

# 面向欠发达地区大数据产业发展能力分析的网络化方法研究

沈俊鑫, 陈颖谦

(昆明理工大学管理与经济学院, 云南 昆明 650093)

**摘要:** 针对传统产业发展能力评价方法依赖决策者的主观判断, 缺乏客观性等问题, 提出应用 BP 神经网络模型进行大数据产业发展能力评价, 设计基于熵权的 BP 神经网络评价模型。建立欠发达地区大数据产业发展能力评价指标体系, 以贵州省产业发展数据作为实验样本, 采用熵权法确定 BP 网络期望输出, 并与 BP 网络实际输出进行比较。实验结果表明, 所提熵权-BP 评价模型优化了单一 BP 神经网络求权重可能带来的较大误差, 提高评价准确性与客观性, 适用于欠发达地区大数据产业发展能力评价。

**关键词:** 大数据产业; 发展能力; BP 模型; 熵权法

中图分类号: TP9

文献标识码: A

## Research on network analysis method for development ability of big data industry in underdeveloped area

SHEN Jun-xin, CHEN Ying-qian

(School of Management and Economics, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China)

**Abstract:** Traditional evaluation methods of industrial development ability were mostly lack of objectivity. An evaluation model was proposed by using a BP neural network based on entropy weight. Evaluation index system of big data industry development ability in underdeveloped areas was established. Taking Guizhou industrial development data as samples, entropy weight method was used to determine expected output and compared with the actual output. The experimental results show that the proposed entropy weight-BP evaluation model can optimize error of using single BP network and improve the accuracy and objectivity of evaluation.

**Key words:** big data industry, development ability, BP model, entropy method

### 1 引言

大数据是我国信息化发展步入深水区后的核心主题和战略抉择, 欠发达地区把大数据作为新常态下释放数据红利、制度红利和创新红利的战略性新兴产业资源。近年来, 我国政府开始重视大数据产业的研究和发展, 在大数据领域的投入超过了 50%<sup>[1]</sup>, 中华人民共和国国家事务管理院、中华人民共和国

国家发展和改革委员会、中华人民共和国工业和信息化部等正通过专项支持、项目支持等方式稳步推进大数据发展<sup>[2]</sup>, 《大数据产业发展规划(2016~2020 年)》明确了我国大数据产业发展方向。

欠发达地区由于受政策法规不完善、产业基础薄弱、信息技术人才缺乏、信息基础设施水平落后等因素制约, 缺乏科学、客观评价自身大数据产业发展能力, 在协调州市、县区大数据产业发展时,

收稿日期: 2017-08-29; 修回日期: 2017-11-11

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (No.70962003); 教育部人文社科研究基金资助项目 (No.14YJC630107); 云南省哲学社会科学研究基地基金资助项目 (No.JD2016ZD02); 昆明理工大学人文社会科学研究培育基金资助项目 (No.SKPYPY201645)

**Foundation Items:** The National Natural Science Foundation of China (No.70962003), Humanities Social Sciences Research Project Ministry of Education in China (No.14YJC630107), Key Project of Philosophy and Social Science Research Base of Yunnan Province in China (No.JD2016ZD02), Humanities and Social Sciences Research Project Kunming University of Science and Technology (No.SKPYPY201645)

也未能根据自身产业发展的现有水平制定大数据产业发展战略。因此，客观科学评价欠发达地区大数据产业发展能力显得十分迫切。

传统产业能力评价方法主要有层次分析法、主成分分析法、模糊综合评价法等，这些方法往往过于依赖决策者的主观判断，具有较强的主观性。而熵权作为典型的客观赋权法，利用原始数据客观地求解权重，可有效避免主观因素的影响<sup>[3]</sup>。BP 神经网络则通过其较强的自学能力、容错能力和自适应性，可以有效地降低评价过程中的人为失误<sup>[4]</sup>。基于熵权的 BP 神经网络评价模型，可以有效克服非线性系统各指标之间的相互影响，优化单一 BP 神经网络求权重可能带来的较大误差，提高评价的准确性和可行性。因此，本文通过建立欠发达地区大数据产业发展能力评价指标体系，构建基于熵权的 BP 神经网络大数据产业发展能力评价模型，以贵州省为例，开展贵州省大数据产业发展能力评价研究，为欠发达地区评价自身大数据产业发展能力提供参考。

