

RBF神经网络在GPS高程拟合中的应用



张莉¹, 李羽荟²

(1. 常州市武进规划与测绘院, 江苏常州 213159; 2. 江苏省工程物理勘察院, 江苏南京 210008)

摘要:通过对离散GPS/水准点观测数据进行拟合从而获得区域内任意一点的高程异常是工程实践中经常遇到的问题。利用RBF神经网络方法进行了GPS水准高程拟合实验,并将得到的高程异常结果与采用BP神经网络方法和二次曲面拟合法得到的结果进行了分析比较;通过3种方式的分析比较,证明利用RBF神经网络进行GPS高程拟合的可行性以及相比其他方法所具备的优势。

关键词: RBF神经网络; GPS高程拟合; 精度分析

中图分类号: P228.42

文献标志码: B

文章编号: 1672-4623 (2011) 05-0023-03

将GPS观测的大地高转换为正常高,需要知道相应点的高程异常。通过对离散GPS水准点进行拟合从而获得任意一点的高程异常是较常采用的一种途径。高程异常拟合的方法很多,常用的有多项式拟合法、Shepard曲面拟合法、多面函数法、Kriging方法、样条函数法、神经网络法等^[1-3]。人工神经网络因其强大的自学习、自组织和自适应能力在非线性系统的预测中得到广泛的应用。杨明清(1999)、胡伍生(2002)、高宁(2006)等将反馈式BP(Back-Propagation)神经网络应用于GPS/水准高程拟合,取得了很好的结果^[3-5]。但BP算法存在收敛速度慢,过学习,易陷于局部收敛等问题,不利于广泛应用^[6]。近年来,作为一种单隐层前向无反馈神经网络,径向基函数(RBF)神经网络在系统建模、计算机视觉、函数逼近、图像处理、地震预测众多领域得到广泛应用^[7]。RBF网络结构简单,有较强的非线性映射能力,适合于多变量函数的逼近,且具有全局最优和局部逼近性能,避免了BP神经网络繁琐、冗长的计算^[7],非常适合于空间散乱数据拟合。RBF神经网络通常需要解决4方面的问题:径向基函数的构造或选择、网络结构(基函数中心个数及其中心向量)、宽度参数(也称尺度参数)及网络输出权值的确定。其中,网络结构和宽度参数的确定是决定整个网络性能的关键。本文将RBF神经网络方法应用于GPS水准高程拟合研究,并针对上述问题给出了其具体的学习算法。在此基础上,选择某一地区的GPS水准实测数据,利用RBF神经网络方法进行了GPS水准高程拟合实验,并将得到的高程异常结果与采用BP神经网络方法和二次曲面拟合法得到的结果进行了比较分析。

1 RBF神经网络

RBF神经网络是一种三层前馈式神经网络,包括一个输入层,一个隐含层和一个线性输出层,其网络拓扑结构如图1所示。隐层节点(基函数中心)以径向基函数为核函数,其对输入矢量产生局部响应,输出节点对隐层节点的输出进行线性加权,从而实现输入空间到输出空间的映射,使整个网络达到函数逼近的目的^[7]。其数学表达式为:

$$f(\mathbf{x}) = \sum_{i=1}^n w_i \phi(\|\mathbf{x} - \mathbf{c}_i\|, r_i) \quad (1)$$

式中, w_i 是网络连接权值; $\phi(\|\mathbf{x} - \mathbf{c}_i\|, r_i)$ 是径向基函数; \mathbf{x} 为输出向量; \mathbf{c}_i 基函数中心向量; r_i 为宽度参数。径向基函数是局部分布、中心径向对称、非负衰减的非线性函数,它的2个参数,基函数中心和宽度参数,将确定对输入产生显著响应的范围。

2 RBF神经网络的学习算法

RBF神经网络的学习算法有许多种,通常采用的是自组织选取中心法。选择RBF神经网络中心向量的一个最基本的原则是:隐含层的每一个RBF神经元的中心向量的位置必须是不同的。假设训练数据或样本点对于问题有足够的代表性,那么,RBF神经元的中心向量可以在训练数据中选取;也可以采用聚类分析方法,对自变量空间的训练样本点进行聚类,将训练数据聚成 m 类,以各类的中心为径向基函数的中心,各类的方差变换为宽度参数。早期依据经验划分样本类,从中选取中心,样本密集处适当多选些,若分布均匀,则均匀选取。经验聚类十分粗糙,在自变量维数较高

