

基于利益相关者多方满意的城市交通 PPP 项目特许价格调整模型研究

汪文雄^{1,2}, 李启明²

(1. 华中农业大学 土地管理学院 湖北 武汉 430070; 2. 东南大学 建设管理与房地产研究所, 江苏 南京 211189)

摘要:合理的特许价格是城市交通基础设施 PPP 项目健康可持续发展的关键, 仅从私营机构角度考虑投资者利益对特许价格进行调整缺乏科学性。鉴于此, 文章从利益相关者多方满意角度, 选取了城市交通基础设施 PPP 项目特许价格调整影响因素, 利用遗传算法和神经网络优势互补原理构建了特许价格调整模型, 并运用该模型对某城市地铁 PPP 项目特许价格调整进行了实证研究, 结论表明基于利益相关者多方满意的遗传优化改进型 BP 网络模型计算的特许价格调整结果精度较高, 该方法科学合理可行。

关键词:利益相关者; 城市交通基础设施; PPP 模式; 特许价格

中图分类号: **文献标志码:**A **文章编号:**1008-5831(2010)03-0051-08

一、引言

改革开放以来, 随着经济高速发展中国城市化水平不断提高, 基础设施供给不足与需求快速增长的矛盾日益突出。未来几年, 中国仅在城市轨道交通及隧道基础设施方面投资将达 6 000 多亿元, 而中国是发展中国家, 财政实力不够雄厚, 城市基础设施项目的需求和政府资金不足的矛盾催生了 PPP (Public-Private Partnership) 融资模式的引入。对于日益增长的交通基础设施的需求, 政府独立投资存在资金缺乏和效率低下的问题, 而民间投资只追求利润而忽视社会效益, 通过 PPP 模式联合政府公共部门 (Public) 和私营机构 (Private) 二者共同建设, 可共享利益、共担风险。然而, 国内外 PPP 项目的理论与实践证明特许价格是 PPP 项目成功的关键因素之一, 也是公共工程管理领域迫切需要解决的问题。国内外学者对 PPP 项目特许价格调整进行了有益的研究。Prianka 和左庆乐在价格调整中主要考虑的是通货膨胀和与通货膨胀有关的年调整率^[1-2]。Littlechild 的 PRI-X 模型在通货膨胀率的基础上考虑了生产效率增长。叶苏东在 BOT 项目的价格调整中进一步考虑了汇率风险、资本回收指数、需求变化和原材料价格变化等风险调整因素, 并提出上述因素超过一定范围才予以调整^[3]。王灏提出了轨道交通运营初期采用投资回报率模型确定起始票价, 保证社会投资者的投资回报率; 而在近期和远期, 随着市场的不断深化, 为对运营企业形成有效激励, 可采用最高限价管制调价模型, 并针对北京轨道交通票价进行了实证研究^[4-5]。陈爱国、卢有杰提出了效率、可持续发展、公平和激励

收稿日期: 2009-05-26

基金项目: 国家自然科学基金项目(50878049); 国家住房和城乡建设部软科学课题(07-R3-1)

作者简介: 汪文雄(1974-), 男, 华中农业大学土地管理学院讲师, 博士, 主要从事建设项目管理与房地产研究; 李启明(1963-), 江苏南京市东南大学建设管理与房地产研究所所长, 博士生导师, 主要从事建设项目管理与房地产研究。

欢迎访问重庆大学期刊社 <http://qks.cqu.edu.cn>

的基础设施 PPP 项目特许价格调整原则, 及以售价、销售收入和税后利润为基础的三种价格调整方式^[6]。赵立力、黄庆和谭德庆针对基础设施 BOT 项目设计了一个限制性价格调整机制, 即在规定的价格调整次数和调整上限的约束条件下, 以利润最大化为目标, 以求得最优的价格调整时机和对应的调整幅度^[7]。杨卫华在考虑运营期风险因素条件, 提出了基于 NPV 的价格调整模型^[8]。上述研究仅从 PPP 项目私营投资者角度出发考虑了投资者利益, 而从 PPP 项目的其他利益相关方——公众和政府角度考虑较少, 适用于准经营性 PPP 项目, 对地铁(轻轨)等公益性较强的交通基础设施 PPP 项目特许价格调整有一定的局限性。鉴于此, 笔者将从利益相关者多方满意角度出发选取特许价格调整需考虑的因素, 同时为避免各因素权重确定存在着极大主观性, 提出了基于利益相关者多方满意的遗传优化 BP 网络城市轨道交通基础设施 PPP 项目特许价格调整模型。

