

文章编号:1004-4574(2012)03-0050-06

广东台风灾情预测系统研究

陈仕鸿,隋广军,阳爱民

(广东外语外贸大学,广东广州510006)

摘要:准确预测台风灾情对防台减灾具有重要意义。研究了广东省台风灾情的一种预测系统。该系统将广东省划分为4个区域,引入区域灾害易损性和台风路径类型作为评估因子,采用非线性的GA-BP神经网络,通过2000-2006年广东省台风数据训练和测试,建立了台风灾情预测模型。系统采用C#+Arc Engine进行二次开发,形成了一种集成GIS功能的台风灾情预测系统,以期防台减灾工作提供决策辅助。

关键词:台风灾情预测;GA-BP;地理信息系统;广东省

中图分类号:P444

文献标志码:A

Research on typhoon disaster condition forecasting system of Guangdong Province

CHEN Shihong, SUI Guangjun, YANG Aimin

(Guangdong University of Foreign Studies, Guangzhou 510006, China)

Abstract: Forecasting accurately typhoon disaster condition is very important for preventing typhoon and reducing disaster. This paper studied a typhoon disaster condition forecasting system of Guangdong Province. To build the forecasting model, the system divided Guangdong Province into four areas, introduced the vulnerability of regional typhoon disasters and typhoon paths as evaluation factors, adopted the nonlinear GA-BP neural network, and trained and tested typhoon data of Guangdong Province between 2000 and 2005. The built system used the C# + Arc Engine for post development and finally formed a typhoon forecasting system that integrates the function of GIS, aiming to provide decision aids for the preventing typhoon and reducing disaster work.

Key words: typhoon disaster condition forecasting; GA-BP; geographic information system (GIS); Guangdong Province

西北太平洋和南海是全球最大的台风源,广东省位于太平洋西岸,濒临南海,每年的夏秋两季影响广东的台风平均数达9.8个。台风是广东省影响最大的自然灾害,2006年,仅“珍珠”、“碧利斯”、“格美”和“派比安”4个台风给广东造成的直接经济损失近300亿元,死亡人数达175人。随着全球气候明显变暖,台风的破坏力增大,防台减灾工作显得尤为重要。

在防台减灾决策过程中,灾情预测是其中的一个重要环节。灾情预测是抗灾决策、人员部署、资源调度的重要依据。台风灾害造成的损失数据不能即时的统计出来,依赖于相关行政部门的逐级上报,而对同一灾

收稿日期:2011-08-06; 修回日期:2011-10-21

基金项目:广东省哲学社会科学规划项目(GD11YGL03);广东高校优秀青年创新人才培养计划项目(LYM11062);广东省自然科学基金团队项目(8351030101000002);广东省科技计划重点项目(2010B031900041)

作者简介:陈仕鸿(1979-),男,讲师,硕士,主要从事数据挖掘研究。E-mail:ibm255@126.com

通讯作者:隋广军,教授,博士生导师。E-mail:sgj@gdufs.edu.cn

害,统计时间和统计标准不同也会导致损失数据的差异,统计过程费时费力而数据又不够准确、时效性差^[1]。这些数据对灾后援灾重建有着重要的指导作用,但是远远不能满足一线抗灾救灾及时有效的需要。

由于台风可能引发强风、风暴潮、巨浪、洪涝和泥石流等多种灾害,而且台风灾害本身具有突发性、随机性、时空复杂性等特点,使得灾情预测非常困难。长期以来,台风灾情预测的研究始终是我国台风防灾减灾工作中比较薄弱的环节。目前广东省还没有专门针对台风灾情的预测系统,在这方面的研究也较少,台风损失预测只能靠经验判断,往往存在很大误差。例如2006年台风“碧利斯”路径并没有经过广东境内,却给广东省16个市带来严重的洪涝灾害,779万人受灾,因灾死亡114人,被洪水围困群众108万人,直接经济损失152亿元^[2],政府对灾情预计不足,灾后应变不力,广受诟病。又如2010年登陆之前被媒体称为“史上最强”的台风鲑鱼给广东省带来的实际灾害远低于有关部门的预测,结果是虚惊一场。