## 2 相关工作

近几年，国内外学者针对大数据相关产业的评价研究，提出了多种综合评价模型。Fu<sup>[5]</sup>采用因子分析的方法，对信息产业在中国 6 个省的竞争力进行评价，并提供基于结果的对策。Li 等<sup>[6]</sup>采用灰色关联分析与技术相结合的综合评价方法，对中国东部、中部和西部的物联网产业竞争力进行评价分析，提出了物联网持续发展的政策建议。Li 等<sup>[7]</sup>利用模糊综合评价方法建立煤矿物联网应用水平指标体系评价模型，分析表明该评价模型能客观反映煤矿物联网应用水平的不足，为煤炭企业物联网发展战略提供参考。Hong 等<sup>[8]</sup>利用 ANP-TOPSIS 建立了智慧城市评价模型，并以四川省 4 个城市为例，说明了该方法的有效性。Zheng 等<sup>[9]</sup>构建了 7 个指标的 2 级评价系统，并在此基础上建立了二级 BP 神经网络。训练表明该网络能较好地拟合训练结果。汪忠等<sup>[10]</sup>利用耦合因子分析的 BP 神经网络模型对样本社会企业动态能力进行评价分析，验证了该评价模型的有效性。邹凯等<sup>[11]</sup>提出基于灰色关联和 BP 神经网络算法对智慧城市发展潜力进行评价。构建 GRA-BPNN 智慧城市发展潜力评价模型，运用灰色关联理论对指标体系约简，最后与其他方法评价结果进行比较，进一步证明评价方

法的合理性。

综合现有的文献，新一代信息技术相关产业的评价方法通常存在较多的主观因素，难以从客观角度得出准确的权重，且鲜有开展大数据产业发展能力评价相关研究。因此，本文借鉴物联网、智慧城市、电子信息产业等相关产业发展评价指标体系构建的相关研究成果，搭建欠发达地区大数据产业发展能力评价指标体系，并结合科学性、层次性、系统性、可获得性等基本原则，构建了由 6 个一级指标、18 个二级指标构成的欠发达地区大数据产业发展能力评价指标体系（如表 1 所示），采用熵权法与 BP 神经网络相结合的方法评价欠发达地区大数据产业发展能力，为各省市评价自身大数据产业发展能力提供一种新的方法。

表 1 欠发达地区大数据产业发展能力评价指标体系

一级指标	二级指标
发展基础能力	经济水平 $X_1$
	基础设施 $X_2$
	产业结构 $X_3$
	社会发展 $X_4$
产业发展支持能力	财政支持能力 $S_1$
	税收支持能力 $S_2$
	法律支持能力 $S_3$
系统协调与整合能力	规划组织能力 $S_4$
	协调能力 $S_5$
	整合能力 $S_6$
信息化及信息产业总体水平	信息产业规模水平 $X_5$
	信息社会发展指数 $X_6$
	信息消费指数 $X_7$
信息基础设施支撑能力	通信基础设施建设情况 $X_8$
	互联网用户发展情况 $X_9$
	电话用户发展情况 $X_{10}$
科技与人才	科研技术水平 $X_{11}$
	人才队伍建设 $X_{12}$

## 3 欠发达地区大数据产业发展能力评价模型

### 3.1 BP 神经网络模型

BP 网络是一种单向传播的前向反馈神经网络，3 层 BP 网络可实现任意多维向量的非线性映射，最具代表性。它由输入层、隐含层和输出层组成，其结构通常如图 1 所示，上下层神经元实现全连接，而每层神经元之间无连接<sup>[12]</sup>。BP 算法

