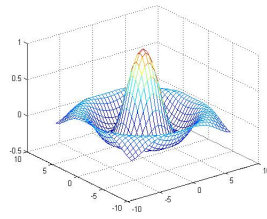


五一数学建模竞赛



题 目 淮海经济区宜居城市评价和影响因素模型

关键词：AHP 筛选 评价模型 BP 神经网络 利润敏感度分析 泊松分布

摘 要：本文建立了宜居城市指标的筛选模型，评价模型，指标对评价敏感度模型，以及不稳定因素下的宜居城市评价模型。总体上，查阅资料得到了十八个评价指标，经过筛选后留下八个指标，接着就四省八地各统计局，地震局等相关部门给出的数据，对淮海经济区的八个城市进行了宜居城市评价，并给出了排名。通过指标对评价敏感度的分析，我们得出三个会对评价产生显著影响的指标，在此基础上，我们选择一种不稳定因素并计算其概率，将其和敏感度结合，代入评价模型，得到一个基于不稳定因素的评价模型。

对于问题一和问题二，结合政治，经济，社会，环境，以及参考国家政策查阅得到指标体系，构建层次分析法中的判断矩阵，然后将权重大的几个提取出来，作为主要指标，接着利用神经网络做评价，先将指标结合已有的宜居城市评价打分机制建立标准体系，然后进行网络训练与仿真。再将淮海等地的数据代入就得到了宜居城市排名。

对于问题三，通过利润敏感度分析法，分别设置较大变化和较小变化两类四种量变来求指标对于评价分数的敏感度。敏感度大的指标变化将导致评价分数显著变化从而使得宜居城市排名也发生显著变化。

对于问题四，不确定因素多种多样，我们简化模型，认为不确定因素发生的概率都是一样的。于是我们通过查阅旱涝资料，利用泊松分布计算不确定因素发生的概率。因为较难建立不确定因素到底对指标产生如何的影响，我们假设不确定因素都将对指标产生负面的印象，降低指标，从而影响对宜居城市的评价。

对于问题五，将前几问得到的结论结合徐州的评价情况。我们可以说徐州在敏感度不大的方面做得较好，同时在敏感度较大的几个指标上徐州应该做得更好，本文根据前面的问题针对性地为徐州政府提出了若干改进意见。

§ 1 问题重述

一、问题背景

1、宜居城市历史背景

城市的发展从农业社会、工业社会、后工业社会直到现在的信息社会。在工业社会时期,随着工业革命的发生,整个社会资源向工业倾斜,工业生产迅速发展,工厂如雨后春笋般涌现了出来,城市环境污染问题出现并且不断加重,城市环境不断恶化,人们的生活环境问题开始进入人们的关注视野。而在接下来发展阶段中,农民工进城务工,周围居民的迁入城市等潮流的发生,造成城市公共交通拥挤、住房问题、城市公共基础设施的短缺等问题。因此,现代城市必然要发展建设宜居城市,其是城市社会经济水平发展到一定高度时的产物。由于西方较早发生工业革命,故宜居城市建设的理念最早出现在经济发达的西方国家,并经过一段时间的不断发展和完善,已经渐渐被世界各国城市建设者认可并且采纳。经过长时间、多位学者的讨论和探索,最终在 2003 年的城市绿化国际论坛上明确提出“创建城市宜居环境”这一概念^[1]。

而在我国,宜居城市建设的理论才刚刚起步。2005 年 1 月,国务院批复北京城市总体规划时首次在中央人民政府的文件中首次出现了“宜居城市”概念。同年 0 月,中国城市科学研究会成立了“宜居城市课题组”。经过多个单位,一批研究人员的调研,在 2007 年国务院通过了《宜居城市科学评价标准》;此后国务院先后批复了多个城市提交的城市总体规划,其中多次明确提出了建设宜居城市的理念,标志我国的城市建设内容推高到了一个新的阶段。

2、宜居城市内涵要求

宜居城市要求城市经济、文化、社会、环境之间能相互协调发展,人居环境良好,在满足居民物质和精神生活需求的基础上,保证居民工作、生活和居住适宜的城市^[2]。优美宜人的自然生态环境、和谐融洽的社会人文气息的有机集合。其包括自然环境和社会环境。自然环境包括原生自然环境、人工改造自然环境和城市各种设施三种;社会环境系统包括经济环境、文化环境、人文环境等^[1]。两者之间必须共同促进、协调发展,才能构成和谐、优美的城市环境,而这些都是宜居城市的必要条件。综合以上,宜居城市的内涵主要是以下五方面:

第一,经济繁荣是宜居城市所应具备的首要条件。经济因素是所有城市建设的基础,更是宜居城市建设的必要条件。城市是一个区域经济要素高度密集的中心,在组织、协调和管理区域经济发展中具有核心作用。雄厚的经济基础、先进的产业结构和强大的发展潜力,是建设宜居城市的物质设施保证,更是城市居民能够寻求更多的就业机会和获取较高收入的主导因素。

第二,社会和谐稳定是宜居城市建设的必要条件。为了保证居民安居乐业,幸福舒适地享受丰富多彩的现代文明生活,城市政局必须稳定、治安有序良好、城乡协调发展,社会各项公共事业必须正常有序开展。

第三,文化积淀的浓郁是宜居城市建设的充分条件。城市的文化积淀决定着市民对宜居城市主观层面的认同和评价,一个城市的文化低温厚重与否,是决定它成为文化、教育、科技中心的外在必要条件。因为厚重的文化底蕴能够吸引更多的专家学者共同来参与城市文化环境的建设,才能从整体氛围中提升城市居民的整体素质,也才能充分发挥出城市的教育科技等功能。

第四,生活便捷是宜居城市建设所必不可少的。城市生活便捷程度囊括了城市基础设施、城市交通便捷、城市公共服务设施等各个方面。总体来说,要求居

住舒适、配套设施齐备、公共交通四通八达、教育、医疗等。

第五,城市的优美市容环境也是宜居城市建设所必备的。一个城市的市容环境是人对这个城市的第一印象,所以优美的市容环境将使人心情舒畅,感到放松,自然城市的认可感,幸福感也就上升了。好的市容环境要求生活污水,垃圾处理率高、空气质量良好,有较多的绿化覆盖等等。

二、要解决的问题

1、**问题一**:通过查阅资料,筛选评价宜居城市的主要指标,并阐述这些指标的合理性。根据所筛选的主要指标,建立评价宜居城市的数学模型。

2、**问题二**:利用你构建的评价宜居城市的数学模型,对淮海经济区内的8个城市(宿迁、连云港、宿州、商丘、济宁、枣庄、徐州、淮北)进行合理性研究,给出宜居城市排名。

3、**问题三**:以问题2为例,定量分析你所建立的模型中,哪些评价指标的变化会对宜居城市排名产生显著的影响。

4、**问题四**:一些不确定性的因素(如突发自然灾害、房价大幅波动、宏观政策的重大调整等)会对宜居城市的某些指标产生重大影响。建立基于某些不确定性因素的评价宜居城市的数学模型,并重新讨论问题2。

5、**问题五**:根据上述定量分析的结果,请有针对性地给出进一步提高徐州市宜居水平的政策建议。

§2 问题分析

一、问题一和问题二

问题一要求我们查阅资料,得到评价宜居城市的指标,并以具备合理性的原则来筛选出若干主要指标,并根据主要指标建立一个评价宜居城市的模型。我们首先查找了官方的非行政性文件《宜居城市科学评价指标体系》^[3]了解到宜居城市在政治,经济,社会,环境等方面定义。接着在《中国主要城市宜居性发展的地域差异研究》^[4]中得到一些参考性指标。在这些参考指标中,有一些数据是较难得到的,我们结合第二问给出的四省八地,先后查阅了《江苏省统计年鉴》、《安徽省统计年鉴》、《河南省统计年鉴》、《山东省统计年鉴》等相关资料,检索并确定了得到了若干个可用于描述宜居城市的指标,如附录表1。接下来通过合理的权重计算,提取出权重较大的几个指标,并判断其是否具有作为主要指标的合理性。我们再用筛选出的主要指标建议一个评价模型。问题二要求我们用评价模型合理性研究淮海经济区八地的宜居问题,并给出排名。我们只需将上一问得到的数据代入建立的评价模型中,将结果排名即可。

二、问题三

问题三要求以第二问为基础,定量分析评价模型中哪些评价指标变化会对宜居城市排名产生较大影响。由于我们上面已经筛选出主要指标,只需要控制变量,改变一个指标,其他指标不变,观察结果的变化就能反映出哪些评价指标对结果有较大影响。同时由于有八个城市,考虑建立一个小的检验模型,检验不同城市同一指标变化,结果的上下波动是否合理。