目前,我国针对台风灾情预测系统的研发还比较少,张斌^[3]建立了基于GIS的浙江省台风灾害损失评估系统,刘少军^[4]建立了海南省的台风灾害损失评估系统,这两个系统的灾情评估方法只是简单的关联判断,不能确保预测的精确度;方建^[5]以台风综合强度指数和台风风场模型理论为基础,建立了长三角台风灾害快速评估系统,此系统评估过程中忽略了最重要的致灾因子——降雨。只有全面、准确、及时、科学地预测台风灾情,防台减灾工作才能及时且有的放矢,减少台风灾害造成的损失。因此,不断提升台风灾情预测研究水平是当前防台减灾工作的当务之急,具有重要的现实意义。

1 GA - BP 神经网络

1.1 BP 神经网络

人工神经网络是一种应用类似于大脑神经突触连接的结构进行信息处理的数学模型,具有联想记忆、分类识别、优化计算以及非线性映射等近似人脑的一些基本功能。人工神经网络技术是一种非线性的动力学系统,它解决问题时不需要明确事物的内在规律和机理,不依赖复杂的数学模型。神经网络建模的方法一般分为2种,一种是前馈的静态网络,典型的代表是BP网络;另一种是反馈型的动态神经网络。BP(back propagation)神经网络是一种按误差逆传播算法训练的多层前馈网络,是目前应用最广泛的神经网络模型之一。由于篇幅有限,有关BP的更多介绍读者可参考文献[6]。

BP神经网络是有监督学习的网络,训练过程中网络的权值和阈值参数根据网络误差性能进行调整。传统的训练算法需要的训练样本数据多,训练时间长,收敛速度慢;并且BP网络的权值和阈值参数是随机生成的,容易收敛到局部极小,使得网络不稳定。本文采用遗传算法来优化BP神经网络的初始权值和阈值,以解决BP网络随机性强,收敛速度慢的问题。

1.2 遗传算法

遗传算法(genetic algorithm, GA)是一种模拟生物界自然选择和自然遗传机制的随机全局搜索和优化算法。它在搜索过程中自动获取和积累有关搜索空间的知识,并自适应地控制搜索过程以求得最优解。遗传算法利用编码技术,形成类似于染色体的数字串,即个体,每个个体按一定的规则确定出其适应度,遗传算法通过有组织、随机的信息交换形成新的个体,类似生物的进化过程,适应度高的个体有更多的机会遗传到下一代,最终得到最优或者接近最优的解^[7]。

遗传算法的3个基本操作是选择、交叉和变异。选择的目的是择优繁殖,适应度高的个体被选择的概率要大,体现出适者生存的原则。交叉是指两个个体通过部分数字串的组合,形成新的个体,类似基因交换。变异是以某一概率改变数字串某部分的值,产生新的个体,类似于基因突变^[8]。有关遗传算法的更多介绍读者可参考文献[7,8]。

1.3 GA - BP 神经网络模型

基于遗传算法改进的BP神经网络模型,即GA - BP,采用遗传算法对BP网络的参数先行优化。首先随机生成若干组网络参数初值,以网络的误差为适应度,利用遗传算法对这些网络参数初值进行适应度计算;经过若干代进化之后找到最能够适应给定BP网络的一组网络参数,再将这组网络参数用于BP网络,使用训练数据对网络进行进一步优化,最终使输出结果达到要求的精度。因此,GA - BP模型的基本结构应当包括BP网络和遗传算法改进部分两个环节^[9]。GA - BP算法的流程如图1所示。