由信息的正向传递与误差的反向传播 2 部分组成。正向传递过程中，输入信息从输入层经隐含层逐层计算传向输出层，每一层神经元的状态只影响下一层神经元；若输出层未得到期望的输出，则计算输出层的误差，然后转向反向传播，通过网络将误差信号沿原路传回并修改各层神经元的权值至达到期望目标<sup>[13]</sup>。

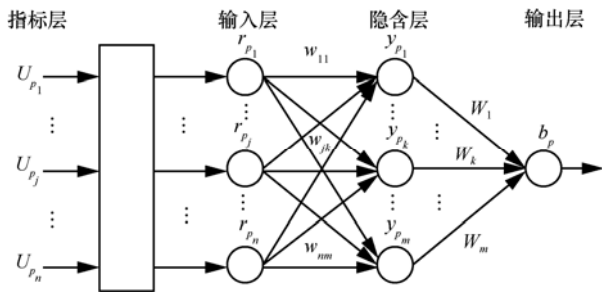


图 1 BP 神经网络结构

在图 1 中， $n, m$  分别代表网络输入层神经元数和隐含层神经元数； $U_{p1}, U_{p2}, \dots, U_{pn}$  为评价指标向量  $X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$  上的第  $p$  个样本的指标值，记为  $\bar{U}_p = \{U_{p1}, U_{p2}, \dots, U_{pn}\}$ ； $h$  个样本构成矩阵  $U = (\bar{U}_1, \bar{U}_2, \dots, \bar{U}_h)^T = (U_{pj})_{h \times n}$ ； $r_{p1}, r_{p2}, \dots, r_{pn}$  为  $X$  上  $U_p$  经量化后的评价向量，记为  $\bar{r}_p = \{r_{p1}, r_{p2}, \dots, r_{pn}\}$ ； $w_{jk} (j=1, 2, \dots, n; k=1, 2, \dots, m)$  为输入层第  $j$  个神经元节点到隐含层第  $k$  个神经元节点的连接权值， $y_{pk} (k=1, 2, \dots, m)$  为样本  $p$  的隐含层第  $k$  个神经元节点的输出， $w_k (k=1, 2, \dots, m)$  为隐含层第  $k$  个神经元节点到输出层的连接权值， $b_p$  为样本  $p$  的输出。

当指标值越大结果越好时，有

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{ij\min}}{x_{ij\max} - x_{ij\min}} \quad (1)$$

当指标值越小结果越好时，有

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{ij\max}}{x_{ij\max} - x_{ij\min}} \quad (2)$$

其中， $x_{ij}$  为评价指标原始数据， $x'_{ij} \in [0, 1]$  为归一化后的无量纲标准值， $x_{ij\max}$  和  $x_{ij\min}$  分别为  $x_{ij}$  的最大最小值。

隐含层神经元数量的确定既要考虑网络的精确度，又要兼顾 BP 网络的学习效率，目前尚无特

别明确的方法，一般采用

$$\alpha = \sqrt{m+n} + \beta \quad (3)$$

其中， $m$  为输入神经元数， $n$  为输出神经元数， $\alpha$  为隐含层节点数， $\beta$  为 1~10 的常数；首先，可用上述经验式得出一个初始值，然后，利用逐步调整的方法选取网络状态最理想的值。

### 3.2 熵权法原理

熵权法是一种根据评价指标变异的程度确定指标权重、衡量指标信息量大小的方法<sup>[14]</sup>。一般来说，评价指标的数值变异程度越大，则熵值越小，该指标包含和传输的信息就越多，相应权重就越大，该指标对综合评价的影响越大；反之，该指标的权重就越小，对综合评价影响越小<sup>[15]</sup>。因此，可以利用各指标的熵值计算出权重。

