

基于最小二乘支持向量机的地震安全社区经济评价研究

王海飙, 孙汝男

(东北林业大学 土木工程学院, 哈尔滨 150040)

摘要:近几年地震频繁发生,为有效预防地震灾害,我国对防震减灾工作越来越重视,大力推进地震安全社区的建设,同时,对地震安全社区的经济性评价也要求更科学、客观和准确。首先对地震安全社区经济指标进行了分析,建立了地震安全社区经济评价指标体系。为提高经济评价的精确性,避免评价过程中的主观性,选择采用粒子群优化最小二乘支持向量机(PSO-LS-SVM)模型对地震安全社区进行经济评价,建立了评价模型。实证分析表明,该模型的评价结果与地震安全社区实际经济情况极为接近,可用于地震安全社区的经济评价。

关键词:地震安全社区;经济评价;粒子群优化;最小二乘支持向量机

中图分类号:F407.9 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2018)12-0101-05

地震作为一种自然现象它本身并不是灾害,但当它达到一定强度,发生在有人类生存的空间,且人们对它没有足够的抵御能力时,便造成灾害。我国地震活动频度高、强度大、震源浅、分布广,是一个震灾严重的国家。近几年发生的地震震惊寰宇,汶川地震造成经济损失8451.4亿元,死亡人数69197人;青海玉树7.1级地震经济损失260亿元,死亡人数2698人;四川雅安7.0级地震造成经济损失1693.58亿元,死亡人数186人^[1]。而2015年5月30日日本小笠原群岛地区发生的8.0地震,零伤亡;2016年11月13日新西兰南岛中部发生的8.0级地震造成两人死亡等等。纵观地震灾害事实不难看出,我国的防灾减灾与国外相比还存在差距,防震减灾工作刻不容缓。

安全社区的概念是世界卫生组织于1989年在瑞典首都斯德哥尔摩举行的第一届国际预防事故和伤害大会上提出^[2]。为做好地震工程防灾减灾工作,我国在此基础上提出了地震安全社区的概念。地震安全社区科学地提高建筑抗震能力、综合提升建筑防灾减灾水平,有效减少了地震造成的灾害损失。地震安全社区并非单个抗震建筑的集合,而与普通建设小区从设计规划等方面具有明显特殊性,可以有效提高整体防灾水平,大幅度减少震害及财产损失,具有明显

的经济性特征。现阶段,地震安全社区还处于发展阶段,科学有序推动地震安全社区的管理和建设,其经济性评价对地震安全社区的发展推广最为重要。

1 构建地震安全社区经济评价指标体系

1.1 建立评价指标的原则

根据《地震安全示范社区管理暂行办法》(中震发[2012]33号)中规定的地震安全社区管理规范,以及在建设中始终本着因地制宜、先易后难、分布推进的建设原则,多举措并举齐抓共管的建设方法和社会参与的动力机制,结合建立评价指标的一般原则,本文建立地震安全社区经济评价指标应满足以下原则。

1) 科学合理性。评价指标的选取要有科学的依据,坚持科学合理的原则,才能获取可靠、客观的信息,才能得到可信的评价结果。

2) 系统优化性。建设地震安全社区涉及到规划设计、工程施工、后期管理等阶段的各个环节,是一个相互影响的整体系统,某一个指标都不能单独对它进行评价。因此,应从整体出发,选取全生命周期内所涉及各类相关指标,进行综合评价。

3) 直观代表性。指标的选取要求概念明确、定义清楚,且具有直观性、代表性,能反映地震安全社区的建设、管理及实际状况,在保证科学全面的前提下尽量简化,可量化。

收稿日期:2018-09-12

作者简介:王海飙(1973—),男,辽宁抚顺人,东北林业大学土木工程学院,副教授,博士,研究方向:建设工程经济与项目管理。

1.2 建立经济评价指标体系

为了科学准确的对地震安全社区进行经济评价,结合地震安全社区的特点和建设标准,依照建立指标体系的上述原则,根据效益划分方法,搜集和参考大量文献,将其划分为三个层次,从社会效益、经济效益