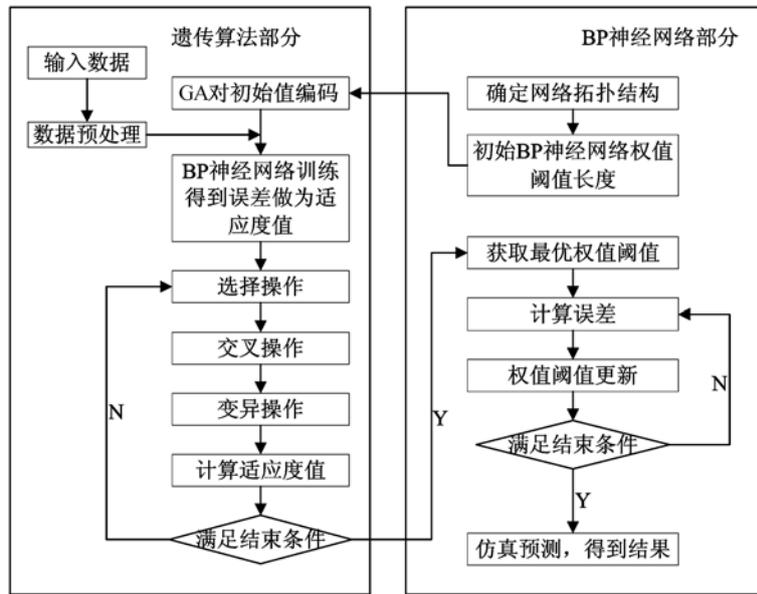


图 1 GA - BP 算法的流程图
Fig. 1 Flowchart of GA - BP algorithm

2 基于 GA - BP 的台风灾情预测模型

2.1 台风灾情预测评估因子分析

台风的气象因子,包括近中心最大风速、中心气压和过程降雨量,是狂风、洪涝和风暴潮等灾害的致灾因子,应选为评估因子。虽然目前有关部门对台风气象的监测资料的空间分辨率已有较大的提高,但是受台风历史数据较为粗糙的限制,本文暂时仅把广东分为几个大区域进行研究。经过对广东省的地理位置、地形特征、经济发展水平、人口密度、台风侵扰的强度和频率等多方面进行分析,将广东分为 4 个区域,分别是珠三角、粤东、粤西、粤北区域,如图 2 所示。实际上台风的灾害程度与降雨的关联度比风速和气压更大^[10],因此在考虑降雨因子时,细分出 4 个区域的过程降雨量和最大日降雨量。

承灾体是承受灾害的对象,承灾体的易损性也是灾害分析的重要部分。参照文献[10]使用模糊综合评价的方法对 4 个区域承灾体易损性进行量化,选取人口密度、人均 GDP、农业占 GDP 比重 3 个因素,计算方法如下:

$$YSX_j = \sum_{i=1}^3 \left(0.5 + 0.5 \cdot \frac{a_{ij} - \min(a_j)}{\max(a_j) - \min(a_j)} \right) \cdot w_i \quad i = 1, 2, 3; \quad j = 1, 2, 3, 4. \quad (1)$$

式(1)中, a_{ij} 为第 j 个区域第 i 个因子的值, w_i 为 3 个因素的权重值,参照文献[11]取值为:0.306, 0.418, 0.276。根据 2001 年广东省统计年鉴数据,计算出 4 个区域的易损性值为:[0.862 0.655 0.677 0.638]。根据台风的 50 mm 以上过程降水和 6 级以上大风影响的范围来确定影响区域。以影响区域的易损性作为一个评估因子。

台风移动时所经过地形的海拔高度、坡向、坡度对台风风速和降水有明显的作用^[12],因此,本研究也引入台风路径的类型作为评估因子。唐晓春在文献[13]中将登陆广东的台风路径分为 4 类,在此基础上增加 1 类影响广东的台风路径,共 5 类,即:路径 1,在广东省西部(阳江 - 徐闻)沿海及海南岛登陆向西移动;路径 2,在珠江口附近(惠东 - 台山)登陆后向偏北方向移动;路径 3,登陆广东东部(饶平 - 海丰)沿海后向偏北方向移动;路径 4,在广东东部沿海登陆后向偏西或西北方向移动^[13];路径 5,在福建登陆向内陆移动。如图 2 所示。