二、遗传优化改进型 BP 网络模型

(一) BP 神经网络的基本原理

前向反馈神经网络 (Back-Propagation Neural Network, 即 BP 网络) 一般由一个输入层、一个输出层和一个或多个隐含层组成, 同层节点间无关联, 异层节点间前向连接。输入层位于网络的最底层, 其神经元接受外界的信息; 隐含层是位于网络的中间层, 其神经元接受其他神经元传递来的信息, 进行加权平均后根据激活函数产生输出信息按网络的拓扑结构传递给下一层神经元; 输出层位于网络的最高层, 其神经元把信息传递到环境中去。BP 神经网络学习过程由信号的正向传播与误差的反向传播两个过程组成, 信号正向传播中网络的连接权值和阈值固定不变, 而信号反向传播是通过误差信号的反馈对网络的连接权值和阈值进行修正。总之, 这种信号正向传播与误差反向传播的各层权值和阈值调整过程是周而复始的, 网络的连接权值和阈值不断调整的过程就是网络的学习训练过程, 采用梯度搜索技术, 使网络的实际输出值与期望输出值的误差均方值达到最小。BP 网络实质上实现了一个从输入到输出的映射功能, 这使得它具有特别适合于求解内部机制复杂问题的优点, 还具有自学习能力、一定的推广和概括能力的优点^[9]。但 BP 网络也存在着易形成局部极小而得不到全局最优、训练次数多使得学习效率低、收敛速度慢等缺陷^[9-10]。

(二) 改进型 BP 神经网络

为了解决 BP 网络的上述缺陷, 笔者在国内外文献研究的基础上采取改进激活函数、修正学习率和引入动量项等方法改进 BP 网络^[9-10]。

函数。BP 网络常用的激活函数是 Sigmoid 函数 $\varphi(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$, 为了对每次迭代过程权值进行修正, 以加快网络的收敛过程, 可对激活函数加以改进, 改进后激活函数为

$$\varphi'(x) = \begin{cases} 1 - \varepsilon & x > \ln(1 - \varepsilon) - \ln \varepsilon \\ \varepsilon & x < \ln \varepsilon - \ln(1 - \varepsilon) \\ \frac{1}{1 + e^{-x}} & \text{其他} \end{cases}$$

式中 ε 是一个很小的接近于 0 的常数。(2) 修正学习率。实践中合适的学习率的确定很难, 学习率太小使训练次数增加, 学习率太大将导致权值调整量增大, 引起网络来回振荡, 合适学习率的确定可以采用自适应法改变学习率: 设初始学习率 η , 若经过一批次权值调整后, 总误差增大, 则说明本次权值调整无效, 学习率按表达式 $\eta' = \theta\eta (\theta > 0)$ 继续调整权值。(3) 引入动量项。BP 网络在接近最优解时, 容易引起来回振荡致使收敛速度慢, 可引入动量项以减小网络学习过程的振荡, 加速网络的收敛, 避免网络收敛于局部最小值。引入动量项为 $\Delta w_{ij}(n) = \alpha\Delta w_{ij}(n-1) + \eta\delta_j(n)v_i(n)$, 式中 $\Delta w_{ij}(n)$ 和 $\Delta w_{ij}(n-1)$ 分别为第 n 次和 $n-1$ 次迭代的权重调节量; $\delta_j(n)$ 为第 n 次迭代的局部梯度; $v_i(n)$ 为第 n 次迭代中单元的输入信号; α 为动量项, 通常是正数, 取值范围为 0 ~ 1 之间。

(三) 遗传优化改进型 BP 网络的方法

BP 算法由于在非线性的优化上采用了传统的无约束最小化方法, 使得网络在训练过程中可能陷入误差性能函数的局部最小值而找不到全局最优解。此外, BP 算法在网络结构设计中, 对隐层的神经元数和初始连接权的确定等问题还没有有效的理论指导与解决办法, 只能靠设计者根据经验通过多次实验选取, 具有很大的随机性, 这也可能导致网络陷入局部极小值。而遗传算法是基于生物进化原理可用于复杂系统优化计算的鲁棒搜索算法, 因具有使用概率搜索技术、同时使用多个搜索点并以目标函数作为搜索信息的特点, 使得它可以在全局解空间内的多个区域内寻求最优解, 避免了陷入局部极小点。因此, 用遗传算法来优化 BP 网络既可利用 BP 算法的非线性映射能力、网络推理和预测功能, 又利用了遗传算法的全局优化特征, 从而使优化后的 BP 网络具有全局自学习、自组织、自适应和自进化的能力^[12-13]。