先计算评价指标的权重，设有  $m$  个待评项目， $n$  个评价指标， $\mu_{ij}$  为无量纲化后  $j$  指标下第  $i$  个项目的评价值，求各指标权重的过程如下。

1) 构建评价矩阵。设原始评价矩阵  $R' = (\mu_{ij})_{m \times n}$ ，再对原始矩阵进行标准化处理，得到标准化矩阵  $R$  为

$$R = \begin{pmatrix} \mu_{11} & \mu_{12} & \dots & \mu_{1n} \\ \mu_{21} & \mu_{22} & \dots & \mu_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \mu_{m1} & \mu_{m2} & \dots & \mu_{mn} \end{pmatrix}_{m \times n}$$

2) 计算第  $j$  个指标下第  $i$  个项目的指标值的比重  $\rho_{ij}$  为

$$\rho_{ij} = \frac{\mu_{ij}}{\sum_{i=1}^m \mu_{ij}} \quad (4)$$

3) 计算第  $j$  个指标的熵值  $e_j$  为

$$e_j = -k \sum_{i=1}^m \rho_{ij} \ln \rho_{ij} \quad (5)$$

其中， $k$  为待评项目数  $m$  有关，对于一个信息无序的系统，有序度为 0，其熵值最大； $e=1$ ， $m$  个样本处于完全无序分布时，此时， $k = \frac{1}{\ln m}$ 。

4) 计算第  $j$  个指标的熵权  $\omega_j$  为

$$\omega_j = \frac{1 - e_j}{\sum_{j=1}^n (1 - e_j)} \quad (6)$$

5) 设评价结果为  $Y_0$ ,  $W$  为各指标的权重矩阵,  $R$  为标准化后的数据矩阵, 则

$$Y_0 = W \times R \quad (7)$$

模型首先根据样本数据构建原始评价矩阵  $R'$ , 经过标准化处理后得到标准化矩阵  $R$ , 然后计算出每个指标的熵值  $e_j$ , 进而得到各指标的熵权  $\omega_j$ , 最后将权重矩阵  $W$  与  $R$  相乘得到评价结果  $Y_0$ 。通过将  $Y_0$  作为给定的目标向量输入到 BP 网络, 避免因数据样本较少带来较大误差。当 BP 算法的实际输出值越逼近期望目标, 表明该神经网络性能越好, 即可验证该模型的有效性。基于熵权的 BP 神经网络算法流程如图 2 所示。