三、问题四

问题四给出条件,一些不确定因素的剧烈变动将使得宜居城市的某些指标产

生重大影响，要求我们建立基于这些不确定性因素的评价模型，并重新讨论问题2。我们考虑先得到这些不稳定因素发生的概率，然后将敏感度转化为一个影响因素，通过概率、影响因素，再将其输入问题一中的评价模型，就得到在不确定因素下的评价模型。

四、问题五

问题五是对以上四个问题的总结，其要求我们针对性地给出提高徐州宜居水平的政策建议。由问题三可得到哪些指标对结果影响较大，这些指标应是徐州应当继续提高的，而由问题四可得到哪些指标的剧烈变化会对宜居评价产生较大影响，主要从这两方面去给出建议即可。

§ 3 模型的假设

- ① 假设选择的指标相互间影响不显著
- ② 假设数据准确无误；
- ③ 假设不确定因素发生的概率都一样；
- ④ 假设不确定因素将使描述宜居城市的指标下降；
- ⑤ 假设每三十年发生的旱涝灾害数量符号泊松分布；
- ⑥ 假设发生了不稳定因素后八个城市都收到影响。

§ 4 符号说明

一、符号说明

| 序号 | 符号 | 符号说明 |
|----|------------------|----------------|
| 1 | i | 矩阵的第 i 行 |
| 2 | j | 矩阵的第 j 列 |
| 3 | A | 判断矩阵 |
| 4 | a_{ij} | 判断矩阵元素 |
| 5 | λ_{\max} | 判断矩阵最大特征根 |
| 6 | W | 最大特征根的正规范化特征向量 |
| 7 | W_i | 正规化特征向量分量 |
| 8 | C | 一致性之比 |
| 9 | B | 宜居城市指标权重值 |
| 10 | m | 最小排名 |
| 11 | t | 规格化前的变量 |
| 12 | \bar{t} | 规格化后的变量 |
| 13 | f | 作用函数 |
| 14 | E_p | 误差计算模型 |
| 15 | β | 敏感度 |
| 16 | γ | 影响因子 |
| 17 | δ | 不稳定因素下的影响度 |

§ 5 模型的建立与求解

从要解决的问题和对问题做的假设出发，我们对问题一建立了模型 I 和模型 II，对问题三建立了模型 III，对问题四建立了模型 IV 和模型 V。

1、模型 I AHP 筛选模型

本模型利用 AHP（层次分析法），建立一个描述系统功能或特征的内部独立的递阶层次的结构，并通过两两比较指标的相对重要性，构造出上层某元素对下层相关元素的判断矩阵 A ，计算出本层次元素和上一层元素有联系的重要性次序的权值，称为层次单排序，再通过计算得到判断矩阵最大特征根 λ_{max} ，求得对应最大特征根的正规范化特征向量 W ，其分量 W_i 为相应权重。

2、模型 II BP 神经网络评价模型

本模型通过 BP 神经网络，进行了训练-仿真的两个基本过程的宜居城市评价。其通过评价体系指标标准的训练，再进行仿真，从而得到评价排名。

3、模型 III 利润敏感分析模型

本模型基于利润分析法，在指标间得到某一个指标对宜居城市指标敏感度，并比较他们的大小就能得出那一项指标发生较大影响时会对宜居城市评价结果产生显著影响。

4、模型 IV 泊松分布概率模型

本模型基于泊松，并比较他们的大小就能得出那一项指标因不确定因素发生较大影响时会对宜居城市评价结果产生较大影响。

5、模型 V 不确定因素下的评价模型

本模型是建立在泊松分布概率模型上的。通过不确定因素概率，确定影响指标的概率。同时通过敏感度归一化转换得到相应的影响因子。基于不确定因素发生概率和影响因子，得到不确定因素下的数据，再将其输入神经网络，就得到了不确定因素下的宜居城市评价模型。

一、问题一和问题二的分析和求解

1、对问题的分析

本题的关键是建立一个评价模型来对问题二中的四省八地进行宜居性评价并将结果进行排名。而建立评价模型的关键是要先筛选出若干能够较好地代表描述宜居性的指标。我们可以通过权重大小进行排名筛选出主要指标，这样就较好地解决了第一问和第二问。

2、模型 I 筛选模型

(1) 模型的准备

①建立宜居城市指标城市层次分析结构一览表

表 1 宜居城市指标层分析结构一览表

| 目标层 A | 准则层 B | 指标层 C |
|------------|---------|---------------------|
| 宜居城市应具有的指标 | 生活环境水平 | 空气质量指数高于或等于 2 级的天数 |
| | | 生活垃圾无害化处理率 (%) |
| | | 生活污水处理率 (%) |
| | | 建成区绿化覆盖率 (%) |
| | 经济繁荣水平 | 城乡居民当年人均储蓄年末余额 (万元) |
| | | 地方财政一般预算内支出 (万元) |
| | | 人均地区生产总值 (元) |
| | | 年末城镇登记失业率 (%) |
| | 教育文化水平 | 教育支出 (万元) |
| | | 每百人公共图书馆藏书 (册、件) |

| | | |
|--|--------|------------------------|
| | | 第三产业增加值占 GDP 比重 (%) |
| | | 文化、体育和娱乐业从业人员比例 (人/万人) |
| | 生活便捷水平 | 移动电话年末用户数 (万户) |
| | | 客运总量 (万人) |
| | | 医院、卫生院床位数 (张/万人) |
| | 社会安全水平 | 交通事故数 (起) |
| | | 人口火灾发生率 (起/十万人) |
| | | 公安机关查处的治安案件数 (起/万人) |

②构造判断矩阵 B

表 2 1——9 比较尺度表

| 标度值 | 含义 |
|---------|---|
| 1 | 同样重要：两个要素对某一属性具有同样的重要性 |
| 3 | 稍微重要：两个要素相比较，一个要素比另一个要素稍微重要 |
| 5 | 明显重要：两个要素相比较，一个要素比另一个要素明显重要 |
| 7 | 非常重要：两个要素相比较，一个要素比另一个要素非常重要 |
| 9 | 极端重要：两个要素相比较，一个要素比另一个要素极端重要 |
| 2,4,6,8 | 表示需要在上述两个标准之间折中时的比量标度 |
| 倒数因素 | i 与 j 比较得判断 a_{ij} ，则 j 比 i 比较的判断 $a_{ji}=1/a_{ij}$ |

采用这种标度可测得判断矩阵 $A=(a_{ij})_{n \times n}$ ，显然该矩阵应有如下性质：

$$\begin{aligned} a_{ii} &= 1 \\ a_{ij} &= 1/a_{ji} && \text{并显然 } (i, j, k=1, 2, \dots, n) ; \\ a_{ij} &= a_{ik} / a_{jk} && \dots\dots (1) \end{aligned}$$

又注意到：

$$a_{ij} = w_i / w_j = (w_i / w_j) / (w_j / w_i)$$

即：

$$a_{ij} = a_{ij} / a_{ji}, i, j = 1, 2, \dots, n$$

因此 a_{ij} 可由 a_{i1} ， a_{j1} 来决定，所以 $A=(a_{ij})_{n \times n}$ 可由第一列的值来决定。其算法如下：当 $i > j, i=1, 2, \dots, n$ ，按如下情况分别算出 a_{ij} ：

$$\begin{aligned} a_{i1} \geq a_{j1} \geq 1 & \quad \text{且 } a_{ij} = a_{i1} - a_{j1} + 1 \\ a_{j1} > a_{i1} \geq 1 & \quad a_{ij} = (a_{i1} - a_{j1} + 1)^{-1} \\ \text{若 } a_{i1} \geq 1 \text{ 且 } a_{j1} < 1 & \quad a_{ij} = a_{i1} + 1/a_{j1} - 1 \\ a_{i1} < 1 \text{ 且 } a_{j1} \geq 1 & \quad a_{ij} = (a_{j1} + 1/a_{i1} - 1)^{-1} \\ a_{j1} \leq a_{i1} < 1 & \quad a_{ij} = 1/a_{j1} - 1/a_{i1} - 1 \\ a_{j1} < a_{i1} < 1 & \quad a_{ij} = (1/a_{i1} - 1/a_{j1} + 1)^{-1} \quad \dots\dots(2) \end{aligned}$$

现通过类似研究^[5]确定第一列元素，由算法（2）得到一个目标层和准则层的判断矩阵，五个准则层和指标层的判断矩阵如附录图 1-6。并求得 A 的最大特

征根 λ_{max} 如表 3:

表 3 各判断矩阵的最大特征值

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-----------------|---|--------|--------|--------|--------|--------|
| λ_{max} | 5 | 3.1237 | 4.2946 | 3.0875 | 4.0403 | 4.2027 |

③一致性检验

当判断矩阵 **A** 具有完全一致性时, $\lambda_{max}=n$,但是一般情况下这是不可能的,为了检验判断矩阵的一致性,我们需要使用下面的式子来计算其的一致性指标:

$$C = (\lambda_{max} - n) / (n - 1)$$

同时我们还需要将其与平均随机一致性指标[6]进行比较,两者之比结果如下表 4:

表 4 各判断矩阵的一致性之比

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-----|---|----------|----------|----------|----------|----------|
| C | 0 | 0.061872 | 0.098213 | 0.043748 | 0.013421 | 0.067582 |

当 C 小于 0.1 时,认为判断矩阵是基本满意一致性矩阵;否则该矩阵不具有基本满意一致性。由表可以看出判断矩阵皆是基本满意一致性矩阵,并通过了一致性检验。

(2) 模型的建立与求解

通过层次单排序确定本层次与之有联系的元素重要性次序的权重值,实际上为计算判断矩阵的特征根和特征向量问题,即对于判断矩阵 **A**,计算满足:

$$Aw = \lambda_{max} w$$

的特征根和特征向量, **W** 是对应最大特征根的归一化特征向量,其分量是对应元素单排序的权重值。得到了如下表的权重值:

表 5 计算权重值表

| | | | |
|------|---|---------------------|--------|
| 生活水平 | 1 | 空气质量指数高于或等于 2 级的天数 | 0.4587 |
| | 2 | 生活垃圾无害化处理率 (%) | 0.0413 |
| | 3 | 生活污水处理率 (%) | 0.0413 |
| | 4 | 建成区绿化覆盖率 (%) | 0.4587 |
| 经济繁荣 | 1 | 城乡居民储蓄年末余额 (万元) | 0.3663 |
| | 2 | 地方财政一般预算内支出 (万元) | 0.0337 |
| | 3 | 人均地区生产总值 (元) | 0.0408 |
| | 4 | 年末城镇登记失业率 (%) | 0.5592 |
| 文化水平 | 1 | 教育支出 (万元) | 0.6467 |
| | 2 | 每百人公共图书馆藏书 (册、件) | 0.0250 |
| | 3 | 第三产业增加值占 GDP 比重 (%) | 0.0250 |
| | 4 | 文化、体育和娱乐业从业人员数 (万人) | 0.3032 |
| 便捷水平 | 1 | 移动电话年末用户数 (万户) | 0.0449 |
| | 2 | 客运总量 (万人) | 0.2947 |
| | 3 | 医院、卫生院床位数 (张) | 0.6604 |
| 安全水 | 1 | 交通事故数(起) | 0.0449 |

| | | | |
|---|---|---------------------|--------|
| 平 | 2 | 人口火灾发生率(起/十万人) | 0.2947 |
| | 3 | 公安机关查处的治安案件数 (起/万人) | 0.6604 |

将各个权重值由上到下分别命名为 $B_{11}, B_{12}, B_{13}, B_{14}, B_{21}, \dots, B_{53}$ 。对其中每一组求各指标综合权重值之和, 即:

$$B_i = \sum_{j=1}^4 B_{ij} = 1, i = 1, 2, 3$$

$$B_i = \sum_{j=1}^3 B_{ij} = 1, i = 4, 5$$

取重要性常数 $a=0.65$, 求满足 $\sum_{j=1}^m B_{ij} / B_j \geq 0.65, i = 1, 2, 3, 4, 5$ 的最小 m 。 m 的

大小分别为 2, 2, 2, 1, 1。于是我们分别得到筛选出以下几个指标, 并根据其原权重值按比例重新分配权重值:

表 6 筛选出的指标及权重

| | | | |
|------|---|---------------------|------|
| 生活水平 | 1 | 空气质量指数高于或等于 2 级的天数 | 0.50 |
| | 2 | 建成区绿化覆盖率 (%) | 0.50 |
| 经济繁荣 | 1 | 城乡居民储蓄年末余额 (万元) | 0.40 |
| | 2 | 年末城镇登记失业率 (%) | 0.60 |
| 文化水平 | 1 | 教育支出 (万元) | 0.66 |
| | 2 | 文化、体育和娱乐业从业人员数 (万人) | 0.34 |
| 便捷水平 | 1 | 客运总量 (万人) | 0.32 |
| | 2 | 医院、卫生院床位数 (张) | 0.68 |
| 安全水平 | 1 | 人口火灾发生率(起/十万人) | 0.31 |
| | 2 | 公安机关查处的治安案件数 (起/万人) | 0.69 |

这样我们就从初始的 18 个指标中筛选出来了 8 个指标。

3、模型 II 评价模型

(1) 模型的准备

①初始化网络及学习参数

为了使 BP 网络能过实现评价的功能, 我们先将其初始化, 使其更贴近我们的已经筛选出的主要宜居城市指标。我们令主要宜居城市指标的个数为 BP 神经网络输入层的节点数, 将宜居程度, 即评价的结果作为模型的输出, 至于隐含层层数和每层的神经元个数我们将在调试程序的试验中确定。

②规格化数据

我们通过查找若干种最佳宜居城市排名, 得到了关于最佳宜居城市的排名以及打分, 我们选取了前十个宜居城市, 并查找其近 6 年的数据, 从中筛选出于我们模型 I 中得到的主要指标的数据, 形成一个表格, 如附录表 2。将这个表作为样本, 将其规格化处理:

$$\tilde{t} = \frac{2(t - t_{\min})}{t_{\max} - t_{\min}} - 1$$

其中: t 为规格化前的变量; t_{\max} 和 t_{\min} 分别为 t 的最大值和最小值; 输入层神经元数取为 8, 输出神经元数取为 1, 即宜居城市评分, 数值越大表示打分

