

# 基于数据驱动神经网络模型的天津滨海 区域综合承载力评价方法研究

刘爱珍, 司琦, 李明昌

(交通运输部天津水运工程科学研究所 水路交通环境保护技术实验室, 天津 塘沽 300456)

**摘要:** 随着天津滨海区域开发建设的不断深入,开展区域综合承载能力及其动态变化的研究,对于提高区域综合管理水平,实现可持续发展具有重要意义。本文以数据驱动神经网络方法为基础,建立以承载力影响因子与承载力等级之间非线性关系为核心的滨海区域综合承载力评价模型,并以天津滨海区域综合承载力评价的对比研究检验模型有效性。

**关键词:** 区域综合承载力; 数据驱动; 神经网络; 承载力评价

中图分类号: TP183

文献标识码: A

文章编号: 1672- 643X(2012)04- 0083- 03

## Study on the assessment method for regional comprehensive carrying capacity in Binhai District of Tianjin based on neural network model of data-driving

LIU Aizhen, SI Qi, LI Mingchang

(1. Laboratory of Environmental Protection in Water Transport Engineering, Tianjin Research  
Institute of Water Transport Engineering, Tanggu 300456, China)

**Abstract:** With the deep development of construction in Tianjin Binhai District, study on the carrying capacity and its dynamic changes have important significance for improving the regional comprehensive management level and realize sustainable development. Based on a data-driving neural network method, this paper established a comprehensive carrying capacity assessment model by the nonlinear relationship between impact factors and degree of carrying capacity for the kernel. The calibration results showed well in Tianjin Binhai district.

**Key words:** region comprehension carrying capacity; data-driving; neural network; assessment of carrying capacity

天津滨海区域高度开发已导致沿海环境污染日益严重,海洋资源环境负荷已处于过载状态,而未来沿海地区的发展势必给海洋资源环境带来更大的压力。因此,深入开展滨海区域承载能力及其动态变化研究是判断人类社会行为与环境条件相协调的重要依据,是管理部门决策的重要手段,对于保护人类生存环境、实现经济社会可持续发展具有深远现实意义。

自英国学者 Malthus 在《人口原理》一书中提出人口承载力的概念基础<sup>[1]</sup>后,许多国内外学者在不同领域进行了大量的承载力评价与预测研究: Alice

和 Clarke<sup>[2]</sup>,毛汉英等<sup>[3]</sup>,惠泱河等<sup>[4]</sup>研究了承载力评价与指标体系的构建方法;韩增林等<sup>[5]</sup>建立了以系统动力学为基础的海域承载力评价预测方法体系,并对辽宁海域承载力发展状况进行了研究<sup>[6]</sup>;曾敏<sup>[7]</sup>利用元胞自动机模型对环渤海地区的承载力进行了评价预测研究等,但这些方法本身都存在一定的优缺点<sup>[8]</sup>。

本文根据滨海区域综合承载力的复杂性与模糊性,利用数据驱动模型<sup>[9]</sup>神经网络方法<sup>[10]</sup>建立承载力综合评价模型,此模型可以在有限地了解系统物理知识的基础上,仅以影响因子与承载力等级作为模型输入、输出,建立两者之间的非线性对应关系。神

收稿日期: 2012- 02- 28; 修回日期: 2012- 03- 21

基金项目: 大连理工大学海岸和近海工程国家重点实验室研究基金资助项目(LP1108); 天津市科技兴海项目(KJXH2011- 17); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目(TKS090204、TKS100217、KJFZJJ2011- 01)

作者简介: 刘爱珍(1979- ),女,山东东营人,助理研究员,主要从事海洋动力学研究。

通讯作者: 李明昌(1977- ),男,辽宁大连人,博士,副研究员,主要从事海洋环境水力学研究。

神经网络方法具有很强的非线性映射的能力,已在多个领域进行了应用研究<sup>[11]</sup>,并取得了满意的结果。本文采用数据驱动神经网络方法拟合影响因子与承载力等级之间的非线性关系,以天津滨海区域综合承载力评价予以验证,结果表明该方法是有有效的。

## 1 数据驱动模型

传统的工程数值模型是建立在对系统物理过程具有良好的理解的基础之上的,称为知识驱动模型(或过程驱动模型等)。在模型当中,系统物理规律以方程的形式予以表达,并通过有限差分、有限元等数值方法求解,观测数据用于模型验证。