和环境效益等三个方面,包括 13 项指标对地震安全社区进行评价,归纳整理得到以下地震安全社区效益评价指标体系,同时给出与普通社区相比的各评价指标评分标准,如表 1。

表 1 地震安全社区评价指标体系

目标层	一级指标	二级指标	评分标准(与普通社区相比)
地震安全社区经济评价指标体系	经济效益 U_1	建筑主体结构工程费用 U_{11}	建筑主体结构工程费、规划设计费、应急体系建设费用、日常维护管理费用、失效损失费用:0~20 大幅度提高;20~40 略有提高;40~60 基本不变;60~80 略有减少;80~100 大幅度减少
		规划设计费 U_{12}	
		应急体系建设费用 U_{13}	
		日常维护管理费用 U_{14}	
		失效损失费用 U_{15}	
	社会效益 U_2	保障生命安全 U_{21}	保障生命安全可靠性:0~20 非常不可靠;20~40 不可靠;40~60 无明显变化;60~80 可靠;80~100 非常可靠
		构建和谐社区 U_{22}	对构建社区和谐、产业发展、技术进步、可持续发展的推动效果:0~20 效果非常差;20~40 效果较差;40~60 无明显变化;60~80 效果较好;80~100 效果非常好
		相关产业发展 U_{23}	
		相关技术进步 U_{24}	
		促进可持续发展 U_{25}	
	环境效益 U_3	灾后环境恢复力 U_{31}	灾后环境恢复力:0~20 非常差;20~40 较差;40~60 一般;60~80 较好;80~100 非常好
		震后环境污染 U_{32}	震后环境污染:0~20 污染严重;20~40 污染较严重;40~60 一般;60~80 污染较轻;80~100 基本无污染
		社会环境资源 U_{33}	社会环境资源:0~20 浪费严重;20~40 略有浪费;40~60 无明显变化;60~80 略有节约;80~100 大幅度节约

2 LS-SVM 原理

目前用于系统评价的理论方法不断发展,包括层次分析法(AHP)、模糊综合评价法(FCE)、数据包络分析法(DEA)、物元分析法、人工神经网络(ANN)等。AHP 方法易于操作,但评价指标不宜过多;FCE 方法克服了传统数学方法的单一性,简单易行,但是没有统一的方法确定隶属函数,评价过程中主观判断性较强;DEA 方法无需指标权重,不受决策者主观影响,但是样本大小的限制性太强;ANN 在评价中不用考虑输入因子之间的权重,受主观因素影响小,但其评价结果精度不高,应用范围有一定的局限性。近几年,机器学习和人工智能在解决人工识别困难的问题上取得了较大进步,许多学者将支持向量机(SVM)应用于评估、预测等领域中。为了提高经济评价的精确性,避免评价过程中受决策者主观影响,本文在 SVM 的基础上,提出一种最小二乘支持向量机(LS-SVM)理论,将其应用于地震安全社区的经济评价中,建立基于 LS-SVM 的地震安全社区经济评价模型,科学、客观地评价建设地震安全社区的经济合理性。

支持向量机^[3](Support Vector Machine, SVM)

是 Cortes 和 Vapnik 在 1995 年首先提出的,是一种基于结构风险最小化原理建立的算法,它的数学推导严谨,理论基础坚实,并具有全局最优和较好的泛化能力。但传统的支持向量机是使用经典的二次规划方法确定模型参数,编程复杂,且收敛速度慢,难以应用于大型问题。本文所选择的 LS-SVM 方法,在 SVM 优化过程中将优化指标采用了平方项,将二次规划问题转变成了求解线性方程组问题,减少了训练时间,提高了收敛速度和精度。

用于函数评估的 LS-SVM 模型,将优化问题描述为:

$$\min = \frac{1}{2} \|\omega\|^2 + C \sum_{i=1}^N \xi^i \tag{1}$$

$$\text{约束条件为: } y_i = \omega \cdot \varphi(x_i) + b + \xi, i = 1, 2, \dots, n \tag{2}$$