综上,作为预测模型数据输入的评估因子有:4 个区域的过程降雨量、最大日降雨量、全省的过程降雨极值、台风登陆时中心气压、最大风速、台风路径类型,以及影响区域的易损性。

2.2 基于 GA - BP 的台风灾情预测模型构建

本文采用 GA - BP 神经网络方法针对台风的直接经济损失建立台风灾情预测模型。考虑到社会经济发



图 2 广东省四个区域划分及 5 类台风路径图

Fig.2 Zoned four areas and five kinds of path of typhoon in Guangdong Province

展的接近程度,选取 2000 年至 2006 年影响广东省的 21 个台风数据的资料进行分析。台风路径、中心气压等气象因子数据取自中国台风网;台风灾害损失数据取自《中国气象灾害大典:广东卷》,损失金额按 2000 年广东省物价指数为基准进行了换算。将 21 个台风分为大中小灾级 3 组,从每组中分别随机选取 1 个台风数据作为测试集,其余 18 个台风数据作为训练集。程序在 Matlab 中实现,BP 网络 3 层结构节点数为 13 - 16 - 1,输出结果是灾害直接经济损失值。模型的测试结果如表 1 所示。

表 1 基于 GA - BP 神经网络的台风经济损失预测结果表

Table 1 Forecasted economic losses induced by typhoon based on GA - BP neural network

台风编号	灾害等级	损失实际值/亿元	预测值/亿元	误差率/%
200103	大灾	29.6	35.408 9	19.62
200312	中灾	8.7	5.389 9	38.05
200518	小灾	3.4	4.439 8	30.58

从表 1 中可以看出,模型测试结果平均误差为 29.42%,最大误差也在 40% 以内,可以为抗灾救灾工作提供及时的决策辅助信息。今后还需收集更多的训练样本,同时,对模型的内部结构进一步研究,比如网络隐含层数目,训练函数的改进,GA 的交叉、变异算法等,以提高预测的精度。

3 台风灾情预测系统设计及其实现

3.1 系统总体设计

地理信息系统(GIS)具有优越的空间问题求解能力和高效的海量信息数据处理能力^[14],在社会生活的各个方面有着越来越广泛的应用。台风灾情预测模型与 GIS 结合,开发设计台风灾情预测信息系统,能够及时、高效、形象的描绘台风路径、风雨数值和范围等多个方面的综合信息,能够实现台风灾情的及时准确的预测,对于防台减灾决策有着重大意义。本文采用 C#与 ArcEngine 二次开发方法。将预测模型的 GA - BP 程序嵌入到 C#中。ArcEngine 是组件式 GIS,它支持多语言和多系统,开发者通过 ArcEngine 可以定制完整的 GIS 软件,即简化开发工作,又能灵活扩展^[11]。系统界面如图 3 所示。系统功能模块如表 2 所示。

3.2 数据库设计

台风灾情数据库以 MS SQL Server2005 作为后台,数据库包含 3 个数据表:台风资料表、灾害损失数据表和地理信息表。台风资料表收集了 1946 年以来的台风数据,包括:台风编号、台风登陆时间、台风路径、台风

影响地区、每 6 h 记录的台风中心位置数据、近中心最大风速、最低气压、降雨等字段;灾害损失数据表包括:台风编号、灾害影响地区、受灾面积、死亡人数、受伤人数、倒塌房屋、经济损失等字段;地理信息表收集广东省各县以上行政单位的信息,包括:区域面积、GDP、人口、耕地面积、地形地貌特征、农业生产总值、工业生产总值等字段。



图 3 集成 GIS 的台风灾情预测系统截图

Fig. 3 Screen cap of typhoon disaster condition forecasting system integrating GIS

表 2 系统功能模块表

Table 2 List of system functional module

模块名称	模块功能	说明
台风信息	显示台风路径、风速等	基于 GIS 查询台风详细数据等
灾情预测	模型选择	从模型库中选择一个或多个预测模型
	台风数据输入 灾情预测	输入需要台风的灾情预测评估因子数据 执行后可查看预测结果
灾后评估	对历史台风的灾级评估	评估方法见文献[15]
数据管理	台风数据查询	包括台风的风雨数据和灾害损失数据等
	数据更新与维护	数据录入、导入、导出、备份、恢复等
共享平台	资料共享	对特定用户实现数据、资料的共享
用户登陆	普通用户和高级用户	用户管理、后台管理

