

4-16-2019

Evaluation of Green Smart Cities in China Based on Entropy Weight - Cloud Model

Chen li

1. *School of Management, Anhui Jianzhu University, Hefei 230601, China; ;*

HaiXia Zhang

2. *Jiangxi new consulting development co. LTD, Xinyu 230601, China;*

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the [Artificial Intelligence and Robotics Commons](#), [Computer Engineering Commons](#), [Numerical Analysis and Scientific Computing Commons](#), [Operations Research](#), [Systems Engineering and Industrial Engineering Commons](#), and the [Systems Science Commons](#)

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Evaluation of Green Smart Cities in China Based on Entropy Weight - Cloud Model

Abstract

Abstract: Based on the research on green smart city at home and abroad; and aiming at the shortcomings and deficiencies of traditional evaluation methods, this paper proposes an evaluation method of combining entropy and cloud model based on the cloud model which can realize the conversion of qualitative concept and quantitative value. This method synthetically considers the subjective and objective factors; carries on the correlation analysis to the index; determines the set of evaluation indicators; *uses the X-conditional cloud generator in cloud model to obtain the different levels of membership matrix corresponding to each evaluation object; and carries on the fuzzy transformation by using the entropy weight method to determine the objective weight of the evaluation object; and after that, compares the simulation evaluation results with support vector machine evaluation results. The simulation results show that the entropy weight - cloud model is better than support vector machine in evaluating green smart cities, and the evaluation result of this method is reasonable and effective.*

Keywords

green smart city, entropy weight method, cloud model, support vector machine

Recommended Citation

Chen li, Zhang HaiXia. Evaluation of Green Smart Cities in China Based on Entropy Weight - Cloud Model[J]. Journal of System Simulation, 2019, 31(1): 136-144.

基于熵权-云模型的我国绿色智慧城市评价

陈莉¹, 张海侠²

(1. 安徽建筑大学经管学院, 安徽 合肥 230601; 2. 江西国新咨询发展有限责任公司, 江西 新余 338000)

摘要: 对国内外绿色智慧城市的相关研究基础上, 提出熵权与云模型相结合的评价方法。综合考虑主观和客观因素, 对指标进行相关分析, 确定评价指标集, 运用云模型中的 X 条件云发生器得到各评价对象对应不同等级的隶属度矩阵, 并与利用熵权法确定评价对象的客观权重进行模糊变换, 将仿真评价结果与支持向量机的评价结果进行比较。仿真评价结果表明熵权—云模型的绿色智慧城市评价优于支持向量机, 运用本方法的评价效果是合理有效的。

关键词: 绿色智慧城市; 熵权法; 云模型; 支持向量机

中图分类号: F292

文献标识码: A

文章编号: 1004-731X (2019) 01-0136-09

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.18-0008

Evaluation of Green Smart Cities in China Based on Entropy Weight - Cloud Model

Chen li¹, Zhang HaiXia²

(1. School of Management, Anhui Jianzhu University, Hefei 230601, China;

2. Jiangxi new consulting development co. LTD, Xinyu 230601, China)

Abstract: Based on the research on green smart city at home and abroad; and aiming at the shortcomings and deficiencies of traditional evaluation methods, this paper proposes an evaluation method of combining entropy and cloud model based on the cloud model which can realize the conversion of qualitative concept and quantitative value. This method synthetically considers the subjective and objective factors; carries on the correlation analysis to the index; determines the set of evaluation indicators; uses the X -conditional cloud generator in cloud model to obtain the different levels of membership matrix corresponding to each evaluation object; and carries on the fuzzy transformation by using the entropy weight method to determine the objective weight of the evaluation object; and after that, compares the simulation evaluation results with support vector machine evaluation results. The simulation results show that the entropy weight - cloud model is better than support vector machine in evaluating green smart cities, and the evaluation result of this method is reasonable and effective.

Keywords: green smart city; entropy weight method; cloud model; support vector machine

引言

绿色智慧城市是以清洁能源为基础, 以信息技

术为依托, 是实现城市绿色生态转型和高效智慧发展的保障、是社会经济可持续发展的基础、是城市发展的必然趋势。国外学者斯坦福大学 Henry S. Rowen^[1]认为世界各地的交叉创新的信息技术(IT)和清洁能源是政府领导人的首要任务, 他们推进智慧城市发展, 追求绿色生活提高能源利用效率, 保护环境, 改善生活质量, 提高在新产业推动全球经济的竞争力。Rosario Ferrara^[2]表示, 智慧城市的概



收稿日期: 2018-01-08 修回日期: 2018-05-24;
基金项目: 2017 年度安徽高校人文社会科学研究重点
项目(SK2017A0548), 合肥市软科学研究项目
(2018026), 安徽省质量工程项目(2016msgzs 018), 教
学团队(2017jxtid029);
作者简介: 陈莉(1966-), 女, 安徽阜阳, 博士, 教授,
硕导, 研究方向为技术经济理论与评价、计量经济学。