优化神经网络的连接权值及拓扑结构。具体可首先确定网络连接权值与阈值的可能范围,在此范围内随机产生一组分布,并采用某种编码方案对其进行编码,然后选择适应度函数值最大的个体遗传给下

代,利用选择、交叉和变异等遗传算子进行进化操作,产生新的子代。重复上述操作不断优化网络权系数和阈值,直到满足训练条件。具体流程如图 1 所示。

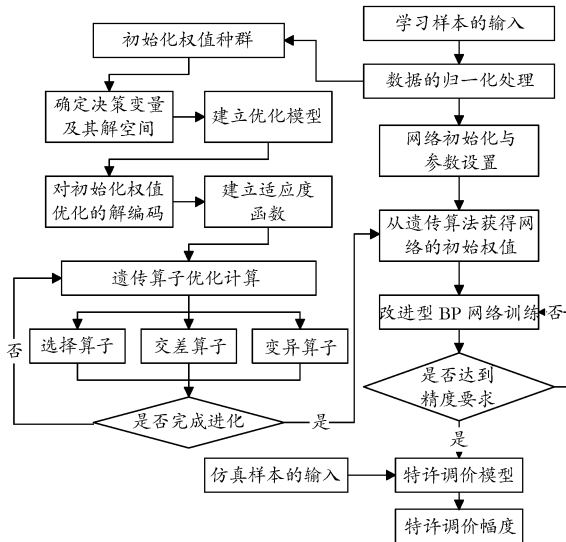


图 1 遗传改进型 BP 网络的流程

三、基于利益相关者多方满意的特许价格调整影响因素的选择

城市交通基础设施 PPP 项目特许经营期较长,在此过程中其外部环境将会发生变化,PPP 项目特许价格也应随着环境变化作适当调整。城市交通基础设施 PPP 项目特许价格变化是经济因素、社会因素、市场竞争因素及法律因素等共同作用的结果。首先,经济因素是影响特许价格变化的直接原因,如利率变化、汇率变化、通货膨胀与物价指数变化都可能导致项目经营成本的变化,进而通过 PPP 项目运营阶段的支出来影响特许价格变化;其次,影响 PPP 项目特许价格的社会因素主要包括公众承受能力、政府定价目标及政府补贴能力,社会因素是通过影响 PPP 项目利益相关方——政府及公众来影响其价格的变化;再次,市场竞争因素是影响特许价格又一方面因素,主要包括竞争项目的增加、竞争项目价格变化等;最后,影响特许价格变化的法律因素主要包括法律体系完善程度、法律/法规标准变化、监管体制完善程度以及特许权协议条款变化等,这些因素通过对 PPP 项目的经济因素、社会因素及市场竞争因素来影响项目特许价格变化,是影响特许价格变化的间接因素。

城市交通基础设施 PPP 项目特许价格的调整实

际上是政府根据地方的财政收入和补贴能力来调整私营投资者和公众之间的分配关系。私营机构投资是为了获取利润,当 PPP 项目环境发生变化后,投资者只能分担特许协议约定的风险,而约定范围之外的风险由政府分担或通过价格调整方式由公众承担。从 PPP 项目的利益相关方——私营投资者 (PPP 项目公司) 角度出发,价格调整过程中政府应以不损害项目的生存能力前提,并考虑投资者的合理利润,确保项目的可持续发展;从 PPP 项目的利益相关方——公众角度出发,特许价格增长应从公众的收入水平和消费结构变化情况出发,充分考虑公众的承受能力;从 PPP 项目的利益相关方——政府角度出发,价格调整过程中应考虑项目的准公共产品特性,在政府财政收入和补贴能力允许情况下,通过价格调整增加社会的总体福利及缓解交通压力。总之,特许价格调整过程中应综合权衡,使 PPP 项目投资者、公众和政府三方达到满意。笔者基于利益相关者多方满意、多因素综合考虑、特许协议、可操作性等原则选取了 13 个特许价格调整影响因素 (表 1)。从表 1 所列的因素可以看出,这 13 项因素从不同侧面考虑了政府、公众和私营投资者 (PPP 项目公司) 三方的利益。