越低，数值越小表示打分越高。

(2) 模型的建立与求解

取作用函数为：

$$f(x) = 1/(1+e)$$

误差计算模型为：

$$E_p = \frac{1}{2} \sum (t_{pi} - O_{pi})^2$$

其中 t_{pi} 表示第 i 节点的期望输出值， O_{pi} 表示第 i 节点的计算输出值。

自学习模型为：

$$\Delta W_{ij}(n+1) = h\Phi_i O_j + \alpha \Delta W_{ij}(n)$$

其中 h 表示学习因子； Φ_i 表示输出节点 i 的计算误差； O_j 表示输出节点 j 的计算误差， α 表示动量因子。

利用 *matlab* 提供的神经网络工具箱实现人工神经网络的功能较为简单，中间隐含层神经元个数 *BP* 网络能在训练过程中自适应地确定。下图为训练结果：

图 1 神经网络训练结果

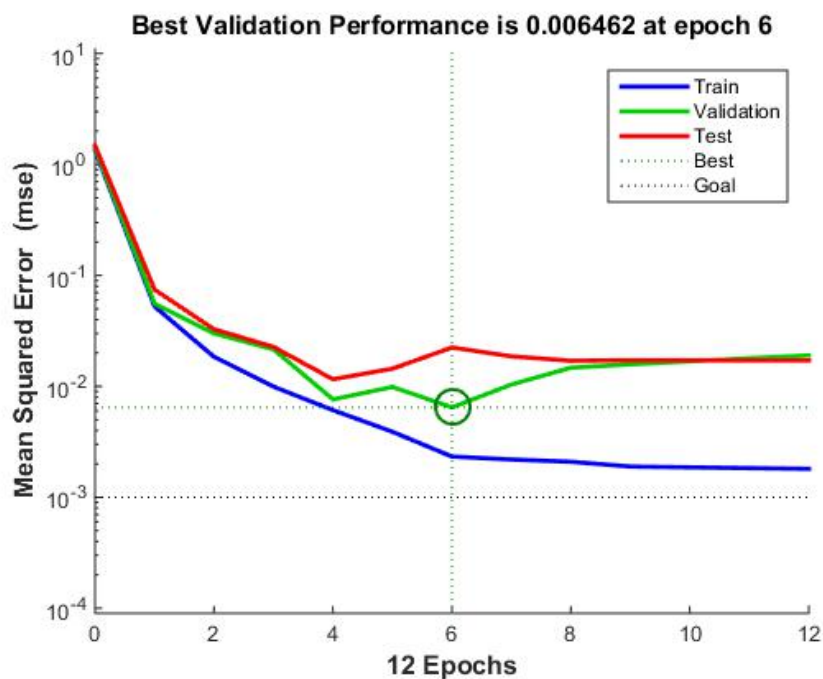
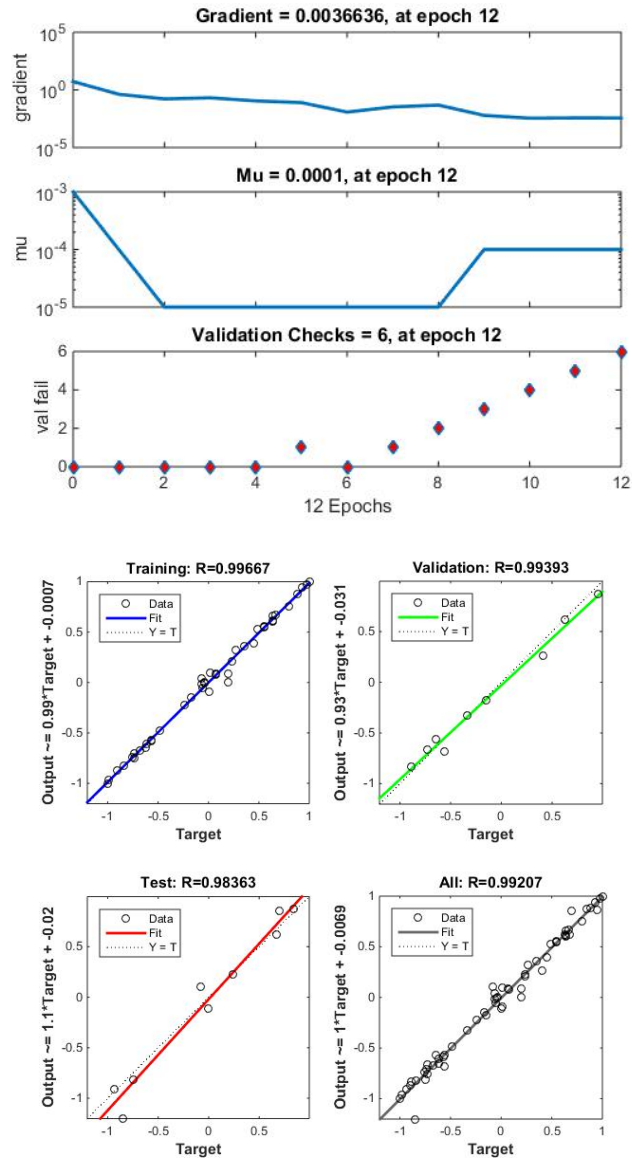


图 2 训练参数变化曲线图（下页）



经过不断试验，隐含层数为 7，隐含层神经元个数取为 50。由图一图二可知，在训练达到第 12epochs 时 MSE 最小，此时精度约为 10^{-3} ，满足要求，可以认为训练完成，进行下一步的仿真。

将四省八地的统计指标数据作为输入，得到输出如下表：

表 7 神经网络评价分数表

| 名称 | 输出值 | 排名 |
|------|--------|----|
| 徐州市 | 1.7016 | 3 |
| 连云港市 | 1.8561 | 4 |
| 宿迁市 | 2.3554 | 6 |
| 宿州市 | 2.5501 | 7 |
| 淮北市 | 1.3248 | 1 |
| 枣庄市 | 1.9501 | 5 |
| 济宁市 | 1.6555 | 2 |
| 商丘市 | 2.6867 | 8 |

于是我们得到了淮海经济区八个城市，宿迁、连云港、宿州、商丘、济宁、枣庄、徐州、淮北的宜居城市排名，从宜居程度大开始，依次是淮北、济宁、徐州、连云港、枣庄、宿迁、宿州和商丘市。

4、模型 III 利润分析敏感度模型

(1) 模型的准备

①确定单因素敏感性分析的具体宜居城市评价指标。由问题一中，我们通过筛选模型，已经从十八个描述宜居城市的评价指标中筛选出了八个主要指标，包括空气质量指数高于或等于 2 级的天数，建成区绿化覆盖率，公安机关查处的治安案件数，年末城镇登记失业率，城乡居民储蓄年末余额，教育支出，文化、体育和娱乐业从业人员数，医院、卫生院床位数。

②确定指标的变化范围。我们分变化大和变化小的两种情况，变化大的情况使指标数据分别变化 $\pm 40\%$ ，变化小的情况分别使指标数据变化 $\pm 20\%$ ，按照上方给出的八个指标的顺序，我们以第一个指标为例，空气治疗指数高于或等于 2 级的天数的指标变化 20%为例，给出相应的得分变化表：

表 8 以第一个指标为例的得分变化

| 指标 序号 | 徐州 | 连云港 | 宿迁 | 宿州 | 淮北 | 枣庄 | 济宁 | 商丘 | 得分 |
|----------|--------|--------|--------|-------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-----------------|
| 1 | 280.8 | 312 | 264 | 315.6 | 294 | 240 | 182.4 | 180 | 1.477530 232 |
| 2 | 43.6 | 40.1 | 42.6 | 34.22 | 40.9 | 41.1 | 37.52 | 40.3 | 1.746223 112 |
| 3 | 27030 | 19758 | 16196 | 15677 | 26953 | 24027 | 28262 | 15183 | 2.263137 78 |
| 4 | 0.3301 | 0.2609 | 0.2115 | 0.2804 | 1.1091 | 0.4799 | 0.3703 | 0.2965 | 2.516712 128 |
| 5 | 152.35 | 74.46 | 81.96 | 55.989 6 | 22.231 8 | 46.060 1 | 114.02 73 | 70.550 2 | 0.881463 894 |
| 6 | 4 | 4 | 2 | 3 | 3 | 4 | 7 | 2 | 1.810016 135 |
| 7 | 43 | 33 | 40 | 29 | 51 | 44 | 51 | 32 | 1.617014 894 |
| 8 | 819 | 777 | 796 | 1058 | 1058 | 613 | 612 | 866 | 2.665060 135 |

(2) 模型的建立与求解

计算敏感度 β ，其公式为：

$$\beta = \left| \frac{\Delta y_i}{\Delta x_i} \right|$$

式中： Δx_i 第 i 个变量 x 变化的幅度； Δy_i 一第 i 个指标 y 由于变量 x 引起的

变动幅度； β ——敏感度。其计算过程为：按照预先指定的变化范围，先改变一个变量因素，其他变量不改变，计算该变量变化的经济效益指标，并与原方案的指标对比，计算这一变量的敏感度；然后再选另一个变量，进行经济效益

指标敏感度的计算。必要时，可同时改变两个变量因素，通过计算，敏感度最大的变量是最敏感的因素，敏感度最小的变量，是最不敏感的因素。按上面的例子这样做，我们将得到 8 个城市的 8 个指标各变化 $\pm 20\%$ 、 $\pm 40\%$ 的得分变化情况。由于数据过多，共有 32 个表格，我们采用 matlab 编程得到大量数据并导出在 excel 中保存。

在同一指标组中我们的最终敏感度 β 为不同变动比例的加权值。最后我们将得到敏感性分析表如下：

表 9 敏感性分析表

| 变动因素 | 变动比例 (%) | 得分 | 敏感度 |
|--------------------|----------|-------------|----------|
| 空气质量指数高于或等于 2 级的天数 | +20 | 1.477530232 | 4.654553 |
| | +40 | 0.979971 | |
| | -20 | 1.768402 | |
| | -40 | 1.778427 | |
| 建成区绿化覆盖率 | +20 | 1.860186 | 0.29592 |
| | +40 | 1.864052 | |
| | -20 | 1.85168 | |
| | -40 | 1.847095 | |
| 公安机关查处的治安案件数 | +20 | 2.352626 | 1.248738 |
| | +40 | 2.353439 | |
| | -20 | 2.362982 | |
| | -40 | 2.372445 | |
| 年末城镇登记失业率 | +20 | 2.576049 | 5.697127 |
| | +40 | 2.594083 | |
| | -20 | 2.514207 | |
| | -40 | 2.465877 | |
| 城乡居民储蓄年末余额 | +20 | 1.326269 | 0.690945 |
| | +40 | 1.32861 | |
| | -20 | 1.324296 | |
| | -40 | 1.324647 | |
| 教育支出 | +20 | 2.00058 | 1.867309 |
| | +40 | 1.630333 | |
| | -20 | 1.891988 | |
| | -40 | 1.849978 | |
| 文化、体育和娱乐业从业人员数 | +20 | 1.706341 | 1.748402 |
| | +40 | 1.640328 | |
| | -20 | 1.528686 | |
| | -40 | 1.334012 | |
| 医院、卫生院床位数 | +20 | 2.965056 | 7.920437 |
| | +40 | 3.154148 | |
| | -20 | 2.366627 | |
| | -40 | 2.064728 | |