<http://www.china-simulation.com>

念已经不局限于有限的范围, 它还包括更好的利用资源、较低的污染排放、更好的废物处理、有效的利用光和热的建筑节能方法等。

目前国内有部分学者开始研究绿色智慧城市, 陈劲^[3]将绿色智慧城市的评价体系分为绿色绩效(包含 8 个指标维度)和智慧绩效(包含 6 个指标维度)两个指标层。中国信息通信研究院郭敏杰^[4]从 Green of ICT 和 Green by ICT 两个方向给出了绿色智慧城市的双重含义, 认为建设绿色智慧城市需要注重信息技术等基础设施的集约, 关注资源能源、能源的智慧管理和控制, 发展绿色产业。陈剑^[5]认为绿色智能城市(GSC)是一种新型的城市集生态概念和信息技术。牛文元^[6]认为智慧城市要体现绿色本质, 强调要从自然、经济、社会、人心逐层递进的四个层面共同推进绿色智慧城市建设。程大章等^[7]认为生态建筑发展和生态城市转型需要信息技术进行支撑, 实现绿色智慧城市的能源最优化、基础设施智慧化、产业生态化, 促进低碳、减碳经济发展。

传统的指标体系评价方法如模糊综合评价法、层次分析法、德尔菲法等都带有较强的主观性, 会降低评估结果的说服力和科学性。随着人工智能的兴起, 更多的评价方法被应用到城市评价中。杜芸芝^[8]、李向辉, 李慧慧^[9]、黄海燕^[10]利用灰色关联模型对绿色城市协调发展进行评价; 邹凯, 包明林^[11]将灰色关联理论与 BP 神经网络相结合对智慧城市发展潜力进行评价; 闰海^[12]采用 TOPSIS 法, 而刘维跃, 王海龙和刘凯歌等^[13]、项勇, 任宏^[14]分别采用熵权与 TOPSIS、ANP 与 TOPSIS 相结合的方法构建智慧城市评价模型。

人工智能 50 年, 已在模拟人类的某些确定性智能行为和逻辑思维方面, 取得较大成就, 但由于模糊性和随机性的存在, 致使自然世界中包含太多的不确定性^[15], 要研究其中不确定性的表达形式及方法, 就需要建立一个定性概念与定量数值相互转换的模型, 作为自然语言和数据语言的转换基础, 即云模型。云模型充分考虑了指标体系的模糊

性和随机性, 能够解决评价中无法避免的不确定性, 熵权法具有很强的数学理论依据, 能够客观准确地确定指标权重, 避免其他主观赋权法的主观因素影响。建立熵权—云模型评价模型, 便于发挥其各自的优点, 使评价结果更加客观有效。

近年来, 熵权—云模型的评价方法在风险评估、绩效评价、质量评价等多领域得到应用。龚艳冰^[16]、王润英, 李宇^[17]利用熵权和云模型建立风险评估模型; 周科平, 林允和邓红卫等^[18]将熵权和云模型应用到岩爆中进行烈度等级预测; 阮永芬, 高春钦和李志伟等^[19]提出一种改进层次分析法(AHP)与熵权法得到综合权重后再结合云模型对膨胀土膨胀等级进行评价。但目前尚无运用熵权—云模型对绿色智慧城市进行评价的研究, 本文构建了熵权—云模型仿真模型对我国 30 个省、自治区、直辖市的绿色智慧城市建设水平进行评价, 并与运用支持向量机得到的评价结果进行对比分析, 对我国城市发展有着重要的意义。

1 熵权、云模型的基本理论

1.1 熵权法

熵最初只是物理中的热力学概念, 后由申农(C.E.Shannon)引入信息论, 称为“信息熵”。熵权法的基本思路是根据各变量的变异程度来确定各指标的权重, 再通过修正, 随之得到相对客观的权重。熵权法具有适用性广、准确度高、客观性强等特点, 因此在工程或经济等各个领域获得广泛的应用。

熵权法确定权重的算法步骤:

熵权法对象集 X 的初始数据矩阵为 $X = (x_{ij})_{n \times m}$, 其中包括 n 个待评价对象, m 个评价指标。则利用熵权法获取评价指标权重的详细步骤为:

Step 1: 对初始指标数据进行标准化处理: 设各指标数据标准化后的值为 Y_{ij} , 则有

$$Y_{ij} = \frac{x_{ij} - \min(x_i)}{\max(x_i) - \min(x_i)};$$

Step 2: 计算各指标的信息熵值: 第 j 组指标

数据的信息熵值为 $S_j = -\ln(n)^{-1} \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln p_{ij}$ ，其中，

$$p_{ij} = Y_{ij} / \sum_{i=1}^n Y_{ij}, \text{ 若 } p_{ij} = 0, \text{ 则定义 } \lim_{p_{ij} \rightarrow 0} p_{ij} \ln p_{ij} = 0;$$

Step3: 计算指标权重向量: $\omega = \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n\}$,

$$\text{其中, } \omega_j = (1 - S_j) / \sum_{j=1}^m (1 - S_j), 0 \leq \omega_j \leq 1, \sum_{j=1}^m \omega_j = 1.$$

1.2 云模型

云模型是一种描述不确定性关系的数学方法, 构成定性概念和定量数值之间的相互映射关系, 作为自然语言和数据语言的转换基础。

定义: 设 U 是一个定量论域, C 是定量论域 U 上的定性概念, 定量值 x 为 C 的一次随机实现, 即 $x \in U$, 随机数 $\mu(x)$ 是 x 在 C 上实现的确定度, $\mu(x) \in [0,1]$, 且具有稳定倾向: $\mu(x): U \rightarrow [0,1]$, $\forall x \in U, x \rightarrow \mu(x)$