收稿日期:2011-02-22

项目来源:江苏省高校自然科学研究资助项目(10KJB420001)。

时,更难进行。基于以上原因 Moody-Darken 提出了 K-mean 聚类算法,是目前采用较多的聚类分析方法。下面主要介绍基于K-mean 聚类的 RBF 神经网络学习算法。

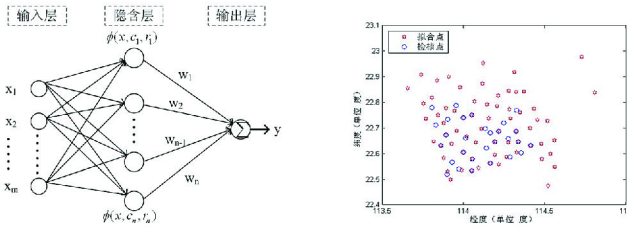


图 1 RBF 神经网络的拓扑结构 图 2 某地区 GPS/水准拟合点和检核点分布图

2.1 基于 K-mean 聚类构造基函数中心

- 1) 网络初始化: 随机选取 m 个训练样本作为聚类中心 $c_i (i=1,2, \dots, m)$;
- 2) 将输入的训练样本集合按最近邻近规则分组: 按照 x_p 与中心 c_i 之间的欧式距离将 x_p 分配到输入样本的各个聚类集合 $\psi_p (p=1,2, \dots, p)$ 中;
- 3) 重新调整聚类中心: 计算各个聚类集合 ψ_p 中训练样本的平均值,即新的聚类中心 c_i ,如果新的聚类中心不再发生变化,即所得的 c_i 即为 RBF 神经网络最终基函数中心,否则返回 2), 进入下一轮的中心求解。

2.2 宽度参数的确定

RBF 神经网络的宽度参数 r_i 可由下式求解:

$$r_i = \frac{c_{\max}}{\sqrt{2m}} \quad i=1,2, \dots, m \quad (2)$$

式中, c_{\max} 为所选取中心之间的最大距离; m 为中心个数。

2.3 隐含层和输出层之间权值的确定

隐含层和输出层之间神经元的链接权值可以用最小二乘法计算得到, 计算公式如下:

$$W_j = (R^T R)^{-1} R^T T_j \quad (3)$$

式中, R 为隐含层输出向量; T 为网络输出目标向量; j 表示为第 j 个输出层神经元。

3 实验结果与分析

3.1 GPS 水准数据预处理

本文选用某地区的 96 个 GPS 水准点进行了实验, 其中 67 个作为拟合点, 29 个作为检核点, 图 2 为 GPS 水准点空间分布图。因为 GPS 经纬度的保存格式为 DD (度). MM (分) SS. (秒), 所以首先将经纬度的格式统一转换为度, 并根据 GPS 大地高和水准正常高计算出每个点的高程异常。另外为了加快网络的收敛速度, 我们对数据做了归一化的处理。

3.2 RBF 神经网络的训练结果及精度分析

本文运用 MATLAB 的 RBF 神经网络工具箱来进行

GPS 水准拟合的计算实验。MATLAB 是一款功能强大的专业计算软件, 它的神经网络工具箱提供了很多经典的学习算法, 使用它能够实现对实际问题的建模求解。由于其编程简单, 给使用者节省了大量的编程时间, 使其能够把更多的精力投入网络设计而不是具体的程序实现上。