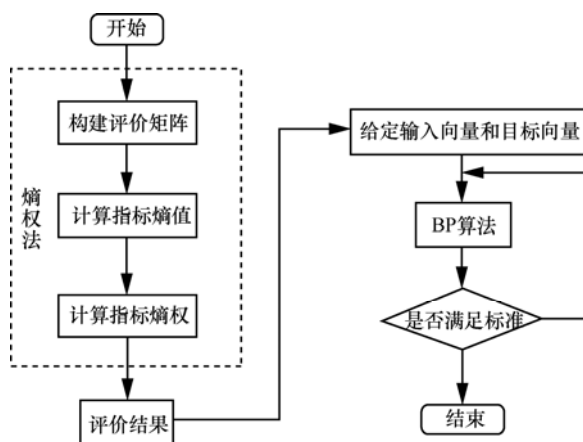


图 2 熵权-BP 神经网络算法流程

## 4 实验分析

### 4.1 数据来源及预处理

本文数据来源分为 2 个部分: 定量数据来源于《中国信息年鉴》《贵州省统计年鉴》《2015 年贵州省信息社会发展报告》等; 通过向贵州省 10 家信息化相关企事业单位的专家发放调查问卷, 得到定性指标数据。问卷调查采用等级评分制, 设“很强”为 1 分, “较强”为 0.8 分, “一般”为 0.6 分, “较弱”为 0.4 分, “很弱”为 0.2 分。每个等级的分数与对应人数之积相加得到总分; 总分与总人数的商为各指标 2014 年的数据; 为了对定性指标的发展趋势做进一步分析, 被调查者还需评价指标的状态, 分别为“逐渐提高”“维持原状”“逐渐降低”。同时假定“逐渐提高”的指标数据平均每年增长 2%; “维持原状”的指标数据不变化; “逐渐降低”的指标数据平均每年降低 2%, 根据状态趋势可分别估算各指标 2006~2013 年的数据。按照上述方法所得数据均在 [0,1], 故无需再进行归一化处理, 以上结果如表 2 和表 3 所示。

为了进行贵州省大数据产业发展能力综合评价, 在利用 BP 神经网络模型得到各年份大数据产业发展能力评价价值后, 还需要设计相应的能力等级 (如表 4 所示)。

表 2

原始数据 I (篇幅关系部分省略)

编号	二级指标	可量化指标	2006 年	2007 年	2008 年	...	2014 年
X <sub>1</sub>	经济水平	财政总收入/亿元	0.000	0.064	0.134	...	1.000
X <sub>2</sub>	基础设施	用水普及率	0.814	0.886	0.000	...	1.000
X <sub>3</sub>	产业结构	第三产业占比	0.000	0.492	0.631	...	0.354
X <sub>4</sub>	社会发展	城镇居民人均消费性支出/元	0.000	0.108	0.179	...	1.000
X <sub>5</sub>	信息产业规模水平	电子信息产业主营业务收入/亿元	0.000	0.066	0.137	...	1.000
X <sub>6</sub>	信息社会发展指数	信息社会发展指数	0.000	0.034	0.091	...	1.000
X <sub>7</sub>	信息消费系数	信息消费系数/万元	0.000	0.141	0.270	...	1.000
X <sub>8</sub>	通信基础设施建设情况	光缆总长度/万千米	0.000	0.016	0.015	...	1.000
X <sub>9</sub>	互联网用户发展情况	年末互联网宽带接入用户/万户	0.000	0.028	0.055	...	1.000
X <sub>10</sub>	电话用户发展情况	年末电话用户/万户	0.000	0.095	0.241	...	1.000
X <sub>11</sub>	科研技术水平	专利授权数/件	0.000	0.045	0.045	...	1.000
X <sub>12</sub>	人才队伍建设	普通高等学校在校学生数/万人	0.000	0.085	0.193	...	1.000

表 3 原始数据 II (篇幅关系部分省略)

编号	二级指标	2006 年	2007 年	2008 年	...	2014 年
S <sub>1</sub>	财政支持能力	0.662	0.676	0.689	...	0.776
S <sub>2</sub>	税收支持能力	0.591	0.602	0.614	...	0.692
S <sub>3</sub>	法律支持能力	0.656	0.656	0.656	...	0.656
S <sub>4</sub>	规划组织能力	0.642	0.655	0.668	...	0.752
S <sub>5</sub>	协调能力	0.556	0.568	0.579	...	0.652
S <sub>6</sub>	整合能力	0.679	0.693	0.707	...	0.796

表 4 产业发展能力等级

综合评价值	产业发展能力等级
0~0.6	不适合发展
0.61~0.75	较弱
0.76~0.89	中等
0.90~1	较强

4.2 评价结果分析

由于欠发达地区大数据产业发展起步较晚，统计年鉴中指标真实数据的样本量有限，测试次数也较少，评价模型中仅有 9 组原始数据样本，样本的实际容量与训练神经网络所需的容量存在一定的差距。为了解决上述问题，本文在训练网络时，采用高斯模糊的方法对已有的样本进行扩容。为了提高样本的稳定性，分别对已有的信号加入信噪比为 20~35 dB 不等的高斯白噪声，最终将样本扩充到 50 组。篇幅有限，表 2 仅列举了 12 组初始样本的部分数据。表 3 列举了 6 组初始样本的部分数据。