则 x 在论域 U 上的分布称为云, 随机数 $\mu(x)$ 反映了定量值 x 对定性概念 C 的确定程度。

云模型通过使用云的 3 个数字特征: 期望 (Ex), 熵 (En) 和超熵 (He) 来表示语言值的数学性质^[20]。期望 (Ex): 反映云滴在论域 U 中最能代表定性概念的点; 熵 (En): 代表定性概念的概率和模糊度, 既能反映云滴的离散程度, 又能反映云滴的取值范围。超熵 (He): 即熵的熵, 表示熵的不确定性度量。以 (0, 1, 0.1) 为云模型的 3 个数字特征, 5 000 个云滴为例, 其一维正态云模如图 1 所示。

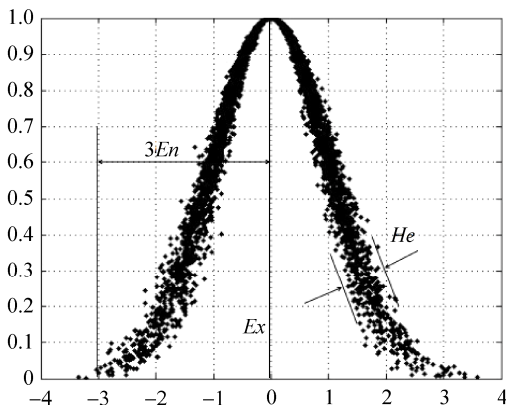


图 1 一维正态云图

Fig. 1 One-dimensional Normal Cloud Map

算法一: 正向云发生器

正向云发生器 (Forward Cloud Generator) 是从定性概念到定量数值的映射, 输入云的 3 个数字特征 (Ex, En, He) 和想要生产的云滴个数 N , 输出 N 个云滴的值及由这些云滴构成的云图。正向云发生器的示意图见图 2。

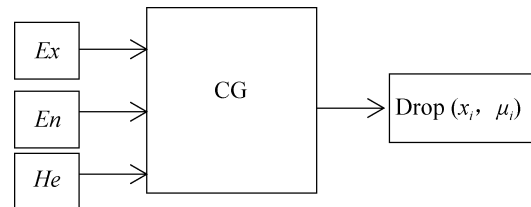


图 2 正向云发生器

Fig. 2 Forward Cloud Generator

正向云发生器的算法如下:

输入: 数字特征 (Ex, En, He), 生成云滴的个数 N 。

输出: N 个云滴 x 及其定量值 μ , 即 $\text{drop}(x_i, \mu_i)$, $i=1, 2, \dots, N$ 。

具体算法步骤如下:

Step 1: 产生一个以 En 为期望值, He^2 为方差的正态随机数 En'_i

$$En'_i = NORM(En, He^2);$$

Step 2: 产生一个以 Ex 为期望值, En'^2_i 为方差的正态随机数 x_i

$$x_i = NORM(Ex, En'^2_i);$$

Step 3: 计算 $\mu = e^{-\frac{(x_i - Ex)^2}{2En'^2_i}}$;

Step 4: 设 $\text{drop}(x_i, \mu_i)$ 为一个云滴, 式中 x_i 为自然语言的定性概念在论域 U 中转换一次得到的数值, μ_i 为数值 x_i 隶属该语言值的程度的量值;

Step 5: 重复步骤 1~4, 直到产生 N 个云滴为止。

算法二: X—条件云发生器

在确定了云的数字特征值 (Ex, En, He) 的前提下, 若论域中设定条件 $x=x_0$, 则在 $x=x_0$ 条件下的实现的云发生器称为 X—条件云发生器; X—条件云发生器所产生的所有云滴均分布在 $x=x_0$ 的垂直

线上。X—条件云发生器示意图见图 3。

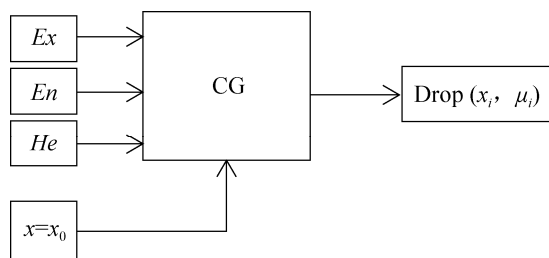


图 3 X 条件云发生器

Fig. 3 X Conditional Cloud Generator

X 条件云发生器的算法如下:

输入: 数字特征值(Ex , En , He), 想要生成的云滴个数 N , 及特定值 x_0 。

输出: 对应特定值 x_0 的 N 个云滴其定量值 μ_i 。

具体算法步骤如下:

Step 1: 产生一个以 En 为期望值, He^2 为方差的正态的随机数 α_i^0 , $En_i^1 = NORM(En, He^2)$;

Step 2: 计算 $\mu_i = e^{-\frac{(x_0 - Ex)^2}{2En_i^2}}$;

Step 3: 生成 N 个特定值 x_0 对应的云滴, 即 $drop(x_0, \mu_i)$ 。

2 熵权—云模型的算法实现

本文将利用正向云发生器和 X—条件云发生器将评价等级云模型化, 根据评价等级标准用云模型的 3 个参数(Ex , En , He)表示各个城市隶属各等级的云。具体步骤如下:

Step 1: 运用熵权法计算出评价体系每个指标的权重, 权向量 $\omega = \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n\}$ 。