GPS 水准高程拟合一般采用 2 个神经元输入, 分别为经度和纬度。按照 RBF 神经网络算法, 本文中首先以经纬度作为网络的输入向量, 以高程异常作为网络输出向量进行了网络训练。因为通常认为扩展输入层的神经元个数有利于加快网络的学习速度和网络的精度, 本文也研究了扩展 RBF 神经网络中输入层神经元个数对网络性能可能产生的影响。当然输入层神经元个数并不是越多越好, 这会大大地增加计算量。本文中将原来的参数 (x, y) 扩充为 (x, y, x^2, xy, y^2) 即 RBF 输入层的神经元个数由 2 个变为 5 个。从图 3 可以看出, 扩展 RBF 神经网络输入层神经元数目后其计算精度并没有很明显的提高, 这说明了并非扩展输入层神经元数目就可以很大程度地提高网络的计算精度, 同时也说明了只以经纬度作为输入层输入的 RBF 神经网络完全能够满足用于 GPS 高程拟合并且取得较高的精度。当然不能忽略的是, 扩展后网络计算所得高程异常的最大残差值有了相对的降低。

值得注意的是, 由于在文献 [14] 中描述到在另一种神经网络结构中即 BP 神经网络中若将大地高也扩展为输入神经元时能够极大地提高网络的性能, 拟合精度将得到极大的提高。因此, 本文也尝试将大地高扩展为输入神经元, 然而却得不到满意的结果, 拟合精度非但没提高, 反而出现了非常大的误差。因此, 可以看出在 RBF 神经网络中将大地高也扩展为网络输入值并不一定能够提高网络的性能和拟合精度, 甚至还可能极大地影响拟合效果。

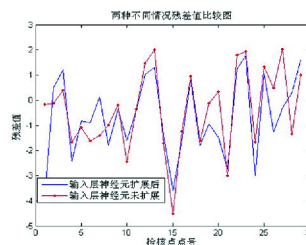


图 3 2 种不同结构的 RBF 神经网络拟合外部点检核残差图

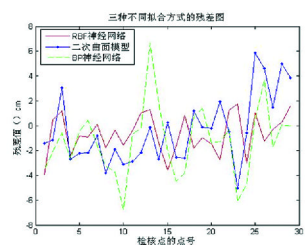


图 4 不同 GPS 水准高程拟合方法外部点检核残差图

为了进一步验证用 RBF 神经网络进行 GPS 高程拟合的可行性, 本文也分别用 BP 神经网络和二次曲面拟合法对相同的数据进行高程拟合实验。图 4 是不同 GPS 水准高程拟合方法外部点检核残差图, 表 2 是其结果

统计。从中可以发现,相对于用BP神经网络和二次曲面拟合的方法,RBF神经网络方法不仅提高了拟合精度而且残差值的变化范围也更小。这说明应用RBF神经网络进行GPS水准高程拟合是可行的,完全可以满足常规工程的精度需要。

表2 不同GPS水准高程拟合方法检核结果统计/cm

	最大残差	最小残差	内符合精度	外符合精度
RBF神经网络	1.8	-3.9	1.0	1.7
BP神经网络	6.6	-6.8	2.4	3.4
二次曲面拟合	5.9	-5.0	3.5	2.8

4 结 语

本文将RBF神经网络方法应用于GPS水准高程拟合,并针对RBF神经网络中心的构造、基函数宽度参数的确定等给出了具体的网络学习算法。实例计算结果表明,RBF神经网络结构简单,具有良好的推广性,适合于GPS水准高程拟合。同BP神经网络和二次曲面拟合方法的比较也可以看出,RBF神经网络取得了更好的拟合效果。不过需要强调的是,K-mean算法虽然很大程度上提高了聚类算法的性能,也较为常用,但它同样存在缺点:聚类结果对初始条件敏感,若初始参数设置不当,会导致死节点问题;类别数必须预先指定,但类别数的选定又会影响聚类性能,因而