本文 BP 神经网络模型(如图 3 所示)的建立、训练以及数据归一化处理均采用 Matlab 语言实现。根据评价指标体系的实际情况，确定输入层节点数为 18，输出层节点数为 1，并参考式(3)确定隐含层节点数为 13。考虑到网络的规模及学习时间，选用 trainlm 作为训练函数；输入层到隐含层的传递函数选择 logsig，purelin 则用于隐含层到输出层；最大训练次数 epochs 设为 10 000 次；训练误差精度 goal 设为 0.001，网络学习速率设为 0.01；输出数据为各年份贵州省大数据产业发展能力评价价值，而其他参数均选用缺省值，网络经初始化，利用 trainlm 函数对网络进行学习后得到评价价值如图 4 所示。

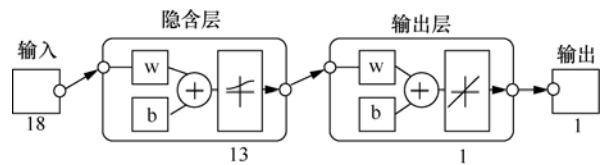


图 3 BP 神经网络模型

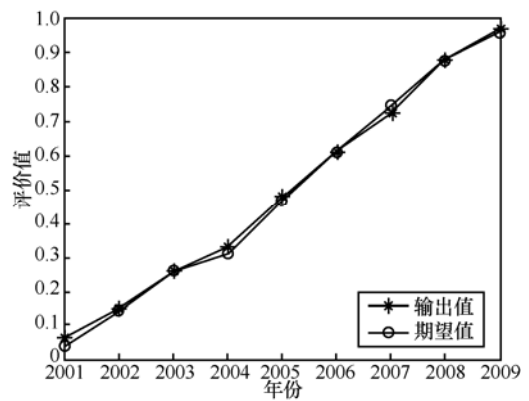


图 4 熵权法和 BP 神经网络发展能力评价价值对比

本文以基本数据为基础，利用熵权法分别计算式(4)~式(6)的结果，得出贵州省大数据产业发展能力各评价指标的具体客观权重(如表 5 所示)。在此基础上，根据式(7)得出基于熵权法的贵州省大数据产业发展能力评价价值(如表 6 所示)。

表 5 基于熵权法的各指标权重

指标	权重	指标	权重
X <sub>1</sub>	0.055 4	X <sub>10</sub>	0.052 9
X <sub>2</sub>	0.057 6	X <sub>11</sub>	0.056 2
X <sub>3</sub>	0.057 7	X <sub>12</sub>	0.056 5
X <sub>4</sub>	0.056 1	S <sub>1</sub>	0.053 8
X <sub>5</sub>	0.053 5	S <sub>2</sub>	0.056 3
X <sub>6</sub>	0.056 8	S <sub>3</sub>	0.054 7
X <sub>7</sub>	0.055 5	S <sub>4</sub>	0.053 4
X <sub>8</sub>	0.054 5	S <sub>5</sub>	0.056 5
X <sub>9</sub>	0.056 6	S <sub>6</sub>	0.055 9

**表 6 基于熵权法的各年份发展能力值**

年份	发展能力值
2006	0.046 9
2007	0.141 8
2008	0.253 3
2009	0.312 0
2010	0.467 1
2011	0.615 2
2012	0.740 0
2013	0.874 5
2014	0.962 7

表 7 结果表明,网络实际输出与期望输出值的残差最大值为 0.0166,最小值为 0.0001,两者已非常接近。因此,用熵权法得到指标权重并用 BP 神经网络模型对大数据产业发展能力进行综合评价是完全可行的。BP 神经网络算法与熵权法都属于客观赋权法,独立使用任意一种方法都可以减少主观因素的影响,使评价结果更准确。而本研究中,熵权法得出的评价值既可以作为 BP 神经网络的期望值输入到网络,又可以对 BP 网络实际输出结果进行准确性验证。因此,基于熵权的 BP 神经网络算法是对单一 BP 网络算法的优化,方法更具创新性,输出结果更令人满意。