Step 2: 根据评价等级划分标准及各评价指标对应的等级确定云特征值(Ex , En , He)。

每个等级云的 3 个特征值参数(Ex , En , He)是由各评价指标对应其等级的上下边界值确定的, 具体可以通过相应的特征值参数值公式求出。设有数据 x_{ij} , 其中 i 为评价指标, j 为数据 x 对应的评价等级, 则有数据 x_{ij} 的上下边界值为 x_{ij}^1 和 x_{ij}^2 , 数据 x_{ij} 中指标 i 对应其等级 j 的定性语言概念可以用云模型表示, 能够得到个 $i \times j$ 的云模型。

由于每个等级的中间数值是最能代表该等级的定性概念, 因此期望值表示为:

$Ex_{ij} = (x_{ij}^1 + x_{ij}^2)/2$; x_{ij} 作为各个等级的边界, 其既属于上一等级又属于下一等级, 因此该边界值对上下两个等级的隶属度是相等的, 从而有: $\exp(-(x_{ij}^1 - x_{ij}^2)^2 / (8(En_{ij})^2)) \approx 0.5$; 最终得到熵值: $En_{ij} = |x_{ij}^1 - x_{ij}^2|/2.355$

Step 3: 根据已通过计算得到的 3 个云的特征参数值和筛选后的实际评价指标数据, 利用 X—条件云发生器算法, 得到各个指标对应每个等级的隶属度, 用所得到的每个指标隶属度构成隶属度矩阵 $U = [u_{ij}]_{m \times n}$, 则实际指标数据 x_0 属于各等级云的隶属度为:

$$u_0 = \exp\left[-(x_0 - Ex)^2 / 2(Enn)^2\right]$$

式中: Enn 是以 En 为期望、 He 为标准差的正态随机分布, 具体公式为: $Enn = randn(1) * He + En$ 。

Step 4: 将已获取的权重向量和各评价对象的隶属度矩阵进行模糊变换: $R = W \otimes U$, 其中 $R = \{r_1, r_2, \dots, r_k\}$, 设 r_l 表示各评价对象隶属于某个等级的程度, 可以得到待评价对象所处的等级, 即是隶属度最大的等级。

3 仿真实验

3.1 样本的选择和数据来源

本文选择的样本均来自三批国家智慧城市名单(共 290 个), 因考虑到城市之间的可比性及数据的限制, 故从 290 个试点城市中选取了 30 个城市作为评价对象, 包括北京、上海、天津、杭州、宁波、无锡、南京、成都、重庆、广州、深圳、佛山、厦门、福州、武汉、长沙、郑州、合肥、南昌、西安、太原、青岛、哈尔滨、大连、长春、乌鲁木齐、兰州、南宁、昆明、石家庄。根据构建的评价指标体系对选中的 30 个城市的绿色智慧化水平进行评价排名, 希望能够为相应的绿色智慧城市建设的基础理论提供支持。

根据指标评价体系选取的基本原则进行评价

指标筛选,并考虑到指标数据的可获得性,从支撑面层、社会面层、经济面层和生态面层的四个方面确定了一套包括 10 个一级指标及 34 个二级指标的指标体系。数据资料的真实性及精确性是进行正确评价的重要因素,本研究的数据主要来自:2016 年《中国城市统计年鉴》;2015 年各城市国民经济和社会发展统计公报;2015 年各城市环境状况公报;其中分值来自国脉互联智慧城市研究中心发布的《第五届中国智慧城市发展水平评估报告》。绿色智慧城市评价指标体系的初选指标集包含 41 个指标,对于初始选择的 41 个指标之间会存在指标量偏多及某些指标间有较高的相关性等问题,因此必须对初选的 41 个指标进行筛选,最终确定能够评价绿色智慧城市发展水平的指标体系。

原始数据的处理:第一,初始指标无量纲化处理。为利于初选指标的筛选,先对初选指标数据进行无量纲化处理,均值化后的结果更加科学、准确,这里使用均值化对原始数据进行无量纲化处理。第二,指标筛选与评价指标体系的建立。本文利用 SPSS 软件,对原始指标进行相关性分析,验证并剔除一些指标,建立绿色智慧城市发展水平指标体系。将均值化后的数据导入 SPSS19.0 软件中,通过相关性分析便得到各指标之间的相关系数和显著性水平矩阵。根据各指标对应的相关矩阵,选择相关系数大于 0.75 及以上的初选指标并加以合并,进行全部指标筛选,最后得出一套符合我国国情的绿色智慧城市评价指标体系。

3.2 熵权—云模型的绿色智慧城市评价

本文运用 matlab2014b 作为统计分析工具,根据 30 个样本城市 34 个变量的实际指标数据,通过熵权法计算各评价指标的权重,结果如下:

$$W=\{0.0319, 0.0264, 0.0372, 0.0304, 0.0206, 0.0389, 0.0296, 0.0255, 0.0404, 0.0598, 0.0611, 0.0192, 0.0444, 0.0432, 0.0229, 0.0453, 0.0203, 0.0373, 0.0319, 0.0394, 0.0434, 0.0109, 0.0197, 0.0125, 0.0260, 0.0243, 0.0169, 0.0170, 0.0232,$$

$$0.0082, 0.0052, 0.0076, 0.0154, 0.0642\}$$

本文通过参阅相关资料文献^[21-22],并结合我国绿色智慧城市发展现状,将所有指标划分为 5 个等级,用来评价绿色智慧城市的发展程度, I 级表示绿色智慧城市发展水平高, II 级表示绿色智慧城市发展水平较高, III 级表示绿色智慧城市发展水平中等, IV 级表示绿色智慧城市发展水平较弱, V 级表示绿色智慧城市发展水平弱。具体评价指标等级划分如下:以指标 X_1 (基础设施投资占社会固定资产投资比重)为例, I 级区间为[32.614, 35.400], II 级区间为[27.041, 32.614], III 级区间为[21.469, 27.041], IV 级区间为[15.896, 21.469], V 级区间为[13.110, 15.896]。