表1 城市交通基础设施 PPP 项目特许价格调整影响因素、定义及取值

因素代码	因素名称	因素描述	指标值
X_1	贷款利率	银行3~5年期的贷款利率	贷款利率值
X_2	汇率	外币兑换人民币的官方汇率	汇率值
X_3	国内生产总值	PPP项目所在地区年国内生产总值	国内生产总值
X_4	消费价格指数	PPP项目所在地区居民消费价格指数	消费价格指数值
X_5	人均可支配收入	PPP项目所在地区城镇居民年人均可支配收入	人均可支配收入值
X_6	人均消费性支出	PPP项目所在地区城镇居民年人均消费性支出	人均消费性支出值
X_7	人均交通支出	PPP项目所在地区城镇居民年人均交通支出	人均交通支出值
X_8	财政收入	PPP项目所在地区年财政收入	财政收入值
X_9	政府定价目标	政府对该PPP项目的定价目标	
X_{10}	法律/法规等变化导致项目收入增加	法律/法规等变化导致项目收入增加	收入增加值
X_{11}	监管体制变化导致项目收入增加	监管体制变化导致项目收入增加	收入增加值
X_{12}	竞争项目数量	竞争项目增加,现有的竞争项目数	竞争项目数
X_{13}	地区人口	PPP项目所在地区的年常住人口	常住人口数

四、基于遗传优化改进型 BP 网络的 PPP 项目特许价格调整模型实证研究

(一)某城市地铁 PPP 项目特许价格调整影响因素的指标值

某城市 1988 年采用 PPP 模式建设了地铁 2 号线,线路长 30 公里。分别在 1991 年、1994 年、1996 年、1998 年、2000 年、2002 年、2004 年、2007 年和 2008 年进行了 9 次地铁 PPP 项目票价调整,各次的调整后价格分别是 0.3 元、0.5 元、2 元、2.5 元、3 元、2.5 元、2 元、1.5 元和 1.2 元。上述 9 次价格调整的各影响因素指标值及调整后价格如表 2 所示,

表中 $X_1 \sim X_{13}$ 分别代表每次价格调整时当地的贷款利率、汇率、国内生产总值、消费价格指数、人均可支配收入、人均消费性支出、人均交通支出、财政收入、政府定价目标、法律/法规等变化导致项目收入增加、监管体制变化导致项目收入增加、竞争项目数量、地区人口共 13 个影响因素的指标值, Y 代表调整后特许价格。选取前 7 次特许价格调整采用遗传优化改进 BP 网络进行训练,然后把后两次价格调整的指标数据输入到训练好的网络中进行特许价格调整仿真。表 2 中的数据为原始数据,对数据归一化后如表 3 所示。

表2 地铁 PPP 项目特许价格调整的指标数据

价格调整 因素	特许价格调整的网络学习样本							特许价格调整的 仿真样本	
	第 1 次 1991 年	第 2 次 1994 年	第 3 次 1996 年	第 4 次 1998 年	第 5 次 2000 年	第 6 次 2002 年	第 7 次 2004 年	第 8 次 2007 年	第 9 次 2008 年
X_1	12.06	12.06	12.06	9.36	6.12	5.85	5.31	5.58	6.84
X_2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
X_3	1 067	1 334	1 615	2 011	2 478	3 212	4 283	7 870	90 065
X_4	93	96	111.6	120.3	125.3	127.1	128.6	131.7	135.3
X_5	4 328	5 843	7 332	8 471	10 349	12 463	15 637	19 977	21 989
X_6	2 187	3 619	5 019	6 970	8 493	10 284	12 200	14 825	16 756
X_7	38.76	56.86	154.56	161.12	230.39	684.36	808.67	1 232.07	1 278.67
X_8	78	98	150.9	262	398.4	534	744	1 117.20	1 492.60
X_9	4	4	2	2	1	2	2	3	3
X_{10}	1	1	-30%	-40%	-40%	-40%	-40%	-40%	-40%
X_{11}	1	1	-20%	-30%	-50%	-40%	-30%	-10%	1
X_{12}	1	1	1	1	1	2	3	3	3
X_{13}	997	1 052	1 071	1 085.5	1 099.8	1 122.3	1 454	1 538	1 633
Y	0.3	0.5	2	2.5	3	2.5	2	1.5	1.2