**表 7 贵州省大数据产业发展能力评价期望值与实际输出值的残差**

年份	期望值	输出值	残差	发展能力等级
2006	0.046 9	0.062 1	0.015 2	
2007	0.141 8	0.151 8	0.010 0	
2008	0.253 3	0.253 2	0.000 1	不适合发展
2009	0.312 0	0.322 9	0.010 9	
2010	0.467 1	0.476 9	0.009 8	
2011	0.615 2	0.611 8	0.003 4	较弱
2012	0.740 0	0.723 4	0.016 6	较弱
2013	0.874 5	0.876 5	0.002 0	中等
2014	0.962 7	0.968 4	0.005 7	较强

同时,从评价结果可以看出,贵州省大数据产业发展能力值呈逐年上升的趋势。其中,2011 年评价值为 0.6118,已超过及格线 0.6 (注: 0~0.6 为不适合发展); 2013 年和 2014 年连续 2 年的评价值都在 0.85 以上,意味着贵州省已具备大力发展大数据产业的能力,这与贵州省大数据发展的实际情况也

是相符的。2013 年,三大通信运营商分别在贵阳市贵安新区开工建设云计算基地和数据中心; 2014 年 2 月,贵州省人民政府印发《关于加快大数据产业发展应用若干政策的意见》和《贵州省大数据产业发展应用规划纲要(2014~2020 年)》; 同年 10 月,“云上贵州”系统平台开通上线,该平台是全国第一个省级政府数据统筹存储、管理、交换、共享的云服务平台。因此,采用该 BP 神经网络模型评价欠发达地区大数据产业发展能力是可行的。

### 5 结束语

本文提出了基于熵权法和 BP 神经网络的欠发达地区大数据产业发展能力评价方法。通过构建欠发达地区大数据产业发展能力评价指标体系,以贵州省为例对其大数据产业发展能力进行综合评价,并用熵权法得出各指标权重,发现 BP 神经网络实际输出与期望输出逼近,表明该评价结果具有一定的有效性与合理性。

另外, BP 神经网络是目前应用最广泛的神经网络模型之一。它能够自我学习,自我组织,拟合任意非线性函数,克服了非线性系统各指标之间的相互影响,弥补了传统评价方法对变量之间是线性关系的不足,能更好地适应复杂的系统,减少主观因素的影响。同时,引入熵权法,优化了单一 BP 神经网络求权重可能带来的较大误差,提高了评价的准确性。从仿真结果表明,基于熵权的 BP 神经网络模型可有效评价欠发达地区大数据产业发展能力,为各地区评价自身大数据产业发展能力,制定大数据产业发展战略提供参考。

### 参考文献:

[1] 杨倩倩,路海娟,朝乐门. 大数据产业发展中存在的主要矛盾分析[J]. 情报理论与实践, 2016, 39(10):11-15.  
 YANG Q Q, LU H J, CHAO L M. Analysis of major contradictions in development of big data industry [J]. Information Studies: Theory & Application, 2016, 39 (10): 11-15.

[2] 王伟玲. 大数据产业的战略价值研究与思考[J]. 技术经济与管理研究, 2015(1):117-120.  
 WANG W L. Research and thinking on the strategic value of the big data industry[J]. Research on Technology Economy and Management, 2015 (1): 117-120.

[3] 赵黎明,刘猛. 基于熵权 TOPSIS 的区域科技创新能力评价模型及实证研究[J]. 天津大学学报(社会科学版), 2014(5):385-390.  
 ZHAO L M, LIU M. Evaluation and empirical study on regional technology innovation ability based on TOPSIS method[J]. Journal of Tianjin University (Social Science Edition), 2014 (5): 385-390.