其中, $\xi \geq 0$ 为估计误差; $C > 0$ 为惩罚变量,是模型的设计系数。

将非线性估计函数转化为高维空间上的线性回归函数,再通过核函数 $K(x_i, x)$ 的引入得到最终函数模型:

$$f(x) = \sum_{i=1}^N \alpha_i K(x_i, x) + b \quad (3)$$

其中, $\alpha_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, N$ 为拉格朗日乘子; b 为分类阈值。

常用的核函数 $K(x_i, x)$ 包括线性函数、多项式核函数、径向量函数、多层感知器函数、B 样条核函数等。本文采用径向基 RBF 核函数, 即:

$$K(x_i, x) = \exp[-|x - x_i|^2 / \sigma^2] \quad (4)$$

其中, σ 为核函数宽度。

综上所述, C 和 σ 是 LS-SVM 模型中需要调整的两个重要参数, 决定了模型的训练精度和泛化性能。目前用于这些参数选取的方法包括正交法、蚁群算法、粒子群算法、遗传算法等。本文采用粒子群算法对参数 C 和 σ 优选取值。

3 建立 LS-SVM 地震安全社区经济评价模型

建立 LS-SVM 地震安全社区经济评价模型的步骤如下:

1) 样本选取及归一化处理。根据以往研究经验, 采用支持向量机方法所需要的样本数量大多数选择 20—60 个, 对样本的要求相对宽松, 但至少保证所选择的样本有相同的种类和目的, 基本概况类同等。按照本文建立的地震安全社区评价指标体系, 将所选择的地震安全社区的实际情况按照一定标准进行量化打分, 得到评价模型的原始数据。从选择的样本中随机选择一部分作为训练样本, 一部分作为测试样本。如本文可以选择 20 个地震安全社区按照建立的评价指标体系进行百分制打分, 分数越高, 经济性越好。其中, 可以选择 13 个作为训练样本, 7 个作为测试样本, 即待评价样本。

为避免各指标的衡量单位不同, 同时为了加快数据训练的收敛速度, 提高收敛精度, 本文需要对原始数据做归一化处理, 得到归一化样本数据。采用的归一化方法为:

$$x = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (5)$$

2) LS-SVM 模型参数优选。由于本文采用的是径向基 RBF 核函数, 建立地震安全社区经济评价模型。因此对 LS-SVM 模型中需要优选的是惩罚参数 C 和核函数宽度 σ 。本文采用粒子群算法进行参数优选, 其具体步骤如下:

第一步, 设定算法参数。包括群体规模, 即粒子数, 粒子维度, 迭代的最大次数, 粒子群的更新速度和位置为:

$$V_{i,d}(t+1) = \omega V_{i,d}(t) + c_1 r_1 [P_{i,d}(t) - X_{i,d}(t)] + c_2 r_2 [P_{g,d}(t) - X_{i,d}(t)] \quad (6)$$

$$X_{i,d}(t+1) = X_{i,d}(t) + V_{i,d}(t) \quad (7)$$

其中, $V_{i,d}(t)$ 为第 i 个粒子在 t 时刻的空间速度; $X_{i,d}(t)$ 为第 i 个粒子在 t 时刻的当前位置; $P_{i,d}(t)$ 为单个粒子 i 本身的最优解; $P_{g,d}(t)$ 为整个种群的最优解; ω 为惯性权重因子; c_1, c_2 为加速因子, 一般在 $(0, 2)$ 取值; r_1, r_2 为随机函数, 一般在 $(0, 1)$ 之间。

第二步, 计算每个粒子速度和位置更新后的适应度。将每个粒子的当前适应度与其历史最优值比较, 如果当前适应度最优, 则将粒子当前的位置作为粒子的最优位置; 否则, 继续使用历史最优位置。

第三步, 同时将每个粒子的当前适应度与全局最优位置进行比较, 如果粒子的自身最优位置比群体最优位置适应度高, 则将粒子的最优位置作为群体的最优位置; 否则, 群体最优位置保持不变。

第四步, 检查是否满足算法终止条件, 即达到预设的最大迭代次数或最优位置非常好, 则终止迭代, 输出当前适应度对应的全部最优解; 否则返回到第二步继续进行迭代。

3) 样本训练。用得到的 C 和 σ 参数值作为 LS-SVM 模型的设计参数, 借助 Matlab 的 LS-SVM 工具箱, 用选取的训练样本进行 LS-SVM 模型的训练与学习。