表 3 归一化后的地铁 PPP 项目特许价格调整指标数据

价格调整 因素	特许价格调整的网络学习样本						特许价格调整的 仿真样本		
	第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 5 次	第 6 次	第 7 次	第 8 次	第 9 次
	1991 年	1994 年	1996 年	1998 年	2000 年	2002 年	2004 年	2007 年	2008 年
X_1	1	1	1	0.2	-0.76	-0.84	-1	-0.92	-0.546 7
X_2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X_3	-1	-0.994	-0.987 7	-0.978 8	-0.968 3	-0.951 8	-0.927 7	-0.847 1	1
X_4	-1	-0.858 2	-0.120 6	0.290 8	0.527 2	0.612 3	0.683 2	0.829 8	
X_5 1		-1	-0.828 4	-0.659 8	-0.530 8	-0.318 2	-0.078 8	0.280 7	0.772 2
X_6 1		-1	-0.803 4	-0.611 2	-0.343 4	-0.134 3	0.111 5	0.374 6	0.734 9
X_7 1		-1	-0.970 8	-0.813 2	-0.802 6	-0.690 9	0.041 4	0.241 9	0.924 8
X_8	-1	-0.971 7	-0.896 9	-0.739 9	-0.547 0	-0.355 3	-0.058 4	0.469 2	1
X_9	1	1	-0.333 3	-0.333 3	-1	-0.333 3	-0.333 3	0.333 3	0.333 3
X_{10}	1	1	-0.857 1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
X_{11}	1	1	-0.6	-0.733 3	-1	-0.866 7	-0.733 3	-0.466 7	1
X_{12}	-1	-1	-1	-1	-1	0	1	1	1
X_{13}	-1	-0.827	-0.767 3	-0.721 7	-0.676 7	-0.606 0	0.437 1	0.701 3	1
Y	-1	-0.851 9	0.259 3	0.629 6	1	0.629 6	0.259 3	-0.111 1	-0.333 3

(二) 遗传优化改进型 BP 网络模型结构的设计

遗传算法中目标函数采用改进的 De Jong 函数

$$f(\Delta x) = \sum_{j=1}^{N \text{ var}} \sum_{i=1}^{N \text{ ind}} (x_{i,j}^{\text{sample}} - x_{i,j}^{\text{chrom}}), \text{ 其中 } \min x_{i,j}^{\text{sample}} \pm \Delta x_{i,j}^{\text{chrom}} \leq \max x_{i,j}^{\text{sample}} \pm \Delta (\Delta \text{ 为设定区分值}), \text{ 控制着遗传算法优化样本与初始样本的相似程度}^{[12]}. \text{ 从理论上讲, De Jong 函数在 } 0 \text{ 处有全局最优解, 全局最优解 } 0 \text{ 处表示遗传优化权值与初始权值误差平方和最小, 即最相似; 随着 } f(\Delta x) \text{ 的增大相似性变差, 该目标函数主要是定义遗传优化权值与初始权值的距离, 一定的距离代表着一定的差异, 最好的权值实际上并不一定是最小的距离, 而应该是适当的距离. 适应度评价函数采用分级方法 (linear-ranking)}^{[12-13]}. \text{ Kosmogorov 理论证明, 三层 BP 网络可以逼近任何复杂的非线性函数, 与一个隐含层相比, 用两个隐含层的网络训练并不能提高预测的精度. 因此, 本地铁 PPP 项目特许价格调整模型采用三层 BP 网络建模, 即输入层、隐含层和输出层. 输入层和输出层的神经元个数按实际需要确定, 即输入层神经元有 13}$$

个, 输出层神经元有 1 个。隐含层神经元个数根据经验公式 $n = \sqrt{n_1 + n_2} + a$ 计算, 式中 n 、 n_1 和 n_2 分别为隐含层神经元个数、输入层神经元个数、输出层神经元个数, a 为 1 ~ 10 之间的常数。通过经验公式计算, 隐含层神经元个数取值范围是 4 ~ 13。激活函数选用改进后激活函数 $\varphi'(x)$, 用动量 BP 算法训练网络, 分别由上述 10 种隐含层节点数确定的模型进行试算, 发现隐含层节点 n 取 11 时网络模型的精度较高。