考虑到最大值和最小值是数学计算中的极端值,最能反映该评价等级,应处于隶属度最大云滴最密集的位置,因此将最大值作为 I 级的 Ex , 最小值作为 V 级的 Ex , 再运用公式计算出其它指标在各个等级的三个数字特征值。根据绿色智慧城市发展水平等级划分情况,利用一维正向云发生器,将各个指标对应的等级用相应的云模型来表示,由于将极值定义为 Ex , 故可得到各指标的 I 级云图为上升云, II、III、IV 级为完整云, V 级云图为下降云。以指标 X_i 为例,其对应的云数字特征值的计算结果为: I 级(35.400, 2.387, 0.100), II 级(29.828, 2.387, 0, 100), III 级(24.255, 2.387, 0.100), IV 级(18.683, 2.387, 0.100), V 级(13.110, 2.387, 0.100)。

将原始指标数据计算得到的各级云数字特征值作为参数,运用云模型中的 X —条件云发生器,将算法程序输入到 matlab2014a 软件中,计算出各样本城市每个指标对应各等级的隶属度,并构造隶属度矩阵 V 。随后将已利用熵权法计算得到的权重 W 与隶属度矩阵 V 进行模糊运算,最后得到各城市对应五个评价等级的隶属度(见表 1),选择隶属度最大的等级就是该绿色智慧城市发展水平等级。

本文引入支持向量机的评价方法与熵权—云模型评价对比分析。

表 1 样本城市对应各等级的隶属度

Tab. 1 Subordinate Degree of Sample Cities to Each Level

城市	1 级	2 级	3 级	4 级	5 级	评价
上海	0.3391	0.1998	0.2299	0.2426	0.0690	I
北京	0.3765	0.3566	0.2109	0.1264	0.0247	I
深圳	0.4115	0.2742	0.2053	0.1091	0.0812	I
无锡	0.2846	0.2850	0.2603	0.2195	0.0631	II
杭州	0.2107	0.3641	0.3630	0.1456	0.0519	II
宁波	0.1886	0.2878	0.2884	0.2986	0.0458	III
佛山	0.1412	0.1862	0.3090	0.2479	0.2084	III
厦门	0.0805	0.2772	0.3588	0.2743	0.1174	III
广州	0.2210	0.2510	0.3210	0.2430	0.0698	III
青岛	0.1306	0.2237	0.3610	0.3322	0.0536	III
南京	0.1145	0.2366	0.3396	0.3366	0.0743	III
成都	0.1015	0.1730	0.3921	0.3531	0.0822	III
武汉	0.1560	0.1953	0.2942	0.2813	0.1825	III
天津	0.0767	0.2170	0.3588	0.2879	0.1682	III
合肥	0.0656	0.1842	0.3329	0.4117	0.1239	IV
郑州	0.0619	0.1714	0.2373	0.4124	0.2362	IV
南昌	0.0643	0.1037	0.2506	0.3989	0.2910	IV
长沙	0.0467	0.2063	0.3210	0.4016	0.1386	IV
福州	0.0364	0.1974	0.2244	0.5186	0.1370	IV
西安	0.0753	0.2453	0.2776	0.3028	0.2064	IV
重庆	0.1675	0.1823	0.2583	0.2601	0.2595	IV
大连	0.0301	0.0974	0.2782	0.4404	0.2682	IV
太原	0.1324	0.1249	0.3044	0.3164	0.2437	IV
昆明	0.0558	0.0929	0.2424	0.3986	0.3225	IV
哈尔滨	0.0390	0.1192	0.2092	0.3422	0.4026	V
兰州	0.1080	0.1053	0.1901	0.2529	0.4470	V
南宁	0.0406	0.0954	0.2504	0.3517	0.3557	V
长春	0.0256	0.1099	0.2242	0.2899	0.4634	V
石家庄	0.0250	0.0874	0.1376	0.3989	0.4652	V
乌鲁木齐	0.0559	0.1393	0.1456	0.3020	0.4639	V

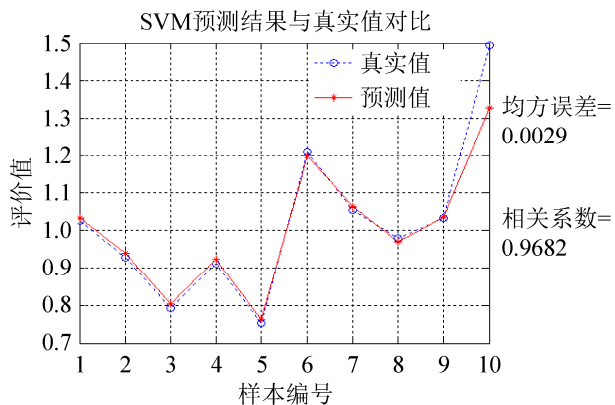
支持向量机(support vector machines, SVM)是由 V. Vapnik 与其领导的贝尔实验室的小组一起开发出来的一种新的机器学习技术。支持向量机根据结构风险最小化(SRM, structural risk minimization)原则,可以尽量提高学习机的泛化能力,同时,它将优化问题转化为求解一个凸二次规划的问题,二次规划所得的解是唯一的全局最优解。支持向量机较好地解决了小样本、非线性、高维数、局部极小点等实际问题。