由表中的敏感度我们可以看出，有三个指标的变化会对宜居城市的排名产生显著的变化，分别是空气质量、失业率和医院床位数。他们的敏感度是其他指

标的敏感度的 2-4 倍，这三者的变化将会使四省八地的评分变化较大，从而使得排名发生显著变化。

5、模型 IV 泊松分布概率模型

由假设可知各个不确定事件都与自然灾害相似，所以此处以题中所要研究的 8 个城市绝大多数情况且造成主要危害的旱涝灾害为例，研究该两类灾害对第三问中所找出的敏感度较高的指标造成的影响，进而对宜居城市指数造成影响，形成与第二题中不同的排名。

以随机变量 X_i 表示徐州、连云港、宿迁、宿州、淮北、枣庄、济宁、商丘这 8 个城市每 30 年发生的旱涝灾害数。

为了研究旱涝灾害在某一年发生的概率，根据 1644-2003 年每 30 年徐州、连云港、宿迁、宿州、淮北、枣庄、济宁、商丘这 8 个城市发生的旱涝灾害，进行泊松拟合，以其拟合值 λ_i 即数学期望，得出每个城市一年中发生旱涝灾害的概率：

$$p_i = \frac{\lambda_i}{30}$$

泊松拟合过程如下：
对非线性拟合函数

$$y(x) = a \exp(bx)$$

当数据组中的每一 y_i 值均服从泊松概率分布时，应有

$$P_i = \frac{[y(x_i)]^{y_i}}{y_i!} e^{-y_i(x_i)}$$

观测到这一数据组的概率为

$$P(a_1, a_2, \dots, a_n) = \prod_{i=1}^m P_i$$

式中各 a_n 为拟合函数 $y(x_i)$ 中的待定系数。

即

$$\ln P = \sum_i \{y_i \cdot \ln[y(x_i)]\} - \sum_i y(x_i) + \text{常数} \quad (16)$$

由极大似然估计给出

$$\begin{cases} \frac{\partial(\ln P)}{\partial a} = \sum_i y_i \frac{1}{a} - \sum_i \exp(bx) = 0 \\ \frac{\partial(\ln P)}{\partial b} = \sum_i y_i x - a \sum_i x \exp(bx) = 0 \end{cases} \quad (24)$$

应用最小二乘法，可得

$$\begin{cases} \frac{1}{2} \frac{\partial \chi^2}{\partial a} = \sum_i \frac{1}{\sigma_i^2} (y_i - ae^{bx_i}) e^{bx_i} = 0 \\ \frac{1}{2} \frac{\partial \chi^2}{\partial b} = \sum_i \frac{1}{\sigma_i^2} (y_i - ae^{bx_i}) ae^{bx_i} x_i = 0 \end{cases}$$

其中 χ^2 为数据的加权偏差平方和。 $\chi^2 = \sum_i \left\{ \frac{1}{\sigma_i^2} [y_i - y(x_i)]^2 \right\}$

上列方程组可化简为

$$a = \frac{\sum \frac{y_i}{\sigma_i^2} e^{bx_i}}{\sum \frac{1}{\sigma_i^2} e^{2bx_i}} \quad (3)$$

$$\sum \frac{y_i}{\sigma_i^2} e^{bx_i} = \frac{\sum \frac{1}{\sigma_i^2} e^{2bx_i}}{\sum \frac{x_i}{\sigma_i^2} e^{2bx_i}} \sum \frac{x_i y_i}{\sigma_i^2} e^{bx_i} \quad (4)$$

(4) 式是将 (3) 式中的 a 值代入后得到的，它只含变量 b ，对于这一方程，可以采用迭代法求解。给定初值 b_0 ，代入 (4) 式右方，求出左方的新值

$b_1 = b_0 + \Delta b_0$ 。在第 n 次迭代时，从 (4) 式右端代入的 b_n 左端的

$$b_{n+1} = b_n + \Delta b_n \quad (5)$$

对小量 $e^{\Delta b_n x_i}$ 做泰勒展开，(4) 式左方可变为

$$\Delta b_n = \frac{\sum \frac{1}{\sigma_i^2} e^{2b_n x_i}}{\sum \frac{x_i}{\sigma_i^2} e^{2b_n x_i}} - \frac{\sum \frac{y_i}{\sigma_i^2} e^{b_n x_i}}{\sum \frac{x_i y_i}{\sigma_i^2} e^{b_n x_i}} \quad (6)$$

当迭代收敛时，从 (5) 可见，要求 $\Delta b_n \rightarrow 0$

故可令 b 值的允许误差 $\varepsilon = 0.01$ ，当迭代满足 $|\Delta b_n| < \varepsilon$ 时，就可以结束。

(4) 式可以等价变形为

$$\frac{\sum \frac{y_i}{\sigma_i^2} e^{bx_i}}{\sum \frac{1}{\sigma_i^2} e^{2bx_i}} = \frac{\sum \frac{x_i y_i}{\sigma_i^2} e^{bx_i}}{\sum \frac{x_i}{\sigma_i^2} e^{2bx_i}} \quad (7)$$

由 (3) 式可知，(7) 式左右两方都等于 a ，由于 (6) 式的迭代结果， Δb_n 并

不严格等于零，而有 $\Delta b_n \approx \varepsilon$ ，因此将（6）式的 b 值的结果代入（7），方程的两边也并不严格相等。故可从

$$a_n = \frac{1}{x} \left[\frac{\sum \frac{y_i}{\sigma_i^2} e^{bx_i}}{\sum \frac{1}{\sigma_i^2} e^{2bx_i}} + \frac{\sum \frac{x_i y_i}{\sigma_i^2} e^{bx_i}}{\sum \frac{x_i}{\sigma_i^2} e^{2bx_i}} \right] \quad \text{得到参数 } a, \text{ 以此减少它的误差。}$$

拟合得到八个城市的不稳定因素发生概率如下表：

表 10 八个城市的泊松概率

| | 徐州 | 连云港 | 宿迁 | 宿州 | 淮北 | 枣庄 | 济宁 | 商丘 |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 概率 λ_i | 0.601 | 0.564 | 0.700 | 0.650 | 0.808 | 0.756 | 0.739 | 0.706 |

6、模型 V 不确定因素下的评价模型

（1）模型的准备

①敏感度转换为影响因子

将三个敏感度最大的指标通过转换，将其变成不确定因素影响指标的影响因子 γ ，其转换公式为：

$$\gamma_i = \frac{\beta_i}{\sum_{i=1}^3 \beta_i} \quad i = 1, 2, 3;$$

结果如表：

表 11 影响因子大小

| | 1 | 2 | 3 |
|---------------|--------|--------|--------|
| 影响因子 γ | 0.2547 | 0.3116 | 0.4337 |

（2）模型的建立与求解

计算不稳定因素下的影响度：

$$\delta_i = 1 - \beta_i \times \lambda_i \quad i = 1, 2, 3;$$

将影响度和这三个敏感度排名前三的指标数据的乘积，作为新的数据，即不稳定因素下的数据，输入神经网络，输出不稳定因素下八个城市新的得分和排名如下表：

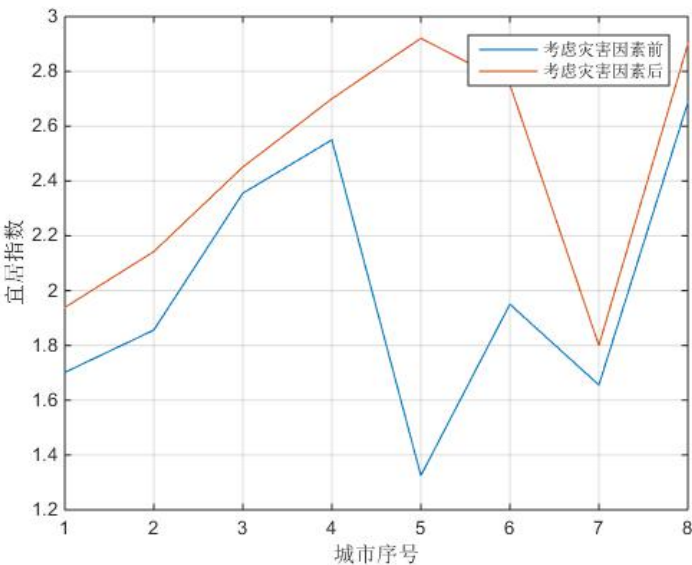
表 12 不稳定因素下的得分

| 序号 | 城市 | 不稳定因素下得分 | 不稳定因素下的排名 |
|----|------|----------|-----------|
| 1 | 徐州市 | 1.91253 | 2 |
| 2 | 连云港市 | 2.42484 | 6 |
| 3 | 宿迁市 | 2.20334 | 5 |
| 4 | 宿州市 | 2.51132 | 8 |
| 5 | 淮北市 | 1.98026 | 3 |
| 6 | 枣庄市 | 2.00015 | 4 |
| 7 | 济宁市 | 1.76154 | 1 |

| | | | |
|---|-----|---------|---|
| 8 | 商丘市 | 2.46750 | 7 |
|---|-----|---------|---|