4 实证分析

1) 样本选取与归一化处理。在全国多个地区实地选取 20 个有相对代表性的地震安全社区作为研究对象, 根据建立的地震安全社区评价指标体系, 邀请专家对每一个地震安全社区的这些经济指标打分。

根据专家意见将地震安全社区按照本文建立的经济评价指标体系进行量化打分, 并参照表 1 中的评分标准, 对地震安全社区的每个经济评价指标进行打分; 将经济评价的最终结果划分为极好、较好、一般、较差和极差五个等级, 分别为 V、IV、III、II、I 级。其中随机选取 13 个社区为训练样本, 7 个为测试样本。其原始数据结果见表 2, 将样本的原始数据做归一化处理, 归一化后的样本数据见表 3。

2) 参数优选。设定粒子数为 20, 粒子维度为 2, 迭代最大次数为 200, 惯性权重因子 $\omega = 1$, 加速因子为 $C_1 = 2$ 和 $C_2 = 2$ 。利用粒子群算法得到最优参数, 惩罚参数 $C = 87.3692$, 核函数宽度 $\sigma = 2.1753$ 。将优选出的 C 和 σ 带入 LS-SVM 模型, 利用 Matlab 对前 13 组数据进行训练, 得到基本的地震安全社区经济评价模型, 利用该模型对其余 7 组数据进行预

测,得到预测值与实际值的拟合图,如图1。

3)仿真结果。由预测结果可以看出,利用LS-SVM评价模型对地震安全社区的经济性进行评价,

得到的第14~20个测试样本的评价等级分别是III、V、V、IV、II、IV、I,由图1中的对比可以看出,其预测等级与实际等级基本一致。

表2 地震安全社区原始样本数据

样本	U_{11}	U_{12}	U_{13}	U_{14}	U_{15}	U_{21}	U_{22}	U_{23}	U_{24}	U_{25}	U_{31}	U_{32}	U_{33}	等级
1	85	59	65	84	95	98	95	93	94	91	95	91	93	V
2	79	42	49	80	90	85	83	88	90	88	87	83	83	III
3	75	40	42	79	80	84	80	80	83	80	83	84	80	I
4	78	56	51	80	91	90	90	91	93	92	95	92	89	V
5	88	60	62	85	90	93	95	91	95	90	98	93	90	V
6	74	54	50	79	92	90	90	88	89	87	91	89	86	IV
7	87	64	63	88	97	94	98	95	99	94	97	95	96	V
8	75	47	42	84	85	89	86	89	88	90	90	87	87	III
9	72	43	41	81	88	87	89	86	90	86	90	90	85	IV
10	81	68	59	82	93	91	93	90	98	92	93	96	95	V
11	86	52	53	79	90	91	92	95	96	93	92	90	92	V
12	82	51	49	81	90	90	91	88	90	90	90	90	89	IV
13	79	42	44	74	84	85	84	82	87	84	87	86	81	II
14	71	48	42	73	89	87	85	86	89	84	89	89	86	III
15	73	61	50	83	94	95	90	94	90	90	95	91	94	V
16	80	58	54	77	95	93	93	92	95	94	92	92	90	V
17	76	49	53	75	91	93	88	90	92	90	93	92	90	IV
18	73	50	46	78	87	87	82	84	84	78	85	85	85	II
19	80	50	52	75	90	91	89	85	91	89	93	86	89	IV
20	72	44	43	70	83	82	82	83	85	82	85	87	84	I