(三) 参数确定与遗传优化改进型 BP 网络的训练

在设计的改进型 BP 网络结构基础上, 利用遗传算法优化改进型 BP 网络的初始权值和阈值。选取遗传算法的参数初始种群数 M 、交叉概率 P_c 、变异概率 P_m 、初始权值取值范围、终止进化代数 K_{\max} 等。将优化后的初始权值和阈值带入 BP 网络中, 同时在训练模型中引入动量项加速网络收敛, 选取 BP 网络的参数网络训练次数 N 、目标精度 (δ)、学习速率 (η) 等。选取的遗传算法和 BP 网络的参数如表 4 所示。

表 4 遗传算法与 BP 网络参数选择

遗传 算法	参数	初始种群数	交叉概率	变异概率	初始权值	终止进化	各代间隔
		(M)	(P_c)	(P_m)	取值范围	代数(K_{\max})	
	数值	50	0.9	0.1	(-1.0, 1.0)	100	1
BP 网络	参数	层数	网络训练	目标精度	学习速率		
			次数(N)	(δ)	(η)		
	数值	3	500	0.000 01	0.01		

将地铁 PPP 项目特许价格调整数据分为两部分,前 7 次数据作为网络的训练样本,后 2 次作为仿真样本。遗传优化改进型 BP 网络可采用 MATLAB 与 C 语言混合编程,在 Windows XP 平台上基于 MATLAB7.40 实现。应用遗传算法经过 100 代优化,得到全局最优网络权重,采用遗传改优化进 BP 网络经过 194 次迭代达到了误差标准,网络训练和仿真的结果见图 2,该方案中神经网络的训练误差收敛曲线、遗传算法误差收敛曲线及 GA-BP 方案中网络适应函数收敛曲线分别见图 3、图 4 及图 5 所示,将上述的训练和仿真结果分别整理后与实际结果比较如表 5 和表 6 所示。若采用 BP 网络,可直接用 MATLAB7.40 软件神经网络工具箱进行训练,经过 350 次的学习达到了误差标准,其训练和仿真的结果见图 6,模型训练误差收敛曲线如图 7 所示,将上述的训练和仿真结果分别整理后与实际结果比较如表 5 和表 6 所示。

从表 5 可以看出,遗传优化改进型 BP 网络训练结果的精度要高于 BP 网络计算的结果。经过遗传算法改进的 BP 网络训练的输出值平均相对误差为 0.714%,而 BP 网络训练的输出值平均相对误差为 6.875%。显然,经过遗传算法改进的 BP 网络输出值的平均相对误差较小,而 BP 网络输出值平均相对误差和离散程度都较大。