我们可以将考虑不稳定因素前后的得分作图：

图 3 考虑不稳定因素前后的图



总体上来看，考虑前后曲线总体是比较近似的，反应了发生了不稳定因素后八个城市都收到影响的假设。但是在淮北市处变化较大，经过查找资料我们得知，淮北市在敏感度较大的三个主要指标处相对于其他城市具有更大的优势，而在其他敏感度较小的指标处优势不大，所以敏感度大的指标变化使得淮北市的变化非常距离。这样通过将敏感度大的数据进行一个影响因子的转换，再通过BP神经网络评价，我们就得到了不稳定因素下的评价宜居城市的模型。

§ 6 对徐州市的政策建议

我们在问题三中看到，在主要指标中空气质量、失业率和医院床位数，是影响宜居城市最大的指标。

在没有考虑不稳定因素时徐州排名第三。

在三个敏感度最高的指标中，医院床位数的敏感度最大，这反映了城市公共基础设施是人们心中宜居城市的重要条件，而其中的医疗设备医疗设施等等更是在当下越来越关注健康的人们所特别关心的问题，在实际中，这就是看病难看病贵的民生问题，所以徐州市应切实加强医疗基础设施的建设，一方面照顾中小型医院，为他们提供设备，人员培训等等，提升中小医院的水平，让他们能够在处理小病的同时，为大医院分流，一方面鼓励具有合格合法的私人医院行医，减轻公共基础设施的负担。

排名第二敏感度的是失业率。对于未在城市有稳定工作的流动人口，失业率是他们最关心的话题之一，没有工作就没有收入，基本的生活都难以保障也就难以谈宜居问题。降低失业率并不是简单的问题，但是暂时缓解的方法有较多，包括引入外资，吸纳本地工人；开发新的产业，产业链将带动大批人的生活；社保局和民政局对失业人员进行技能培训实现再就业等等。同时失业率还代表着一个社会是否稳定，失业率过高将使社会上有过多的闲散人员，将对社会稳定产生一定负面原因。所以徐州市政府一方面要主动降低失业率，发展经济，多种措施并下改善失业问题，同时要注意缓解由失业率带来的社会治安稳定问题。

排名第三敏感度的是空气质量。在环境问题越来越突出的现在，空气质量问题已经是人们常常谈论的问题，雾霾，PM2.5 等等词汇早就深入人心，环境问题自然而然的是宜居城市必须要面对的一个问题。其包括市容市貌，空气质量，污水处理，垃圾回收等等。徐州市在当下，要特别注意空气质量的提升，未来随着环保的热度不断上升，这个指标将越来越被人们认为是宜居城市的必要条件，应当限制一些工厂的排放，或者进行产业升级，同时对汽车尾气，扬尘等问题适当地处理。

在考虑到不稳定因素后，徐州的排名上升了一位。徐州在发生不稳定因素影响到敏感度大的指标后，宜居城市评分并没有下降，这说明徐州市在其他敏感度不大的指标方面做得较好，即使影响大的指标变化，其他指标也能够支撑宜居城市评分。今后徐州应在其他方面继续保持并尽可能提高宜居水平。

总之，徐州市今后在发展的时候，一方面要兼顾城市内部的基础设施建设，一方面要兼顾经济发展过程中遇到的环境问题。

§ 7 模型的评价

一、模型的优缺点

1、优点：

(1) 用 *matlab* 软件对数据进行处理并输出表格，同时还能作图，大大节约了输入数据的时间，简单、快捷、直观；

(2) 本文建立的多个模型详细有针对性，从筛选到确定不确定因素影响都通过模型验证，比较客观；

(3) 本文中模型适应性强，能较好地描述问题，并得到解决方案。

2、缺点：

(1) 对于有些指标，统计来源会做一定的周期性变更，有些影响因素未加入考虑范围内。

(2) 用来预测的数据数量不多，预测的误差较大。

(3) 对于第四问，过于简化，使得缺乏不确定因素的双向影响性讨论和不确定因素和指标之间具体的关系。

参考文献

- [1] 胡娟，西安市宜居城市建设评价研究，西安：陕西师范大学，2010.
- [2] 王琳，宜居城市理论与影响因素研究，杭州：浙江大学，2007.
- [3] 中华人民共和国建设部科学技术司，宜居城市科学评价指标体系，http://baike.baidu.com/link?url=RGREx2CUFE40hIS4QZxh-8XaAOhCL02NNBXZHD4rg_vdp079ZFqqhU3LEW0hxsZhbuhM0th1P4v10CoHF_F14JYnmoxuGN5S57ihP1bgVoYyYhRuc04zFJAEMebPOGnlIrK11jmCxOIJ6aN_kTzvnkN61hbTP-0w69ZUPTzaYMptLdgg hAe8LDD4Zpfig82a-5gCawFPGrwMfXs3_YI1dKaeqE0iNi5JnKvf1rXvPRdC，2017 年 4 月 29 日.
- [4] 刘星光 董晓峰 刘颜欣，中国主要城市宜居性发展的地域差异研究，干旱区地理：2014.
- [5] 王建康，城市宜居性评价研究-以福州市为例，福州：福建师范大学 2013.
- [6] 李伯德，AHP 判断矩阵一致性改进方法研究，兰州：兰州大学 2007.
- [7] 司守奎 孙玺菁，《数学建模算法与应用》，国防工业出版社，北京市，2011.

[8] 王雪, 基于 AHP-熵权法和模糊数学的城市生态系统健康评价研究: 2016.

[9] 周荣义 张诺曦 周瑛, 基于 AHP 与重要性指标筛选的神经网络评价模型与应用, 湘潭: 湖南科技大学 2007.

[10] 何璠, 基于 BP 人工神经网络的环境质量评价模型研究, 成都: 四川大学 2006.

[11] 吴光节, 泊松分布下的非线性拟合, 《云南天文台台刊》: 1993.

附录

表一

| | | |
|------|---|--------------------|
| 生活水平 | 1 | 空气质量指数高于或等于 2 级的天数 |
| | 2 | 生活垃圾无害化处理率（%） |
| | 3 | 生活污水处理率（%） |
| | 4 | 建成区绿化覆盖率（%） |
| | | |
| 经济繁荣 | 1 | 城乡居民储蓄年末余额（万元） |
| | 2 | 地方财政一般预算内支出（万元） |
| | 3 | 人均地区生产总值（元） |
| | 4 | 年末城镇登记失业率（%） |
| | | |
| 文化水平 | 1 | 教育支出（万元） |
| | 2 | 每百人公共图书馆藏书（册、件） |
| | 3 | 第三产业增加值占 GDP 比重（%） |
| | 4 | 文化、体育和娱乐业从业人员数（万人） |
| | | |
| 便捷水平 | 1 | 移动电话年末用户数（万户） |
| | 2 | 客运总量（万人） |
| | 3 | 医院、卫生院床位数（张） |
| | | |
| 安全水平 | 1 | 交通事故数(起) |
| | 2 | 人口火灾发生率(起/十万人) |
| | 3 | 公安机关查处的治安案件数（起/万人） |

图 1 准则层判断矩阵

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

图 2 生活环境水平判断矩阵

| | | | |
|-----|------|------|------|
| 1 | 17/9 | 17/9 | 1 |
| 1/9 | 1 | 1 | 9/17 |
| 1/9 | 1 | 1 | 9/17 |
| 1 | 17/9 | 17/9 | 1 |

图 3 经济繁荣水平判断矩阵

| | | | |
|-----|-------|-------|------|
| 1 | 13/7 | 17/9 | 1 |
| 1/7 | 1 | 65/63 | 7/13 |
| 1/9 | 63/65 | 1 | 9/17 |
| 1 | 13/7 | 17/9 | 1 |

图 4 教育文化水平判断矩阵

| | | | |
|-----|------|------|------|
| 1 | 17/9 | 17/9 | 1/3 |
| 1/9 | 1 | 1 | 9/35 |
| 1/9 | 1 | 1 | 9/35 |
| 3 | 35/9 | 35/9 | 1 |