相反,所谓的数据驱动模型是在有限地了解系统物理知识的基础上,仅以系统状态变量作为模型输入、输出,分析系统数据的特点,建立系统状态变量之间的对应关系。数据驱动模型以人工神经网络、模糊逻辑、专家系统和机器学习等方法实现。数据驱动模型是单纯地建立输入、输出数据之间的映射关系,区别于知识驱动模型建立反映两者之间的物理规律的方程。同数据驱动模型相比,过程驱动模型需要详细的系统物理知识去刻画系统的物理过程。

数据驱动模型有如下的表达式:

$$(y_1, \dots, y_i, \dots, y_m) = F(x_1, \dots, x_i, \dots, x_n) \quad (1)$$

式中:  $(x_1, \dots, x_i, \dots, x_n)$  和  $(y_1, \dots, y_i, \dots, y_m)$  分别为系统的输入、输出变量;  $F$  是反映输入、输出变量之间非线性关系的函数。

## 2 人工神经网络

自心理学家 Warren McCulloch 和数学家 Walter Pitts(1943)提出形式神经元模型(MP模型)以来人工神经网络方法迅速发展,并得到了广泛的应用,特别是 Rumelhart 等<sup>[12]</sup>(1986)提出的反向传播(BP)算法,解决了多层前向人工神经网络隐层学习困难的问题,促进了多层网络的发展。BP网络的特点是其能在训练样本的基础之上逼近任意的非线性连续函数<sup>[13]</sup>。

本文采用 BP 人工神经网络作为实现数据驱动模型的基本方法。

其中,神经元函数选用如公式(2)所示的双曲型 Sigmoid 函数(S型函数):

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x+\theta}} \quad (2)$$

式中:  $\theta$  为阈值。

算法中采用均方根误差(RMSE)评价网络的学

习和预测能力,其表达式为:

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - Y'_i)^2 / n} \quad (3)$$

式中:  $n$  为数据个数;  $Y_i$  为实际值;  $Y'_i$  为神经网络预测值。

对 BP 网络中的所有数据进行统一标准的归一化处理:

$$\bar{Y}_i = (Y_i - Y_{\min}) / (Y_{\max} - Y_{\min}) \quad (4)$$

式中:  $\bar{Y}_i$  为归一化后的值;  $Y_i$  为归一化前的值;  $Y_{\max}$  为所有数据中的最大值;  $Y_{\min}$  为所有数据中的最小值。

## 3 承载力评价模型及评价步骤

本文以数据驱动神经网络方法为基础,构建滨海区域综合承载力评价模型,模型基本架构如图1所示,其中输入层为承载力影响因子;输出层为承载力等级,具体的网络参数设置按文献[11]。

承载力评价具体步骤如下:

(1) Step1 基础模型构建。以数据驱动神经网络方法为基础,构建承载力影响因子与承载力等级的非线性关系映射模型,如图1所示。

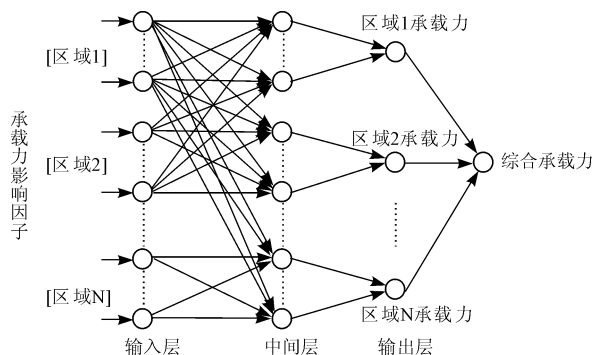


图1 神经网络架构示意图

(2) Step2 非线性关系建立。以承载力影响因子分级标准和等级为样本数据,输入神经网络模型中学习,经拟合获得承载力影响因子与承载力等级之间的非线性关系。

(3) Step3 承载力综合评价。将承载力影响因子实际数据输入到 Step2 中的非线性关系,以式(5)确定综合承载力。

$$CC = \frac{1}{N} \sum_{\varepsilon=1}^N CC^{\varepsilon} \quad (5)$$

式中:  $N$  为区域数;  $CC$  为承载力;  $CC^{\varepsilon}$  为子区域  $\varepsilon$  的承载力,如式(6)所示。

$$CC^{\varepsilon} = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m CC^k \quad (6)$$

式中： $m$  为评价指标数； $CC^k$  为第  $k$  个评价指标的承载力。

(4)Step4 评价等级判定。采用“择近原则”，以海明贴适度<sup>[14]</sup>，进行最终承载力等级的判定。

## 4 天津滨海区域综合承载力评价及结果分析

### 4.1 研究海域

天津滨海区域地处于华北平原北部,以塘沽、汉沽和大港为核心,位于渤海湾顶端,地理坐标位于北纬 38°40′至 39°00′,东经 117°20′至 118°00′,拥有中国最大的人工港,海岸线长 153 km,陆域面积 2 270 km<sup>2</sup>,海域面积 3 000 km<sup>2</sup>。近年来滨海区域经济发展迅猛,但也存在诸如环境质量较差等一系列问题。