表3 地震安全社区归一化样本数据

样本	U_{11}	U_{12}	U_{13}	U_{14}	U_{15}	U_{21}	U_{22}	U_{23}	U_{24}	U_{25}	U_{31}	U_{32}	U_{33}	等级
1	0.823 5	0.678 6	1	0.777 8	0.882 4	1	0.833 3	0.866 7	0.687 5	0.812 5	0.8	0.615 4	0.812 5	V
2	0.470 6	0.071 4	0.333 3	0.555 6	0.588 2	0.187 5	0.166 7	0.533 3	0.437 5	0.625	0.266 7	0	0.187 5	III
3	0.235 3	0	0.041 7	0.500 0	0	0.125	0	0	0	0.125	0.0000	0.076 9	0	I
4	0.411 8	0.571 4	0.416 7	0.555 6	0.647 1	0.5	0.555 6	0.733 3	0.625	0.875	0.8	0.692 3	0.562 5	V
5	1	0.714 3	0.875 0	0.833 3	0.588 2	0.687 5	0.833 3	0.733 3	0.75	0.75	1	0.769 2	0.625	V
6	0.176 5	0.500 0	0.375 0	0.500 0	0.705 9	0.5	0.555 6	0.533 3	0.375	0.562 5	0.533 3	0.461 5	0.375	IV
7	0.941 2	0.857 1	0.916 7	1	1	0.75	1	1	1	1	0.933 3	0.923 1	1	V
8	0.235 3	0.250 0	0.041 7	0.777 8	0.294 1	0.437 5	0.333 3	0.6	0.312 5	0.75	0.466 7	0.307 7	0.437 5	III
9	0.058 8	0.107 1	0	0.611 1	0.470 6	0.312 5	0.5	0.4	0.437 5	0.5	0.466 7	0.538 5	0.312 5	IV
10	0.588 2	1	0.750 0	0.666 7	0.764 7	0.562 5	0.722 2	0.666 7	0.937 5	0.875	0.666 7	1	0.937 5	V
11	0.882 4	0.428 6	0.500 0	0.500 0	0.588 2	0.562 5	0.666 7	1	0.812 5	0.937 5	0.6	0.538 5	0.75	V
12	0.647 1	0.392 9	0.333 3	0.611 1	0.588 2	0.5	0.611 1	0.533 3	0.437 5	0.75	0.466 7	0.538 5	0.562 5	IV
13	0.470 6	0.071 4	0.125 0	0.222 2	0.235 3	0.187 5	0.222 2	0.133 3	0.25	0.375	0.266 7	0.230 8	0.062 5	II
14	0	0.285 7	0.041 7	0.166 7	0.529 4	0.312 5	0.277 8	0.4	0.375	0.375	0.4	0.461 5	0.375	III
15	0.117 6	0.750 0	0.375 0	0.722 2	0.823 5	0.812 5	0.555 6	0.933 3	0.437 5	0.75	0.8	0.615 4	0.875	V
16	0.529 4	0.642 9	0.541 7	0.388 9	0.882 4	0.687 5	0.722 2	0.8	0.75	1	0.6	0.692 3	0.625	V
17	0.294 1	0.321 4	0.500 0	0.277 8	0.647 1	0.687 5	0.444 4	0.666 7	0.562 5	0.75	0.666 7	0.692 3	0.625	IV
18	0.117 6	0.357 1	0.208 3	0.444 4	0.411 8	0.312 5	0.111 1	0.266 7	0.062 5	0	0.133 3	0.153 8	0.312 5	II
19	0.529 4	0.357 1	0.458 3	0.277 8	0.588 2	0.562 5	0.5	0.333 3	0.5	0.687 5	0.666 7	0.230 8	0.562 5	IV
20	0.058 8	0.142 9	0.083 3	0	0.176 5	0	0.111 1	0.2	0.125	0.25	0.133 3	0.307 7	0.25	I