图 5 生活便捷水平判断矩阵

| | | | |
|-----|------|------|------|
| 1 | 17/9 | 17/9 | 1 |
| 1/9 | 1 | 1 | 9/17 |
| 1/9 | 1 | 1 | 9/17 |
| 1 | 17/9 | 17/9 | 1 |

图 6 社会安全水平判断矩阵

| | | | |
|------|---|-----|-----|
| C5 = | | | |
| | 1 | 1/7 | 1/9 |
| | 7 | 1 | 1/3 |
| | 9 | 3 | 1 |

表二

| 指标 1 | 指标 2 | 指标 3 | 指标 4 | 指标 5 | 指标 6 | 指标 7 | 指标 8 | 得分 |
|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|
| 289 | 43 | 34002 | 0.21 | 172 | 5.6 | 48 | 685 | 0.5 |
| 298 | 44 | 32093 | 0.24 | 169 | 5.4 | 49 | 692 | 0.75 |
| 307 | 45.6 | 34226 | 0.26 | 183 | 5.2 | 52 | 724 | 0.5 |
| 324 | 47.3 | 29998 | 0.15 | 172 | 5.6 | 54 | 751 | 0.35 |
| 312 | 42.3 | 30145 | 0.17 | 169 | 5.3 | 62 | 743 | 0.66 |
| 289 | 42.6 | 31004 | 0.12 | 176 | 5.2 | 64 | 712 | 0.62 |
| 294 | 41.6 | 35032 | 0.15 | 180 | 5.1 | 58 | 726 | 0.67 |
| 325 | 46.4 | 38920 | 0.24 | 192 | 6 | 59 | 632 | 0.12 |
| 345 | 45.3 | 34071 | 0.22 | 182 | 5.6 | 49 | 654 | 0.33 |
| 312 | 43.1 | 36482 | 0.19 | 202 | 6 | 56 | 634 | 0.28 |
| 302 | 45.3 | 31029 | 0.15 | 132 | 6.1 | 58 | 657 | 0.73 |
| 313 | 43.2 | 32045 | 0.08 | 182 | 5.2 | 58 | 648 | 0.48 |
| 312 | 44.4 | 34029 | 0.14 | 198 | 5.9 | 59 | 689 | 0.47 |
| 309 | 45.3 | 34903 | 0.21 | 193 | 6.2 | 53 | 634 | 0.26 |
| 298 | 42.3 | 36095 | 0.15 | 198 | 6.4 | 54 | 678 | 0.49 |

| | | | | | | | | |
|-----|------|-------|------|-----|-----|----|------|------|
| 294 | 43.6 | 37504 | 0.09 | 154 | 5.5 | 42 | 689 | 0.58 |
| 273 | 42 | 33241 | 0.32 | 179 | 5.4 | 48 | 690 | 0.85 |
| 333 | 47.8 | 39021 | 0.19 | 209 | 5.9 | 54 | 682 | 0.14 |
| 280 | 47.4 | 35762 | 0.21 | 156 | 5.4 | 59 | 702 | 0.74 |
| 312 | 48.2 | 36023 | 0.17 | 172 | 5.6 | 51 | 672 | 0.21 |
| 234 | 42 | 27030 | 0.3 | 152 | 4 | 43 | 819 | 1.56 |
| 222 | 45 | 24006 | 0.33 | 163 | 4.3 | 42 | 753 | 1.45 |
| 243 | 41 | 25666 | 0.34 | 171 | 4.5 | 39 | 784 | 1.55 |
| 256 | 40.9 | 28900 | 0.35 | 182 | 4.3 | 38 | 823 | 1.49 |
| 226 | 39.6 | 23440 | 0.33 | 143 | 3.9 | 41 | 919 | 1.87 |
| 233 | 40.1 | 25006 | 0.35 | 143 | 3.6 | 38 | 892 | 1.92 |
| 249 | 41.4 | 26773 | 0.35 | 153 | 4.5 | 44 | 792 | 1.46 |
| 263 | 44.3 | 29832 | 0.25 | 164 | 4.5 | 39 | 763 | 1.2 |
| 253 | 43.5 | 28045 | 0.27 | 163 | 4.6 | 42 | 822 | 1.33 |
| 212 | 42 | 25643 | 0.32 | 152 | 4.1 | 38 | 832 | 1.64 |
| 256 | 42.3 | 25974 | 0.3 | 151 | 3.8 | 37 | 982 | 1.88 |
| 245 | 40.2 | 27643 | 0.31 | 164 | 3.9 | 44 | 809 | 1.43 |
| 228 | 42.1 | 29008 | 0.32 | 154 | 4.1 | 43 | 804 | 1.82 |
| 238 | 40.6 | 28674 | 0.3 | 161 | 4.2 | 41 | 783 | 1.82 |
| 239 | 41.7 | 26574 | 0.31 | 163 | 4.5 | 40 | 753 | 1.54 |
| 221 | 42.5 | 28957 | 0.32 | 172 | 4.3 | 36 | 775 | 1.48 |
| 272 | 44.4 | 32093 | 0.23 | 173 | 4.5 | 48 | 745 | 1.06 |
| 254 | 42.4 | 25612 | 0.31 | 149 | 3.9 | 40 | 793 | 1.65 |
| 226 | 41.9 | 27930 | 0.32 | 154 | 4.2 | 41 | 784 | 1.45 |
| 245 | 44 | 27583 | 0.29 | 162 | 4.6 | 47 | 794 | 1.3 |
| 204 | 39.2 | 23021 | 0.39 | 112 | 2.7 | 37 | 902 | 2.5 |
| 162 | 40 | 21002 | 0.45 | 134 | 2.1 | 36 | 1003 | 2.79 |
| 132 | 35.2 | 19203 | 0.46 | 99 | 1.9 | 29 | 962 | 2.93 |
| 143 | 36.8 | 24092 | 0.42 | 100 | 2.1 | 36 | 964 | 2.89 |
| 79 | 38.2 | 23092 | 0.49 | 100 | 1.9 | 28 | 972 | 2.96 |
| 194 | 38.7 | 22093 | 0.36 | 111 | 2.5 | 36 | 892 | 2.45 |
| 172 | 38.3 | 20043 | 0.43 | 130 | 2.6 | 29 | 954 | 2.67 |
| 134 | 32.1 | 21403 | 0.56 | 120 | 2.1 | 20 | 965 | 2.86 |
| 210 | 40.1 | 24039 | 0.33 | 128 | 2.9 | 41 | 890 | 2.23 |
| 224 | 40.5 | 18921 | 0.62 | 154 | 3.6 | 39 | 782 | 2.12 |
| 182 | 38.9 | 24039 | 0.38 | 112 | 2.9 | 35 | 934 | 2.43 |
| 222 | 40 | 23120 | 0.31 | 123 | 3.2 | 40 | 872 | 2.18 |
| 234 | 41.1 | 25409 | 0.37 | 118 | 3 | 38 | 792 | 2.04 |
| 182 | 382 | 22192 | 0.36 | 113 | 2.7 | 45 | 1060 | 2.45 |
| 205 | 40 | 24092 | 0.43 | 109 | 2 | 28 | 954 | 2.53 |
| 164 | 28.4 | 21782 | 0.37 | 142 | 2.6 | 24 | 990 | 2.49 |
| 178 | 37.5 | 20034 | 0.37 | 132 | 2.9 | 39 | 892 | 2.32 |
| 143 | 44.5 | 18921 | 0.45 | 102 | 2.5 | 21 | 962 | 2.74 |
| 187 | 37.5 | 25928 | 0.32 | 134 | 2.9 | 40 | 872 | 2.32 |


```

C1(2,1) = 1/9;
C1(3,1) = 1/9;
C1(4,1) = 1;
for i = 1:1:4
    for j = 2:1:4
        if C1(i,1)>=C1(j,1)>=1
            C1(i,j)=C1(i,1)-C1(j,1)+1;
        else if C1(j,1)>C1(i,1)>=1
            C1(i,j)=1/(C1(j,1)-C1(i,1)+1);
        else if C1(i,1)>=1&&C1(j,1)<1
            C1(i,j)=C1(i,1)+1/C1(j,1)-1;
        else if C1(i,1)<1&&C1(j,1)>=1
            C1(i,j)=1/(C1(j,1)+1/C1(i,1)-1);
        else if C1(j,1)<=C1(i,1)<1
            C1(i,j)=1/C1(j,1)-1/C1(i,1)-1;
        else C1(i,j)=1/(1/C1(i,1)-1/C1(j,1)+1);
        end
    end
end
end
end
end
end

C2 = ones(4);
C2(2,1) = 1/7;
C2(3,1) = 1/9;
C2(4,1) = 1;
for i = 1:1:4