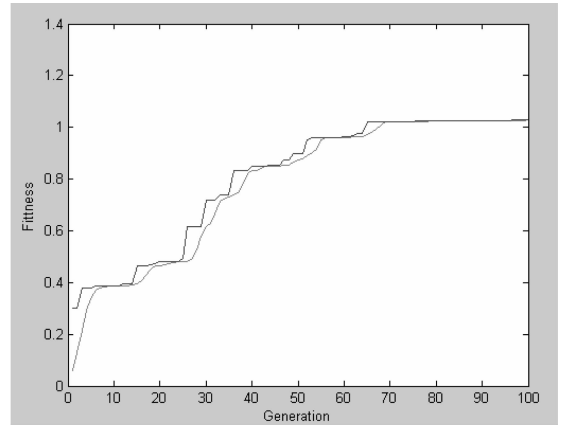


图 4 遗传算法适应函数收敛曲线

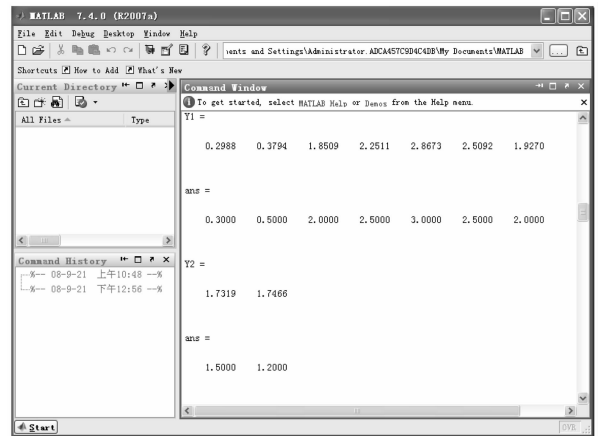


图 5 GA-BP 方案中网络训练误差收敛曲线

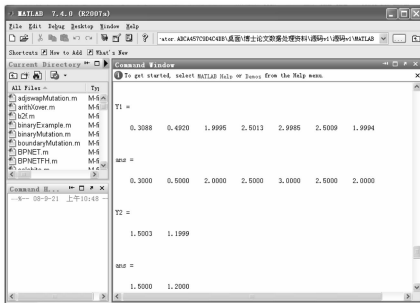


图 2 采用 GA-BP 方案仿真的结果

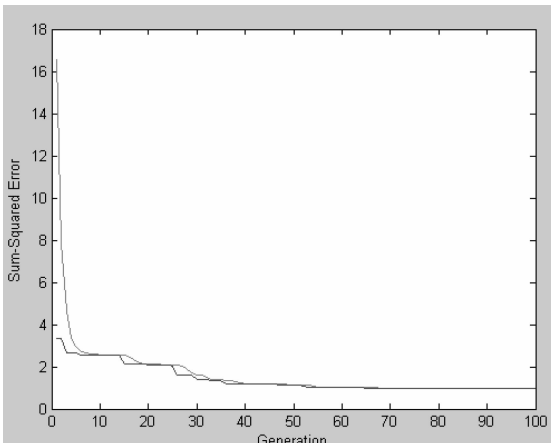


图 3 遗传算法误差收敛曲线

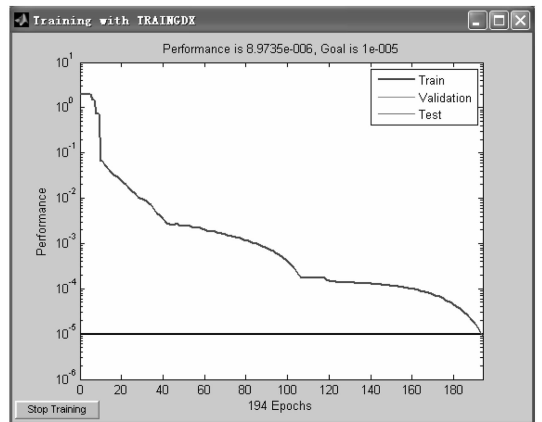


图 6 采用 BP 方案仿真结果

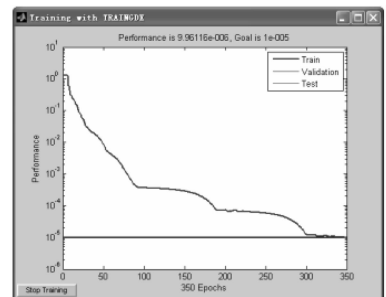


图 7 BP 方案中网络的训练收敛情况

表5 GA-BP 网络及 BP 网络的训练结果与实际价格调整的比较

价格调整次数	训练结果(元)		期望输出(元)	相对误差(%)	
	GA-BP 网络	BP 网络		GA-BP 网络	BP 网络
第1次(1991年)	0.308 8	0.298 8	0.3	2.93	0.400
第2次(1994年)	0.492 0	0.379 4	0.5	-1.60	24.120
第3次(1996年)	1.999 5	1.850 9	2.0	-0.30	7.455
第4次(1998年)	2.501 3	2.251 1	2.5	0.05	-9.956
第5次(2000年)	2.998 5	2.867 3	3.0	-0.05	-4.423
第6次(2002年)	2.500 9	2.509 2	2.5	0.04	-0.368
第7次(2004年)	1.999 4	1.972 0	2.0	0.03	-1.400

(四)地铁 PPP 项目的价格调整仿真及结论分析

通过训练好的遗传优化改进型 BP 网络模型及 BP 网络模型,分别对地铁 PPP 项目在 2007 年和 2008 年的 2 次价格调整进行仿真,即将表 3 中的地铁 PPP 项目特许价格变化的影响因素值输入到训练好的网络中,就可以得到 2007 年和 2008 年两次价