### 4.2 承载力评价与结果分析

本文以天津滨海区域 6 大类共计 24 个指标 3 年的综合评价为例检验数据驱动神经网络评价方法的有效性,具体的评价指标与分级标准等数据如文献[15]所示,按照上述评价步骤,得到承载力评价结果如表 1 所示。

表 1 承载力评价结果

| 年度   | 承载力等级 |    |    |    |
|------|-------|----|----|----|
|      | 塘沽    | 汉沽 | 大港 | 综合 |
| 2004 | Ⅲ     | Ⅱ  | Ⅱ  | Ⅱ  |
| 2005 | Ⅲ     | Ⅱ  | Ⅱ  | Ⅱ  |
| 2006 | Ⅲ     | Ⅱ  | Ⅲ  | Ⅲ  |

从表 1 中的综合评价结果可以看出,天津滨海区域综合承载力水平较低,在评价年份内呈逐年下降的趋势:①经济总量很高,但仍属于高投入、高资源消耗、高三废产出的粗放类型,但三废产出有逐步向好的趋势;②人口总量和密集逐年增加;③土地资源匮乏;④水环境质量较差;⑤分布不均衡,汉沽和大港相对较好,但近年来随着临港工业区蓬勃发展其承载力呈下降趋势。

本文建立数据驱动神经网络方法承载力评价模型与非线性隶属函数集对耦合评价方法<sup>[15]</sup>相比,评价结果基本一致,可以为区域发展和管理提供有效的科学依据。

## 5 结 语

本文根据区域综合承载力的复杂性与模糊性及其与影响因子间复杂的非线性关系,建立了以数据

驱动神经网络方法为基础的滨海区域综合承载力评价模型,利用人工神经网络 BP 算法的高非线性映射能力,建立承载力影响因子与承载力等级之间的非线性关系,以天津滨海区域综合承载力评价的对比研究检验模型有效性,结果表明该模型是有效的。

### 参考文献:

[1] Seidl I, Tisdell C A. Carrying capacity reconsidered: from Malthus'population theory to cultural carrying capacity[J]. Ecological Economics, 1999, 38, 395 – 408.

[2] Clarke Alice L. Assessing the carrying capacity of the Florida Keys[J]. Population and Environment, 2002, 23(4): 405 – 418.

[3] 毛汉英,余丹林. 区域承载力的定量研究方法探讨[J]. 地球科学进展, 2001, 16(4): 549 – 555.

[4] 惠洪河,蒋晓辉,黄强. 水资源承载力评价指标体系研究[J]. 水土保持通报, 2001, 21(2): 30 – 34.

[5] 韩增林,狄乾斌,刘 锴. 海域承载力的理论与评价方法[J]. 地域研究与开发, 2006, 25(1): 1 – 5.

[6] 狄乾斌,韩增林. 海域承载力的量化探讨——以辽宁海域为例[J]. 海洋通报, 2005, 24(1): 47 – 55.

[7] 曾 敏. 环渤海地区区域承载力时空评价与预测[D]. 武汉:中国地质大学, 2006, 5.

[8] 杨 维,刘 萍,郭海霞. 水环境承载力研究进展[J]. 中国农村水利水电, 2008(12): 66 – 69.

[9] Solomatine D P. Data – driven modelling: paradigm, methods, experiences [C] // . Proc. 5th International Conference on Hydroinformatics, Cardiff, UK, 2002.

[10] Hornik K. Approximation capabilities of multilayer feedforward networks [J]. Neural Networks, 1991, 2(5): 359 – 366.

[11] 李明昌,梁书秀,孙昭晨. 人工神经网络在潮汐预测中应用研究[J]. 大连理工大学学报, 2007, 47(1): 101 – 105.

[12] Rumelhart D E, Hinton G E, Williams R J. Learning representations by back – propagating errors [J]. Nature, 1986, 323: 533 – 536.

[13] Hornik K, Stinchcombe M, White H. Multilayer feedforward networks are universal approximators [J]. Neural Networks, 1988, 2(5): 359 – 475.

[14] 吴士力. 通俗模糊数学与程序设计[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2008.

[15] 李明昌,张光玉,司 琦,等. 区域综合承载力的多子系统非线性集对耦合评价[J]. 北京理工大学学报, 2010, 31(12): 1479 – 1484