```

```

for j = 2:1:4
    if C2(i,1)>=C2(j,1)>=1
        C2(i,j)=C2(i,1)-C2(j,1)+1;
    else if C2(j,1)>C2(i,1)>=1
        C2(i,j)=1/(C2(j,1)-C2(i,1)+1);
    else if C2(i,1)>=1&&C2(j,1)<1
        C2(i,j)=C2(i,1)+1/C2(j,1)-1;
    else if C2(i,1)<1&&C2(j,1)>=1
        C2(i,j)=1/(C2(j,1)+1/C2(i,1)-1);
    else if C2(j,1)<=C2(i,1)<1
        C2(i,j)=1/C2(j,1)-1/C2(i,1)-1;
    else C2(i,j)=1/(1/C2(i,1)-1/C2(j,1)+1);
    end
end
end
end
end
end
end
end
end

```

```

C4 = ones(3);
C4(2,1) = 7;
C4(3,1) = 9;
for i = 1:1:3
    for j = 2:1:3
        if C4(i,1)>=C4(j,1)>=1
            C4(i,j)=C4(i,1)-C4(j,1)+1;
        else if C4(j,1)>C4(i,1)>=1
            C4(i,j)=1/(C4(j,1)-C4(i,1)+1);

```

```

else if C4(i,1)>=1&&C4(j,1)<1
    C4(i,j)=C4(i,1)+1/C4(j,1)-1;
else if C4(i,1)<1&&C4(j,1)>=1
    C4(i,j)=1/(C4(j,1)+1/C4(i,1)-1);
else if C4(j,1)<=C4(i,1)<1
    C4(i,j)=1/C4(j,1)-1/C4(i,1)-1;
else C4(i,j)=1/(1/C4(i,1)-1/C4(j,1)+1);
end
end
end
end
end
end
end
end

```

```

C5 = ones(3);
C5(2,1) = 7;
C5(3,1) = 9;
for i = 1:1:3
    for j = 2:1:3
        if C5(i,1)>=C5(j,1)>=1
            C5(i,j)=C5(i,1)-C5(j,1)+1;
        else if C5(j,1)>C5(i,1)>=1
            C5(i,j)=1/(C5(j,1)-C5(i,1)+1);
        else if C5(i,1)>=1&&C5(j,1)<1
            C5(i,j)=C5(i,1)+1/C5(j,1)-1;
        else if C5(i,1)<1&&C5(j,1)>=1
            C5(i,j)=1/(C5(j,1)+1/C5(i,1)-1);
        end
    end
end

```



```

else if C5(j,1)<=C5(i,1)<1
    C5(i,j)=1/C5(j,1)-1/C5(i,1)-1;
else C5(i,j)=1/(1/C5(i,1)-1/C5(j,1)+1);
end
end
end
end
end
end
end

A=C0;
[n,n]=size(A);
[V,D]=eig(A);
tempNum=D(1,1);
pos=1;
for h=1:n
    if D(h,h)>tempNum
        tempNum=D(h,h);
        pos=h;
    end
end
w=abs(V(:,pos));
w=w/sum(w);
t=D(pos,pos);
disp(' 准则层特征向量 w=' );disp(w);disp(' 准则层最大特征根 t=' );disp(t);
CI=(t-n)/(n-1);RI=[0 0 0.52 0.89 1.12 1.26 1.36 1.41 1.46 1.49 1.52 1.54
1.56 1.58 1.59 1.60 1.61 1.615 1.62 1.63];

```

```

CR=CI/RI(n);
if CR<0.10
    disp('此矩阵的一致性可以接受!');
    disp('CI=');disp(CI);
    disp('CR=');disp(CR);
else disp('此矩阵的一致性验证失败，请重新进行评分!');
end

for i=1:n
    G=eval(['C', num2str(i)]);
    [m,m]=size(G);
    [V,D]=eig(G);
    tempNum=D(1,1);
    pos=1;
    for h=1:m

        if D(h,h)>tempNum
            tempNum=D(h,h);
            pos=h;
        end
    end
    eval(['W', num2str(i), '=abs(V(:,pos))/sum(abs(V(:,pos)))']);
    eval(['T', num2str(i), '=D(pos,pos)']);
    temp=D(pos,pos);
    CI=(temp-m)/(m-1);RI=[0 0 0.52 0.89 1.12 1.26 1.36 1.41 1.46 1.49 1.52
1.54 1.56 1.58 1.59 1.60 1.61 1.615 1.62 1.63];
    CR=CI/RI(m);
    if CR<0.10
        disp('此矩阵的一致性可以接受!');
    else disp('此矩阵的一致性验证失败，请重新进行评分并在 clear 后重新

```

```

运行程序!');return;

    end

    eval( ['B',num2str(i),'=G' ]);

end

```

神经网络

```

clc

clear

a=load('Data2.txt');  a=a';

P=a(1:8,1:60);

[PN,PS1]=mapminmax(P); T=a(9,:);

[TN,PS2]=mapminmax(T); net1=newrb(PN,TN);

x=a(1:8,end); xn=mapminmax('apply',x,PS1);

yn1=sim(net1,xn); y1=mapminmax('reverse',yn1,PS2);

delta1=abs(a(9,60)-y1)/a(9,60);

net2=feedforwardnet(7);

net2.trainParam.show=50;

net2.trainParam.epochs=500;

net2.trainParam.goal=0.001;

net2 = train(net2,PN,TN);

yn2= net2(xn); y2=mapminmax('reverse',yn2,PS2);

```

第二题评价出的宜居城市得分

```

a=load('Cities.txt');

for i=1:1:8

    x=a(1:8,i);

    xn=mapminmax('apply',x,PS1);

    yn2= net2(xn);

```

```

        DeFen(i,:)=mapminmax('reverse', yn2, PS2);
End

敏感度分析

a=load('Cities.txt');
c=a;
b=a.*1.2;
for j=1:1:8
    c(j,:)=b(j,:);
    for i=1:1:8
        x=c(1:8,i);
        xn=mapminmax('apply', x, PS1);
        yn2= net2(xn);
        DeFen1(i,:)=mapminmax('reverse', yn2, PS2);
    end
    temp(j,1)=sum(abs((DeFen1-DeFen))./DeFen*5);
    c=a;
end

b=a.*1.4;
for j=1:1:8
    c(j,:)=b(j,:);
    for i=1:1:8
        x=c(1:8,i);
        xn=mapminmax('apply', x, PS1);
        yn2= net2(xn);
        DeFen1(i,:)=mapminmax('reverse', yn2, PS2);
    end
end

```

```

        temp(j, 2)=sum(abs((DeFen1-DeFen))./DeFen*5);
        c=a;
    end

    b=a.*0.8;
    for j=1:1:8
        c(j,:)=b(j,:);
        for i=1:1:8
            x=c(1:8,i);
            xn=mapminmax('apply',x,PS1);
            yn2= net2(xn);
            DeFen1(i,:)=mapminmax('reverse',yn2,PS2);
        end
        temp(j, 3)=sum(abs((DeFen1-DeFen))./DeFen*5);
        c=a;
    end

    b=a.*0.6;
    for j=1:1:8
        c(j,:)=b(j,:);
        for i=1:1:8
            x=c(1:8,i);
            xn=mapminmax('apply',x,PS1);
            yn2= net2(xn);
            DeFen1(i,:)=mapminmax('reverse',yn2,PS2);
        end
        temp(j, 4)=sum(abs((DeFen1-DeFen))./DeFen*5);
        c=a;
    end
end

```

```
Sen=sum(temp,2)./4;
```

第四题

```
a=load('disaster.txt');
```

```
for i=1:1:8
```

```
    x=a(:,i);
```

```
    b(i,1)=poissfit(x)/30;
```

```
end
```

```
a=load('Cities.txt');
```

```
b=b';
```

```
m=[4.65,5.69,7.92];
```

```
m=m/(sum(sum(m)))*6;
```

```
a(1,:)=a(1,:).*(1-b*m(1));
```

```
a(4,:)=a(4,:).*(1+b*m(2));
```

```
a(7,:)=a(7,:).*(1-b*m(3));
```

```
for i=1:1:8
```

```
    x=a(1:8,i);
```

```
    xn=mapminmax('apply',x,PS1);
```

```
    yn2= net2(xn);
```

```
    DeFen2(i,:)=mapminmax('reverse',yn2,PS2);
```

```
end
```