使用该算法常常要通过不断的调试来得到一个最适宜的隐含层数目。因此如何构造良好的RBF神经网络结构仍值得进一步研究。

参考文献

- [1] 杨元喜,刘念.重力异常的一种逼近方法[J].测绘学报,2001,30(3):192-196
- [2] 张菊清,刘平芝.抗差趋势面与正交多面函数结合拟合DEM数据[J].测绘学报,2008,37(4):526-530
- [3] 杨明清,靳蕃,朱达成,等.用神经网络方法转换GPS高程[J].测绘学报,1999,28(4):301-307
- [4] 胡伍生,华锡生,鲍兴南.转换GPS高程的神经网络模型试验研究[J].测绘工程,2002,11(3):53-56
- [5] 高宁,高彩云,吴良才.关于BP神经网络转换GPS高程的若干问题[J].测绘工程,2006,15(3):67-69
- [6] 李红连,黄丁发,李春华.基于径向基函数神经网络的GPS高程转换方法[J].中国公路学报,2006,19(4):7-10
- [7] 卢涛,陈德钊.径向基网络的研究进展和评述[J].计算机工程与应用,2005,4:60-62
- [8] 方毅,雒卫民.模糊神经网络在GPS高程转换中的应用[J].地理空间信息,2009,7(4):108-110
- [9] 王殊伟,李斐,柯宝贵,等.基于BP神经网络算法GPS水准高程转换[J].武汉大学学报:信息科学版,2009,34(10):1190-1194
- [10] 刘谊,汪民主,汪金花.GPS高程二次曲面拟合及其程序[J].矿山测量,2004(2):12-14

第一作者简介:张莉,工程师,主要从事工程测量。

(上接第2页)是三维建模、空间分析等必不可少的数据源。对专业部门用户将业务数据叠加高程数据进行三维分析,可以获取更多的专业信息。

影像数据和高程数据一般按照不同的比例尺以标准分幅形式保存成影像数据集。高程数据采用的数据源比例尺包括1:250 000、1:50 000和1:10 000 3种。高程数据的从表现形式上主要有晕渲图、DOM或DLG叠加高程数据的三维显示;同时高程数据还用于空间分析等功能。

3 结 语

公共服务平台数据体系是公共服务平台的主要组成部分,其内容、标准规范、生产流程在实践中还在不断完善。本文主要对公共服务平台数据体系的用户、数据需求、数据体系的内容及功能做了简要的描述。随着信息技术的发展,公共服务平台的广泛应用,必将在政府宏观决策、防灾减灾、人民群众的日常生活等方面发挥巨大的作用。

参考文献

- [1] 国家测绘局.关于印发国家地理信息公共服务平台建设专项规划的通知(国测成字[2009]1号)[G].北京:国家测绘局,2009
- [2] 国家测绘局.关于加快推进国家地理信息公共服务平台建设的指导意见(附平台技术设计指南)(国测成字[2009]7号)[G].北京:国家测绘局,2009
- [3] 国家测绘局.数字城市地理空间信息公共平台地名/地址分类描述及编码规则[S].北京:国家测绘局,2008
- [4] 徐开明.地理信息公共服务平台建设与现代测绘服务模式[J].地理信息世界,2006,4(3):41-48
- [5] 蒋捷.应对地理信息在线服务需求建设国家地理信息公共服务平台[J].地理信息世界,2009,6(3):6
- [6] 宋新龙.地理信息公共服务平台建设的思考[J].地理信息世界,2010,2(1):7-8
- [7] 蒋捷,黄蔚,卢卫华,等.地理信息公共服务平台地理实体数据建模研究[J].地理信息世界,2009,7(4):11-18

第一作者简介:袁存忠,正高职高级工程师,主要研究方向为空间数据库、地理信息工程。

Design of Data System in Interprovincial Public Service Platform of Fundamental Geographic Information by *YUAN Cunzhong*

Abstract Data system is an important part of Public Service Platform. This paper mainly described the public service platform's requirement, data organizing and content. And it would provide reference for public service platform project.

Key words public service platform ,data system ,geographic entity , address ,electronic map (Page:1)

Monitoring Ground Deformation in Datun Central District of Xuzhou Using Two Pass D-InSAR by *HE Min*

Abstract Differential Synthetic Aperture Radar Interferometry is a newly developed technique for monitoring large-scale ground deformation. This paper firstly introduced the principle of two-pass D-InSAR and then the subsidence of the Datun central district. Xuzhou from 2007.3 to 2009.1 was detected. The result showed 3 mm of mean subsidence and 33.5 mm/year of maximum subsidence during the period, which was correspond with the leveling measurement. It illustrated the deformation extracted from two-pass D-InSAR technique can reflect the actual state of the area.

