的决策过程中, 有很多因素是难以定量确定的。如由于养护施工而造成交通延误, 路面状况改善对经济、政治、文化、环境的影响, 路面状况改善对军事、旅游发展的意义及路面改善对交通适应情况等。定量因素、定性因素共同作用于决策过程, 使系统决策问题有多个决策目标, 而不同目标之间具有一定的冲突性(如: 最小投资、最大效益)。如何科学地解决多目标决策问题, 制定合理的养护、改建投资政策和制定项目实施计划, 使养护效果最佳, 是公路养护管理部门正待研究和解决的问题。

基于上述原因, 本节引入效用函数概念, 通过建立神经网络决策模型, 合理分配权值, 将多个决策目标转换为一个无量纲的数量指标进行决策。

1 决策方法研究

1.1 效用函数的构成

设 $P = \{P_1, P_2, \dots, P_m\}$ 是被决策对象集, $Z = \{Z_1, Z_2, \dots, Z_n\}$ 是综合决策指标体系中的 n 个分指标, 它们具有不同的类型和量纲, 决策指标矩阵如下

$$X = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1n} \\ X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ X_{m1} & X_{m2} & \dots & X_{mn} \end{bmatrix}$$

式中, X_{ij} 代表的 i 个被决策对象的第 j 个分指标值。由于各分指标具有不同的量纲, 且类型不同, 故指标间具有不可共度性, 难以进行直接比较, 因此, 在综合决策前必须把这些分项指标按某种效用函数归一化到某一无量纲区。显然, 构造不同的效用函数将直接影响最终的决策结果, 可见效用函数的构造是十分重要的。

目前, 效用函数大多采用 $[0, 1]$ 区间方法, 这种转换方法存在 3 个问题: 一是有效转换区间缩短为

[a, b], 且 $1 > b > a > 0$; 二是当 X_{ij} 中出现次最小值远大于最小值时, 实际有效转换区间将进一步大大缩短, 严重影响转换精度; 三是 [0, 1] 方法在决策中不能体现奖优罚劣原则, (所谓罚是指对低于平均水平的分项指标, 其转换后效用函数值应为负数)。为此本文提出如下基于平均水平的效用函数。

记第 j 个分项指标的平均值为 \bar{Z}_j

$$\bar{Z}_j = \left(\sum_{i=1}^m X_{ij} \right) / m, \quad j=1, 2, \dots, n \quad (1)$$

设中间变量

$$M_{ij} = \frac{X_{ij} - \bar{Z}_j}{\bar{Z}_j} \quad (2)$$

将原始指标值 X_{ij} 按公式转化到区间上的效用函数值 Y_{ij}

$$Y_{ij} = \frac{1 - e^{-M_{ij}}}{1 + e^{-M_{ij}}} \quad (3)$$

从式(3)可以看出, 当原始值大于平均值时, 经转换后其效用函数值大于 0。原始值越大, 效用函数值越大; 当原始值是 4 倍以上的平均值时, 效用函数值接近“饱和”。这样处理的好处是为了防止某一分项指标效用函数值过大, 从而左右整个综合指标。同样, 当原始值小于平均值, 该项分指标效用函数不仅不能加分, 相反还要扣分, 因此其效用函数值取负。

1.2 基于神经网络的多指标决策原理

人工神经网络是由大量被称为神经元的节点构成的系统。典型的人工神经元模型如图 1 所示。

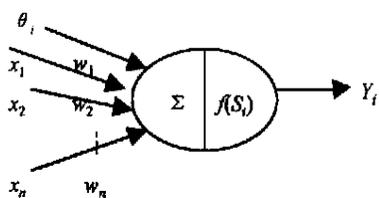


图 1 人工神经元模型

$$S_i = \sum_{j=0}^n W_{ij} \times X_j \quad (X_0 = \theta_i, \quad W_{i0} = -1)$$

$Y_i = f(S_i) = \frac{1}{1 + e^{-S_i}}$
其中 θ_i 为阈值, W_{ij} 称为连接权系数, $Y_i = f(\cdot)$ 为变换函数。