4 结论和讨论

(1) 本文针对影响广东台风的特点,以及广东省社会经济发展、地理位置地形地貌特点进行分析,提出将广东省划分为 4 个台风影响区域的研究方法。根据影响广东台风的路径特点和频率,将台风路径分为 5 类。新增区域灾害易损性和台风路径类型作为台风灾害预测的评估因子。

(2) 本文从台风灾情预测评估因子的选取、灾情预测模型的建立、集成 GIS 的系统设计 3 个方面介绍了灾情预测系统的设计。通过本系统的研究,不仅可以提高广东省台风灾情预测的准确度,为防台减灾工作提供辅助决策信息,也能为其他省份和地区的台风灾情预测研究提供借鉴。

(3) 目前,广东省台风及其灾害损失数据还很零乱,还没有专门的台风灾害数据库。本研究将通过多种渠道进一步收集数据。但是由于部分历史数据缺失,如何填补缺失数据,也是本研究面临的一大挑战。模型在测试时,采用的是台风的历史数据。在灾害损失预测实际应用中,我们得到的将是气象部门对台风过程降水量、大风等数据的预报值,这可能与实际值会有偏差,将影响预测的精确度。因此,台风影响过程风雨预报

值的精确度也是影响损失预测精确度的重要因素之一。

(4)本研究采用 GA - BP 神经网络作为灾情预测模型,取得较好的效果。但是,为避免单一模型预测失效时带来的误导,提高预测准确性,降低预测风险,可采用组合模型方法进行综合预测。挑选出 n 个最优的模型,组成模型组合,根据各组合中各模型的可信度,设置模型权重 $w_i, i = 1, 2, \dots, n$, 实践预测应用时,根据各模型的预测结果进行综合评判,评判结果 $Y = \sum w_i \times y_i, i = 1, 2, \dots, n$, 其中 y_i 为各模型的预测结果,这也是下一步研究的重点。

参考文献:

- [1] 娄伟平,陈海燕,郑峰,等. 基于主成分神经网络的台风灾害经济损失评估[J]. 地理研究,2009,28(5):1243 - 1255.
LOU Weiping, CHEN Haiyan, ZHENG Feng, et al. Economic loss assessment of typhoon based on principal component analysis and neural network[J]. Geographical Research, 2009,28(5):1243 - 1255. (in Chinese)
- [2] 广东省应急网. 2006 年防御强热带风暴“碧利斯”案例分析[EB/OL]. 广东省应急网, 2012. 1. 17 [2007. 12. 17]. http://www.gdemo.gov.cn/ywwk/alk/200712/t20071217_37987.htm.
gdemo.gov.cn. 2006 defense strong tropical storm “BILIS” case analysis[EB/OL]. gdemo.gov.cn., 2012. 1. 17 [2007. 12. 17]. http://www.gdemo.gov.cn/ywwk/alk/200712/t20071217_37987.htm. (in Chinese)
- [3] 张斌,陈海燕,顾骏强. 基于 GIS 的台风灾害评估系统设计开发[J]. 灾害学,2008,23(1):47 - 50.
ZHANG Bin, CHEN Haiyan, GU Junqiang. Development of typhoon disaster evaluation system based on GIS[J]. Journal of Catastrophology, 2008,23(1):47 - 50. (in Chinese)
- [4] 刘少军,张京红,何政伟,等. 基于 GIS 的台风灾害损失评估模型研究[J]. 灾害学,2010,25(2):64 - 67.
LIU Shaojun, ZHANG Jinghong, HE Zhengwei, et al. Study on assessment model of typhoon disaster losses based on GIS[J]. Journal of Catastrophology, 2010,25(2):64 - 67. (in Chinese)
- [5] 方建,徐伟,史培军. 台风灾害快速评估信息系统设计与开发[J]. 北京师范大学学报:自然科学版,2011,47(5):517 - 521.
FANG Jian, XU Wei, SHI Peijun. Development of an information system for rapid assessment of typhoon disaster[J]. Journal of Beijing Normal University:Natural Science, 2011,47(5):517 - 521. (in Chinese)
- [6] 朱凯,王正林. 精通 MATLAB 神经网络[M]. 北京:电子工业出版社, 2010:193 - 200.
ZHU Kai, WANG Zhenglin. Mastering MATLAB Neural Network[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2010:193 - 200. (in Chinese)
- [7] 周明,孙树栋. 遗传算法原理及应用[M]. 北京:国防工业出版社,1999:4 - 11.
ZHOU Ming, SUN Shudong. The Theory and Application of Genetic Algorithm[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 1999:4 - 11. (in Chinese)
- [8] 雷英杰,张善文,李续武,等. MATLAB 遗传算法工具箱及应用[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2005:3 - 13.
LEI Yingjie, ZHANG Shanwen, LI Xuwu, et al. The Toolbox and Application of MATLAB Genetic Algorithm[M]. Xi'an: Xi'an Electronic Science and Technology University Press, 2005:3 - 13. (in Chinese)
- [9] 万玉琼,梁俊有. 基于遗传算法改进 BP 网络的灾害预测模型研究[J]. 中国水运,2008,8(4):255 - 257.
WAN Yuqiong, LIANG Junyou. Research of disaster forecasting model based - on BP neural network improved by genetic algorithm[J]. China Water Transport, 2008,8(4):255 - 257. (in Chinese)
- [10] 张庆红,韦青,陈联寿. 登陆中国大陆台风影响力研究[J]. 中国科学:地球科学, 2010,40(7):941 - 946.
ZHANG Qinghong, WEI Qing, CHEN Lianshou. Research of typhoon influence landing Chinese mainland[J]. Science China:Science Earth, 2010,40(7):941 - 946. (in Chinese)
- [11] 丁燕,史培军. 台风灾害的模糊风险评估模型[J]. 自然灾害学报,2002,11(1):34 - 43.
DING Yan, SHI Peijun. Fuzzy risk assessment model of typhoon hazard[J]. Journal of Natural Disasters, 2002,11(1):34 - 43. (in Chinese)
- [12] 刘少军,张京红,何政伟,等. 地形因子对海南岛台风降水分布影响的估算[J]. 自然灾害学报,2011,20(2):196 - 199.
LIU Shaojun, ZHANG Jinghong, HE Zhengwei, et al. Estimate of topography influences on precipitation distribution during typhoon process in Hainan Island[J]. Journal of Natural Disasters, 2011,20(2):196 - 199. (in Chinese)
- [13] 唐晓春,刘会平,潘安定,等. 广东沿海地区近 50 年登陆台风灾害特征分析[J]. 地理科学,2003,23(2):192 - 187.
TANG Xiaochun, LIU Huiping, PAN Anding, et al. Analysis of disastrous features of landing typhoon in coastal regions of Guangdong Province in recent 50 years[J]. Scientia Geographica Sinica, 2003,23(2):192 - 187. (in Chinese)
- [14] 朱仕杰,南卓铜. 基于 ArcEngine 的 GIS 软件框架建设[J]. 遥感技术与应用,2006,21(4):385 - 390.
ZHU Shijie, NAN Zhuotong. Building GIS framework base - on ArcEngine[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2006,21(4):385 - 390. (in Chinese)
- [15] 陈仕鸿,刘晓庆. 基于离散型 Hopfield 神经网络的台风灾情评估模型[J]. 自然灾害学报,2011,20(5):47 - 52.
CHEN Shihong, LIU Xiaoqing. Typhoon disaster evaluation model based on discrete Hopfield neural network[J]. Journal of Natural Disasters, 2011,20(5):47 - 52. (in Chinese)