支持向量机方法的优点体现在:它是专门针对有限样本情况的,其目标是得到现有信息下的最优解而不仅仅是样本数趋于无穷大时的最优值;SVM 算法最终将转化成为一个二次型寻优问题,从理论上说,得到的将是全局最优点;支持向量机理论提供一种避开高维空间的复杂性,它将实际问题通过非线性变换转换到高维的特征空间(Feature Space),支持向量机通过引入核函数,将输入原空间映射到非常高维的特征空间实现线性可分,映射后的特征空间可以很高,但并不增加网络的复杂性,SVM 是由统计学习理论的指导下导出,有着严格的理论依据、较好的学习性能;SVM 还有良好的非线性品质、极高的拟合精度、灵活而有效的学习方式、完全分布式的存储结构和模型结构的层次性,是一种数据驱动式“黑箱”建模方式,不需要对象很多的先验知识,对模型函数形式、误差分布类型也无需很多先验设定,支持向量机已经成为目前国内外研究的一个热点。它具有理论完备、适应性强、全局优化、训练时间短和泛化性能好等优点,并在模式识别、回归分析、函数逼近、信号处理等领域得到了成功应用。支持向量机算法的实验环境为 matlab2014a 软件和 libsvm-3.18 工具箱。首先对原始数据归一化处理作为输入,利用综合指数法得到的客观值作为输出;然后按 1:2 的比例划分,随机选取 10 个评价对象为训练集,其余的 20 个作为测试集,利用 SVM 对其进行评价,其中 g 值为 0.029 4,训练集和测试集反馈结果如图 4 所示,从其中图(a)可以看出训练的结果比较好,相关系数为 0.968 2,从其中图(b)可以看出预测的结果不是太理想,相关系数为 0.707 7 对测试集的 20 个评价对象运用不同方法得到的等级进行对比,各隶属等级情况见表 2。

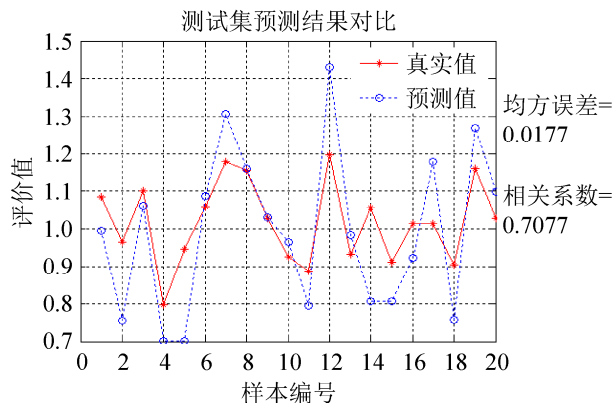
从仿真效果上,分析表 2 不同方法绿色智慧城市发展水平评价结果对比可以发现,运用熵权—云模型的评价方法得到的结果和客观实际值最为保持一致,20 个评价对象中只有上海市所处的等级不同,其他全部相同,而 SVM 的评价方法得到的

结果中有 10 个与实际等级不符。从算法原理上分析,云模型在统计学和模糊数学的基础上,将不确定性语言值和精确数值之间进行了统一刻化,能够实现定性语言值和定量数值之间的自然转换,云模型克服了在研究空间数据不确定性时,概率论和数理统计具有“硬计算”的不足,模糊集的隶属函数固有不彻底性,云模型汲取了自然语言的优点,能在空间数据挖掘中兼顾随机性和模糊性,在用语言值表示的定性概念与其定量表示之间建立起定性和定量间的相互映射关系。云模型的云技术已被成功地应用于智能控制、跳频电台、大系统的效能评估中。支持向量机运行会涉及到一些对算法性能会产生显著影响的重要参数譬如惩罚因子 c 及径向基核参数 γ 。其中,惩罚因子 c 决定的是发生样本被错误分类时的惩罚程度;核参数 γ 即高斯分布的宽度,决定的是函数的径向作用范围,控制的是非线性映射的实质。因此,在实际应用过程中不可避免的一个突出问题就是惩罚因子 c 及核参数 γ 的设定。现今大多采用交叉验证试算得出参数 c 和 γ ,该方法不仅费时且具有盲目性,本文采用的是软件默认的交叉验证试算得出参数 c 和 γ ,所以 SVM 的评价方法得出的结论不是很理想。

以上分析在一定程度上表明熵权—云模型的评价方法的正确性和有效性,使用该方法对我国绿色智慧城市发展水平评价能够达到预定的效果,为绿色智慧城市评价提供了一种新的评价方法。