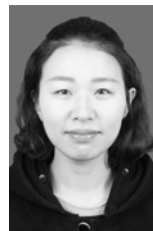
[4] 赵正. 建筑业企业技术创新能力评价研究[D]. 郑州: 河南理工大

- 学, 2011.
- ZHAO Z. Research on technological innovation capability of construction enterprises evaluation[D]. Zhengzhou: Henan Polytechnic University, 2011.
- [5] FU X H. Evaluation and trend analysis on the competitiveness of information industry in six provinces: based on factor analysis of panel data[J]. Journal of Xichang College, 2016.
- [6] LI X Z, GAO Y L, ZHAO H L. Comparative research on the IOT industry competitiveness of eastern, central and western China—a comprehensive evaluation based on TOPSIS and GRA[C]//IEEE International Conference on Grey Systems and Intelligent Services. 2015:187-193.
- [7] LI X G, LU J, WANG H, et al. Evaluation of application level of internet of things for coal mine[J]. Industry & Mine Automation, 2015.
- [8] HONG Y R. The study of smart city evaluation based on the ANP-TOPSIS method[J]. Journal of Industrial Technological Economics, 2014.
- [9] ZHENG Y, CHEN Y. Research on evaluation model of university teachers' teaching quality based on BP neural network[J]. Journal of Chongqing University of Technology, 2015.
- [10] 汪忠, 袁丹, 江资斌, 等. 基于 BP 神经网络的社会企业动态能力评价研究[J]. 中国地质大学学报(社会科学版), 2016(1): 153-161.
- WANG Z, YUAN D, JIANG Z B, et al. Evaluation of dynamic ability based on BP neural network in the social enterprise[J]. Journal of China University of Geosciences (Social Sciences Edition), 2016 (1): 153-161.
- [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(17):123-128.
- ZOU K, BAO M L. Evaluation of smart city develop potential based on gray relation theory and BP neural network[J]. Science & Technology Progress and Policy, 2015 (17): 123-128.
- [12] 吴志军, 王璐, 史荣. 基于改进 BP 神经网络的 ATM 系统信息安全评估方法[J]. 通信学报, 2011, 32(2):150-158.
- WU Z J, WANG L, SHI R. Approach of information security assessment for ATM system based on improved BP model of artificial neural network[J]. Journal on Communications, 2011, 32 (2): 150-158.
- [13] 石书彪, 陈焕新, 李冠男, 等. 基于改进 BP 网络的冷水机组故障诊断[J]. 制冷学报, 2015, 36(6):34-39.
- SHI S B, CHEN H X, LI G N. Research on fault diagnosis of chillers based on improved BP network[J]. Journal of Refrigeration, 2015, 36 (6): 34-39.
- [14] 郭俊华, 程聪慧, 何军, 等. 基于熵权法的科技人才项目绩效评价研究--以上海市“浦江人才”计划为例[J]. 科技进步与对策, 2015(19):119-125.
- GUO J H, CHENG C H, HE J, et al. Research on performance evaluation for talents project based on entropy weight method-a case study on “Pujiang talents project” in Shanghai municipal[J]. Science & Technology Progress and Policy, 2015 (19): 119-125.
- [15] 吴冲, 万翔宇. 基于改进熵权法的区间直觉模糊 TOPSIS 方法[J]. 运筹与管理, 2014(5):42-47.
- WU C, WAN X Y. Extended TOPSIS with interval-valued intuitionistic fuzzy information based on advanced entropy-weighted method[J]. Operations Research and Management Science, 2014 (5): 42-47.

### 作者简介:



**沈俊鑫** (1978-), 男, 福建漳州人, 博士, 昆明理工大学教授、硕士生导师, 主要研究方向为数据驱动项目决策。



**陈颖谦** (1993-), 女, 湖北咸宁人, 昆明理工大学硕士生, 主要研究方向为数据驱动项目决策。