本文取如图 2 所示的 BP 三层网络为多指标综合决策网络模型。第一层为输入层共有 n 个节点, 分别输入经效用函数转化后的第 i 个被评对象的各分项指标效用函数值; 第二层为隐节点层, 隐节点数没有统一的规则, 根据具体对象而定; 第三层为输出层, 只有一个节点代表第 i 个被评对象的综合效用值。

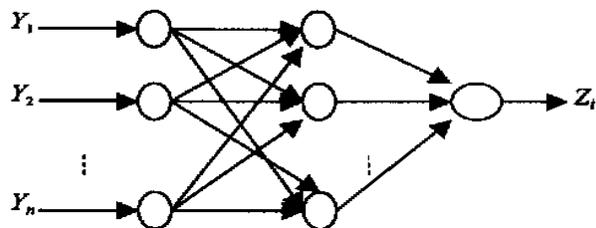


图 2 用于多指标综合决策的 3 层 BP 神经网络

设给定的输入输出样本 $Y(i) = \{Y_{i1}, Y_{i2}, \dots, Y_{in}\}$, $Z(i) = \{Z_1, Z_2, \dots, Z_m\}$, 利用该样本对 BP 网络的连接权系数进行学习和调整, 以使该网络实现给定的输入输出关系。已经证明 3 层 BP 网络可以实现多维单位立方体 R^m 到 R^n 的映射^[1] (多目标决策问题本质上是 R^m 输入到 R^1 输出的映射), 其结果是令人信服的, 它克服了人为确定权重的困难及模糊性、随机性的影响, 这是一种智能综合决策方法。

2 高速公路沥青路面项目决策模型建立

2.1 决策状态集和对策集构成

由于高速公路沥青路面层由沥青混凝土构成, 用于一般等级公路的某些养护对策在此就不适合 (如表处、上拌下贯), 根据河北省近几年维修罩面工程实践和国外有关资料显示^[2], 拟定主要的高速公路沥青路面养护对策如表 1 所示。

高速公路养护对策

表 1

编号	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
措施	日常养护维修	局部挖补	局部刨铣	3cm 罩面	4cm 罩面	5cm 罩面	6cm 罩面	8cm 补强	10cm 补强	稀浆封层	磨耗层
估价 (1998)	0.5 万元/km	1.66	2.03	7.49	12.85	15.5	19.28	25.71	32.14	1.79	4.06

注: A 对策估价单位为万元/km, 其余对策估价单位为万元/km·m

在路面养护决策中, 路面状态可用路面性能指标来表示, 本文采用 4 个指标较完整地反映路面状况。由于高速公路在设计标准、材料选用、施工水平均比一般等级公路要高得多, 且目前国内的高速公路绝大多数为半刚性基层, 强度较高; 另一方面高速公路交

通量大车速高, 对行车舒适性和安全性比一般等级公路提出了更高的要求, 所以在一般情况下, 路面功能性能先出现不足。基于上述考虑, 将 4 个指标排序, 遵照养护规范的要求对这些指标分级并作适当修改^[3], 且因高速公路路况为中等就需进行中修, 所以

每个指标分成两等, 如表2所示。

有了路面状态信息, 不但可以对路面当前的使用状况有个正确评价, 而且针对不同状态分别制定养护

对策可以增加决策的可信度, 减少决策的复杂性和决策主观(经验)、客观(决策方法)带来的误差。

路面状态集

表2

SSI	PCI	RQI	SFC	状态	性能描述	建议对策
≥1.0	≥70	≥7.0	≥0.4	1	各指标均符合要求, 状况良好	A
≥1.0	≥70	≥7.0	<0.4	2	抗滑性能不足	K或J
≥1.0	≥70	<7.0		3	平整性能不足 舒适性不好	B, C, D, E, F, G, J组合
≥1.0	<70			4	路面破损较严重	
<1.0				5	强度不足	B, C, H, I, J组合

2.2 指标体系的建立

公路养护对策的合理选择首先要考虑到路面状态, 即各项使用性能指标满足使用要求的程度, 要依据不适应的方面和程度选择相应的对策, 反映到经济效益上, 既要投入最少的资金, 又要求用户费用最节省。也就是最佳养护对策由若干个定量、定性的经济性能效益指标来综合体现。净现值法把费用和效益联系在一起, 并用单一的现值表示, 能给出总收益的回答; 年值法是将各个方案分析期内不同时间支出的各项费用, 转化成每年等额支出的费用进行比较, 对寿命期不等的备选方案, 使用年值法可以使方案之间具有可比性, 弥补了其它指标这方面的不足; 效益费用比反映了单位费用的效益, 比净现值能更好地反映投资的“效率”, 有较强的对比性。模型采用这3种工程经济分析方法, 可以相互弥补各自的不足, 综合反映项目的经济特征。