(a) SVM 训练集预测结果与真实值对比



(b) SVM 测试集预测结果与真实值对比

图 4 SVM 运行过程图

Fig. 4 Running Process Diagram by SVM

表 2 不同方法绿色智慧城市发展水平评价结果比较
Tab. 2 Comparison of the Evaluating Results of Green Smart City Development Level by Different Methods

对象	综合指数评价	SVM 评价	熵权—云模型评价
北京	I	III	I
上海	II	III	I
无锡	II	III	II
宁波	III	III	III
广州	III	III	III
青岛	III	III	III
武汉	III	III	III
厦门	III	III	III
天津	III	III	III
重庆	IV	III	IV
合肥	IV	IV	IV
西安	IV	IV	IV
太原	IV	III	IV
南昌	IV	III	IV
大连	IV	IV	IV
哈尔滨	V	IV	V
长春	V	IV	V
石家庄	V	IV	V
乌鲁木齐	V	V	V
南宁	V	IV	V

4 仿真结果分析

从熵权—云模型的绿色智慧城市评价结果来看,上海、北京和深圳 3 座城市隶属于 I 级,代表其绿色智慧城市发展水平高,这 3 座城市都是国家

首批智慧城市试点,地理位置优越、建设资源丰富、基础条件良好、科技创新水平较高、经济相对发达,具有非常明显的优势。

杭州和无锡两座城市隶属于 II 级,代表其绿色智慧城市发展水平较高,杭州和无锡都地处于东南沿海长江三角洲,属于长江经济带,地理位置优越。隶属于 III 级的城市有佛山、广州、厦门、青岛、南京、天津、宁波、成都和武汉,代表其绿色智慧城市发展水平中等。其中,前六座城市主要位于我国东部,佛山、广州地处珠江三角洲,是具有全球影响力的先进制造业基地和现代服务业基地、全国科技创新与技术研发基地、全国经济发展的重要引擎。南京、成都、武汉都是当地的省会城市,经济总量相对较高;青岛是山东省省辖市、副省级城市、省经济中心城市;天津是我国直辖市、国家中心城市、环渤海地区经济中心,但这类城市在绿色智慧城市建设中各方面发展不平衡,如青岛的网络建设水平较强,但其数据开放服务水平较低。建议这类城市既要发展自身优势又要弥补劣势,争取均衡发展。合肥、郑州、南昌、长沙、太原、大连、西安、重庆、昆明及福州隶属于 IV 级,代表其绿色智慧城市发展水平较弱。建议这类城市应有所侧重的选择重点发展方向,形成具有鲜明特点的绿色智慧城市。哈尔滨、长春、兰州、南宁、石家庄及乌鲁木齐属于 V 级水平,这六座城市的绿色智慧发展水平很弱。这类城市各方面发展水平相对较低,建设智慧城市的整体战略规划还不够完善,发展智慧城市的能力方面还比较欠缺,建议先提升城市的综合能力,为建设绿色智慧城市奠定基础。

5 结论

本文提出了熵权—云模型的绿色智慧城市发展水平评价研究,并且与 SVM 的评估结果进行对比分析,熵权法客观性强,确定指标权重的精度较高,而云模型能够描述评价对象的不确定性,进行定性和定量的转换,主客观结合得到绿色智慧城市发展等级。使用熵权—云模型与支持向量机的方法

进行对比,通过仿真实验验证了熵权—云模型的科学性和准确性,熵权—云模型比 SVM 更符合绿色智慧城市评估与分析的需求。采用 MATLAB 软件开发的相关分析软件对建立的熵权—云模型进行绿色智慧城市评估,为绿色智慧城市决策提供科学依据。

如果考虑大数据因素,对绿色智慧城市评估会更加全面,随着云计算、大数据等新型信息技术的快速发展,在新型信息技术背景下,熵权、云模型、SVM 的方法集成还有很多有待于进一步的研究。

参考文献:

- [1] Henry S. Rowen. Smart Green Cities [EB/OL]. [2017-09-15]. http://fsi.stanford.edu/research/smart_green_cities/.
- [2] Rosario Ferrara. The Smart City and the Green Economy in Europe: A Critical Approach[J]. *Energies* (S1996-1073), 2015, 8(6): 4724-4734.
- [3] 陈劲. 绿色城市[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 2010. Chen jin. *Green City* [M]. Hangzhou: Zhejiang University Press, 2010.
- [4] 郭敏杰. 绿色智慧城市打造智慧城市新生态[J]. *世界电信*, 2015(7): 18-22. Guo Minjie. *Green Smart City Creates New Ecology of Smart City*[J]. *World Telecom*, 2015(7): 18-22.
- [5] Jin Chen. Innovation Ecosystem for Green Smart City Building in China[J]. *Front. Eng.* (S2095-7513), 2015, 2(4): 325-330.
- [6] 程杰, 赖建华, 牛文元. 以创新、绿色推进智慧城市建设[J]. *中国信息界*, 2013 (增 1): 32-36. Cheng jie, Lai Jianhua, Niu Wenyan. *Promoting Smart City Construction with Innovation and Green*[J]. *China's Information Industry*, 2013 (S1): 32-36.
- [7] 程大章, 卫校飞. 智慧城市与生态城市的建设[J]. *智能建筑与智慧城市*, 2013(4): 31-37. Cheng Dazhang, Wei Xiaofei. *Smart City and Eco-city Construction*[J]. *Intelligent Building and Intelligent City*, 2013 (4): 31-37.
- [8] 杜芸芝. 基于 PRED 的厦门绿色城市协调发展评价研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2010. Du Yunzhi. *Research on the Evaluation of the Coordinated Development of Xiamen Green City Based on PRED*[D]. Fuzhou: Fujian Agricultural and Forestry University, 2010.