格调整的仿真结果(表 6)。从表 6 可知,用遗传优化改进型 BP 网络仿真得到的结果与实际价格调整值间的平均相对误差为 0.014%,用 BP 网络仿真得到的结果与实际价格调整值间的平均相对误差为 30.51%。结果表明:采用遗传算法优化 BP 网络仿真得到的价格调整值精度较高,该方法科学可行。

表6 GA-BP 网络及 BP 网络的仿真结果与实际价格调整的比较

价格调整次数	预测结果(元)		期望输出(元)	相对误差(%)	
	GA-BP 网络	BP 网络		GA-BP 网络	BP 网络
第8次(2007年)	1.500 3	1.731 9	1.5	0.020	15.46
第9次(2008年)	1.199 9	1.746 6	1.2	-0.008	45.55

五、结论

笔者从利益相关者多方满意角度,选取了城市交通基础设施 PPP 项目特许价格调整影响因素,利用遗传算法和神经网络优势互补原理构建特许价格调整模型,运用该模型对某城市地铁 PPP 项目特许价格调整进行了实证研究,结论表明运用该模型计算的价格调整结果精度较高。较高的价格调整精度表明笔者选取的指标合理,模型可靠度高,在理论与实践应用方面有重要意义。

参考文献:

- [1] PRIANKA N S, MALIK R. Transportation Infrastructure Financing: Evaluation of Alternatives [J]. Journal of Infrastructure Systems, 1997 (3):111-118.
- [2] 左庆乐. 收益现值法评估公路收费权的模型选择与参数测定[J]. 西安公路交通大学学报, 1999(3):51-54.

- [3] Ye S D, Tiong R L K. The effect of concession period design on completion risk management of BOT project [J]. Construction Management and Economics, 2003, 21 (5): 471-482.
- [4] 王灏. 公私合作模式下的城市轨道交通票价管制政策研究[J]. 百家论坛, 2004(5):1-4.
- [5] 王灏. 地铁公私合作模式运作中的票价政策研究[J]. 都市轨道交通, 2004(5):12-15.
- [6] 陈爱国, 卢有杰. 基础设施 PPP 的价格调整及风险分析 [J]. 建筑经济, 2006(3):20-23.
- [7] 赵立力, 黄庆, 谭德庆. 基础设施 BOT 项目的产品价格调整机制研究[J]. 预测, 2006(2):74-77.
- [8] 杨卫华. 基于风险分担的高速公路 BOT 项目特许定价研究[D]. 大连理工大学, 2007.
- [9] 杨建刚, 神经网络实用教程[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 2001.

- [10] HSU K, GUPTA H V, SORROSHIAN S. Artificial neural network modeling of the rainfall-runoff process [J]. *Water Resources*, 1995, 31(10): 2517–2530.
- [11] 覃光华, 李祚泳. BP网络过拟合问题研究及应用[J]. *武汉大学学报(工学版)*, 2006(12): 55–58.
- [12] 周明, 孙树栋. 遗传算法原理及应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 1999.
- [13] 王小平, 曹立明. 遗传算法——理论、应用与软件实现[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2002.

The Concession-Price Adjustment Model for PPP-Type Urban Transportation Projects with the Aim of Meeting all Stakeholders' Interests

WANG Wen-xiong¹, LI Qi-ming²

(1. School of Land Management, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, P. R. China;

2. Institute of Construction Management and Real Estate, Nanjing 211189, P. R. China)

Abstract: Reasonable concession-price is critical for the healthy and sustainable development of urban transportation infrastructure project (UTIP) under Public-private partnership (PPP) model. Instead of considering only the private investor's interests, all stakeholders' interests should be taken into consideration in the determination of concession price. Therefore, some influential factors for the concession-price adjustment of UTIP under PPP model are selected and a concession-price adjustment model applying GA-BP method is established, which is an improvement to the BP neural network method using genetic algorithms so as to make full use of their advantages of respective method. The relevant empirical research is carried out for a subway project in a city and with the conclusion that this new concession-price adjustment model improves the precision of the result of calculation and therefore is more scientific, reasonable and feasible.

Key words: all stakeholders' interests; urban transportation infrastructure projects; public-private partnership model; concession-price

(责任编辑 傅旭东)