一般情况下, 用于神经网络训练的样本要求较高, 应是性质相近的数据, 否则会提高训练难度影响精度, 甚至可能出现不出训练结果的情况, 即神经网络不是万能的。同时为能综合反映各个备选措施的优劣, 引入效用这个一般性的数量指标将各个备选方案在各因素下的优劣程度用效用值来描述, 形成神经网络较易训练的样本, 得到可信的训练结果, 确定项目养护方案。

对某一项目而言, 采取什么样的养护措施, 决策者考虑的因素及备选措施列于表3中。表中指标和养护措施并非唯一, 决策者可根据实际情况增减指标和备选措施, 其中养护措施标号代表具体养护对策, 可参考表2所列建议对策。

2.3 多指标综合效用函数

对定量指标, 可按参考文献中的相应公式进行计算得出指标值^[4]。而定性指标值常采用“优、差、大、小”等模糊概念来反映, 所以可以采用隶属度来转换为定量指标值。隶属度可直接按专家经验法求得。

在多指标条件下通过与决策者对话构造综合效用

决策指标集

表3

指标	养护措施编号				
	1	2	3	4	5
定量指标					
1 净现值 NPV	X_{11}	X_{21}	X_{31}	X_{41}	X_{51}
2 费用年值 AC	X_{12}	X_{22}	X_{32}	X_{42}	X_{52}
3 效益费用比 BRC	X_{13}	X_{23}	X_{33}	X_{43}	X_{53}
定性指标					
4 对交通荷载适应程度	X_{14}	X_{24}	X_{34}	X_{44}	X_{54}
5 对路况改善程度	X_{15}	X_{25}	X_{35}	X_{45}	X_{55}
...				

函数有较大的困难, 参考文献[5]采用了加权平均的方法, 问题是权重系数由决策者定, 多少带有主观性和随机性。为了克服权重确定的困难, 弱化人为因素, 1.2节中所述原理是解决这个问题的有效途径之一。

2.4 模型建立步骤

(1) 利用1.1节所述方法求出某种可能养护对策的各分项指标效用值 x_i , 作为输入样本;

(2) 随机地给出全部权值和神经元的阈值, 给出假定输出值 y_0 (一般可取平均值);

(3) 利用1.2节变换函数, 计算实际输出

$$y_i = f\left(\sum_{i=0}^n w_i x_i\right) \quad i=1, 2, \dots, n; \quad (4)$$

(4) 从输出层开始, 将误差信号沿连接通路方向反向传输, 通过修正权值使误差最小

$$w_i(i+1) = w_i(i) + \eta \hat{q}_i$$

$$\hat{q}_i = y_i(1-y_i)(y_0-y_i) \quad (5)$$

其中, η 为增益项, \hat{q}_i 为 i 节点的误差项, y_0 为输出初值, y_i 为当前输出值;

(5) 如 $y_i > y_0$, 则令 $y_0 = y_i$;

(6) 重复步骤(3) ~ (5) m 次 ($m \geq 1000$);

(7) 如 $|y_i - y_0| \leq \epsilon$ (ϵ 为任意很小数), 则输出结果, 否则回到(3);

(8) 重复以上7步, 算出每种养护对策的最大综合效用值, 其中最大值对应的对策即为最佳对策。

(下转第39页)

基础上,东南大学智能运输系统研究中心和江苏省高速公路建设指挥部联合开发了高速公路工程质量管理计算机辅助系统,并在江苏省九五国道主干线公路建设中进行了应用,包括连徐高速公路、沂淮高速公路、淮江高速公路、汾灌高速公路等,涉及到徐州、宿迁、淮阴、连云港等城市。

首先,系统自动进行质量评定计算,并生成相应的质量管理报表,减轻了管理人员的负担。本系统自动生成的报表主要包括质量评定报表和质量跟踪报表,报表格式根据交通部规范以及江苏省高速公路建设质量管理工作中实际使用的报表进行设计,较好地适应了现实情况的需求。