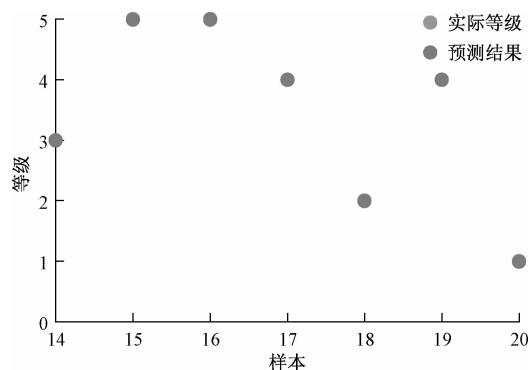


图1 实际等级与预测结果拟合图

5 结论

1) 本文从经济效益、社会效益和环境效益三个方面出发,建立了地震安全社区经济评价指标体系,为地震安全社区经济评价提供依据,并建立评分机制对评价指标进行评分。

2) 本文采用径向基 RBF 核函数和粒子群算法优选模型参数,通过样本训练数据可以建立一个有效的基于 LS-SVM 的地震安全社区经济评价模型。通过输入新的指标数据,可以准确的分析出地震安全社区的经济评价等级。通过实证表明,利用 LS-SVM 评价地震安全社区的经济性状况,与实际经济情况相符,而且可以减少训练时间,提高收敛速度和精度,泛化能力强。

因此,本文建立的地震安全社区评价指标和基于最小二乘支持向量机(LS-SVM)的评价模型,可以更好的应用于地震安全社区的经济评价,为地震安全社区的经济评价提供科学依据。

参考文献

- [1] 汶川、玉树、雅安地震数据比较[J]. 领导决策信息, 2013 (17): 30-31.
- [2] 李亦纲, 吴建春, 王忠国, 许建华, 杜晓霞, 赖俊彦, 张媛, 顾焕良. 地震安全示范社区建设标准研究[J]. 震灾防御技术, 2015(3): 621-628.
- [3] SUYKENS J A K, BRANBANTER J K, LUKAS L, et al. Weighted least squares support vector machines: robustness and sparse approximation[J]. Neurocomputing, 2002, 48(1): 85-105.
- [4] 曹金龙. 以“四个基本”为基础创建地震安全社区[J]. 防灾博览, 2016(5): 13-19, 12.
- [5] 卫彩霞, 吴会平, 吉柏锋. 基础隔震建筑的全寿命经济评价的研究[J]. 特种结构, 2009, 26(3): 1-5, 10.
- [6] 钟波, 肖智, 刘朝林, 陈玲. 基于 LS-SVM 的信用评价方法[J]. 统计研究, 2005(11): 29-31.
- [7] 杨明, 高勇, 刘治. 基于支持向量机模型的高速公路运营效益评价[J]. 系统工程, 2009, 27(2): 90-95.
- [8] 管恩福. 地震安全社区建设介绍[C]//中国建筑学会抗震防灾分会, 中国地震学会地震工程专业委员会, 中国地震工程联合会. 第八届全国地震工程学术会议论文集(II), 2010: 2.
- [9] 王新颖, 等. LS-SVM 模型在城市燃气管道风险评估中的应用[J]. 消防科学与技术, 2017, 36(11): 1598-1601.
- [10] 何雄科. 高度可调隔震技术在老旧房屋加固治理中应用的可行性分析[C]//中国建筑设计研究院(集团), 东南大学, 《建筑结构》杂志社. 第四届建筑结构抗震技术国际会议论文集, 2014: 4.
- [11] 中国地震网[EB/OL]. <http://www.ceic.ac.cn/contents/product/product18.jsp>.
- [12] 吴卫民, 兰从欣. 首都地震安全示范社区建设[M]. 北京: 地震出版社, 2012.

Research on Community Economic Evaluation of Earthquake Safety Based on LS-SVM

WANG Hai-biao, SUN Ru-nan

(School of Civil Engineering, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China)

Abstract: In recent years, earthquakes occur frequently. In order to prevent earthquake disasters effectively, our country pays more and more attention to earthquake prevention and disaster reduction, and vigorously promotes the construction of earthquake safety community. At the same time, the economic evaluation of earthquake safety community also requires more scientific, objective and accurate. Therefore, this paper first analyzes the seismic safety community economic indicators, and establishes the index system of earthquake safety community economic evaluation. In order to improve the accuracy of economic evaluation and avoid subjectivity in the evaluation process, this paper selects the PSO-LS-SVM (least squares support vector machine) model for the economic evaluation of the earthquake safety community, and establishes an evaluation model. The empirical analysis shows that the evaluation results of the model are very close to the actual economic situation of the earthquake safety community, and can be applied to the economic evaluation of the earthquake safety community.

Key words: earthquake safety community; economic evaluation; particle swarm optimization; least squares support vector machine