- [9] 李向辉, 李慧慧. 基于 PRED 的沈阳绿色城市协调发展评价探究[J]. 沈阳建筑大学学报(社会科学版), 2015, 17(4): 373-378.
Li Xianghui, Li Huihui. Research on the Evaluation of Green City Coordination Development in Shenyang Based on PRED[J]. Journal of Shenyang Architectural University (Social Science Edition), 2015, 17(4): 373-378.
- [10] 黄海燕. 灰色关联度对贵州省绿色城市发展的评价[J]. 安顺学院学报, 2013, 15(2): 132-136.
Huang Haiyan. Evaluation of Green City Development in Guizhou Province by Grey Relational Degree[J]. Journal of Anshun University, 2013, 15(2): 132-136.
- [11] 邹凯, 包明林. 基于灰色关联理论和 BP 神经网络的智慧城市发展潜力评价 [J]. 科技进步与对策, 2015, 32(17): 123-128.
Zou kai, Bao Minglin. Evaluation of Development Potential of Smart City Based on Grey Relevance Theory and BP Neural Network[J]. Scientific and Technological Progress and Countermeasure, 2015, 32(17): 123-128.
- [12] 闰海. 我国智慧城市建设水平评价研究[D]. 太原: 太原科技大学, 2013.
Runhai. Study on the Evaluation of the Construction Level of Intelligent Cities in China[D]. Taiyuan: Taiyuan University of Science and Technology, 2013.
- [13] 刘维跃, 王海龙, 刘凯歌, 等. 运用熵权/TOPSIS 组合模型构建智慧城市的评价体系——以京津沪为实例探究[J]. 现代城市研究, 2015(1): 31-36.
Liu Weiyao, Wang Hailong, Liu Kaige, et al. Construction of Evaluation System for Smart City Based on the Combination Model of Entropy-Weighting and TOPSIS Methods:By Taking Beijing, Tianjin and Shanghai as an Example[J]. Modern Urban Research, 2015(1): 31-36.
- [14] 项勇, 任宏. 基于 ANP-TOPSIS 方法的智慧城市评价研究[J]. 工业技术经济, 2014, 33(4): 131-136.
Xiang yong, Ren hong. The Study of Smart City Evaluation Based on the ANP-TOPSIS Method[J]. Journal of Industrial Technological Economics, 2014, 33(4): 131-136.
- [15] 高键, 李众. 一维云模型映射器设计及其应用研究[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(7): 1861-1865.
Gao jian, Li zong. Study on Design and Application of One-Dimension Cloud Model Mapping Processor[J]. Journal of System Simulation, 2006, 18(7): 1861-1865.
- [16] 龚艳冰. 基于正态云模型和熵权的河西走廊城市化生态风险综合评价[J]. 干旱区资源与环境, 2012, 26(5): 169-174.
Gong Yanbin. Comprehensive assessment on ecological risk of Hexi Corridor urbanization based on normal cloud model and entropy weight[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2012, 26(5): 169-174.
- [17] 王润英, 李宇. 基于熵-云模型的城市洪灾风险评估模型[J]. 水电能源科学, 2016, 34(9): 61-63, 86.
Wang Runying, Li yu. Risk Evaluation of Urban Flood Disaster Based on Entropy-Cloud Model[J]. Water Resources and Power, 2016, 34(9): 61-63, 86.
- [18] 周科平, 林允, 邓红卫, 等. 熵权—云模型对岩爆等级的预测[J]. 2016, 26(7): 1995-2002.
ZHOU K P, LIN Y, DENG H W, et al. Transactions of Nonferrous Metals Society of China[J]. 2016, 26(7): 1995-2002.
- [19] 阮永芬, 高春钦, 李志伟, 等. 基于改进 AHP 与熵权法的膨胀土胀缩等级云模型评价[J]. 江苏大学学报(自然科学版), 2017, 38(2): 218-223.
Ruan Yongfen, Gao Chunqin, Li Zhiwei, et al. Cloud model evaluation of swell-shrink grade of swelling soil based on improved analytic hierarchy process and entropy weight method[J]. Journal of Jiangsu University(Natural Science Edition), 2017, 38(2): 218-223.
- [20] 李德毅. 知识表示中的不确定性[J]. 中国工程科学, 2000, 2(10): 73-79.
Li Deyi. Uncertainty in Knowledge Representation[J]. Engineering Science in China, 2000, 2(10): 73-79.
- [21] 刘学, 董春游. 基于云模型与熵权的煤炭城市可持续发展评价[J]. 经济论坛, 2012(8): 42-45.
Liu xue, Dong Chunyou. Sustainable Development Evaluation of Coal City Based on Cloud Model and Entropy Weight[J]. Economic Forum, 2012 (8): 42-45.
- [22] 董思思, 董春游. 基于云模型的煤炭建设项目经济评价[J]. 资源与产业, 2013, 15(5): 68-74.
Dong Sisi, Dong Chunyou. Economic Evaluation of Coal Construction Projects Based on Cloud Model[J]. Resources and Industry, 2013, 15(5): 68-74.