其次,通过加快质量数据在省市两级管理部门之间的传输,辅助管理人员及时掌握建设质量情况,保证建设质量满足要求。在省市两级管理部门之间,质量管理数据通过计算机广域网进行传输,在省市两级管理部门内部,质量数据通过计算机局域网进行共享,这样,实现了质量管理数据在全省范围内的实时传输,达到了提高数据利用率的目的。

7 结语

采用数据库技术和计算机网络技术进行高速公路

质量管理,一方面利用计算机的快速计算功能和报表功能减轻了管理人员的工作强度,另一方面通过加快实际质量数据在施工现场和管理机构之间的传输,保证了高速公路建设的质量,是提高高速公路工程质量管理水平的有效技术手段。江苏省开发的高速公路工程质量管理计算机辅助系统在江苏省高速公路建设中的应用表明了计算机在工程管理领域具有广阔的应用前景。

参考文献:

- [1] 全国监理工程师培训教材编写委员会. 工程建设监理概论. 北京: 中国建筑工业出版社, 1997.
- [2] 全国监理工程师培训教材编写委员会. 工程建设质量控制. 北京: 中国建筑工业出版社, 1997.
- [3] 江苏省高速公路建设指挥部. 国道主干线(江苏境)高速公路文件选编(1-5), 1997-1999.
- [4] 薛华成. 管理信息系统. 北京: 清华大学出版社, 1993.
- [5] 宋翰涛, 梁允荣. 关系数据库原理与系统. 北京: 北京理工大学出版社, 1991.
- [6] 陈佳. 信息系统开发方法教程. 北京: 清华大学出版社, 1997.
- [7] 施泊乐, 何继潮, 崔靖. 关系数据库的理论及应用. 郑州: 河南科学技术出版社, 1988.

(上接第30页)

3 应用实例

今有河北省京石高速公路徐水以北130km段需维修罩面,该施工段路况为平整不符合要求($RQI=6.3$),某些路段路面破损较严重,总体路况指数符合要求。用本文所述方法对该工程所用养护对策做了决策分析,结果如表4所示,方案2即为最佳对策。分析过程如下:

涿州至徐水高速公路养护对策决策分析结果 表4

指标(经式(3)计算后的效用值)	养护对策(参见表2)			
	B, D, J	E, J, B	F, J, C	G, J, C
净现值 NPV	0.58	0.86	0.7	0.72
费用年值 AC	0.53	0.82	0.68	0.71
效益费用比 BRC	0.56	0.74	0.62	0.66
对交通荷载适应程度	0.23	0.30	0.32	0.36
对路况改善程度	0.24	0.31	0.33	0.34
综合效用值	0.49	0.74	0.63	0.66

按参考文献[4]中的相应公式进行计算得出各对策的净现值、费用年值和效益费用比(以4cm罩面对策为例,不考虑用户费,为13.8万元/ $\text{km}^2\cdot\text{m}$ 、1.7万元/ $\text{km}^2\cdot\text{m}$ 、11.9万元/ $\text{km}^2\cdot\text{m}$),用公式(1)~公式

(3)算出效用值,组成训练样本,得到如表4所示的训练结果。正如2.2节所述,经过转化的指标值组成的训练样本满足神经网络的要求,训练结果是可靠的。

4 结语

1. 构造评价高速公路沥青路面最佳养护对策指标体系,引入效用的概念,综合考虑各指标间的影响,建立了以神经网络为理论基础的智能决策模型。

2. 该模型在实际中得到了验证,说明了这种理论模型在工程应用上的可行性。

参考文献:

- [1] 焦李成. 神经网络计算. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1993; 38-44.
- [2] Finnish National Road Administration. Infrastructure Management System. Final Report. 1993.
- [3] 中华人民共和国交通部. 公路养护技术规范(JTJ 073-96). 北京: 人民交通出版社, 1996.
- [4] 潘玉利. 路面管理系统原理. 北京: 人民交通出版社, 1998; 211-218.
- [5] 周伟, 颜英秋. 公路养护管理系统的决策方法研究. 中国公路学报, 1999, 12(3): 35-38.