Key words D-InSAR ,two pass ,ground deformation , datun central district of Xuzhou (Page:3)

Primary Usages of UAV Remote Sensing in Geological Disaster Monitoring and Rescuing by *HAN Wenquan*

Abstract The technology of UAV(Unmanned Aerial Vehicle) remote sensing has entered in the application stage over theoretical research, and it has achieved great progress in recent decades. The UAV remote sensing shows obvious advantage in the prevention and response of natural disasters. This issue introduced the composition of UAV remote sensing system ,the technique of data obtaining and processing and the usages in monitoring geological disaster, rescuing and the assessment of loss and potential secondary disasters. The example application of UAV remote sensing took active effect in emergency rescue of large rockslide disaster what happened in Jiweishan Wulong county, Chongqing . In the end of this paper, the advice for UAV remote sensing research and expects of the expanded application in different fields were proposed.

Key words UAV Remote Sensing, geological disaster monitoring, emergency rescue, disaster assessment (Page:6)

Design Method for Spatial Data Model Based on Object-oriented

by *LI Jingwen*

Abstract The spatial data model is the base of GIS data organization, expression, analysis, processing and application. Both related definition, construction method of the object and the organization and management model of the spatial data were presented from the point of object-oriented. Finally, urban road traffic information was taken as an example. And the object organization and construction process of that was designed. The research set up a way of constructing and sharing the spatial database.

Key words GIS , spatial data model ,object-oriented (Page:9)

Structure Parse of Symbolic Library Files and Realization of Custom Symbol in CASS7.0 by *WANG Mingxiao*

Abstract CASS, which is the topographical and cadastral survey system, not only can link digital mapping system and interface of GIS, but also customize the personal code and custom the cartographic symbol. Through the parse of document organization of CASS7.0 symbolic library, this paper analysed the feasibility of perfecting symbolic library

of serial scale topographic map by customizing symbol and unfolded the realization process of symbol customization.

Key words CASS ,symbolic library ,coding ,customize (Page:12)

Land Comprehensive Assessment in Urban Planning Based on GIS

by *XIE Yanyi*

Abstract The paper took Nankang city as example, and had assessed land comprehensive, ECO-Environment sensitivity, and Geographic and traffic conditions. By ArcGIS, the paper established a GIS model of land comprehensive assessment and studied the method of city land comprehensive assessment according to GIS technique.

Key words urban overall planning ,land comprehensive assessment , GIS (Page:15)

Study on HBCORS Regional Subcenter Construction

by *WEI Zhong*

Abstract Accelerating the construction of regional subcenter is an important factor that can establish continuous, steady, high-efficient operation of the Hubei service system of satellite positioning(HBCORS). Based on actual conditions of our province, this text analyzed objectively the existing conditions of space station in our province and the difficulty we had been facing, then made a series of regional construction principles of regional subcenter. Based on these principles, we orderly arranged our province regional subcenter and regulated the main duty of all regional subcenter in system design.

Key words regional subcenter, CORS ,satellite positioning(Page:18)

Design of Surveying Controlling Results Management System Using ComGIS Technique

by *ZHANG Zhile*

Abstract Survey control point management system is one of applications of based geographic information system, and many survey units commonly used relational data management system (MIS) to achieve, but the lack of geographic information as data platform, resulting in the query result is very intuitive. In order to get elegant effect with map, text, tables, to facilitate field measure to find the control points, proposed the use of component-based GIS (MO Control) technology, seamless integration with MIS management control point measurement process. The application shows that the technical methods to achieve good control point on the measurement of management efficiency, greatly improve the efficiency of survey control points.

Key words surveying controlling points ,GIS module ,MapObjects (Page:20)

Application of RBF Neural Networks to GPS Leveling Elevation Fitting

by *ZHANG Li*

Abstract To determine an orthometric height using GPS, it is necessary to know the geoid/quasi-geoid undulation. This paper had a detail introduction of the structure and basic principle of RBF neural network, and on this basis, mainly analyzed RBF neural network's algorithms for GPS elevation fitting, including basis function centers and width parameters determined. Based on the MATLAB, selecting some GPS datas from a region, this paper mainly focused on the use of RBF neural network for GPS elevation fitting, the result of which was compared with BP neural network and fitting method, and the accuracy of the conversion of GPS elevation was analysed last. Through the analysis and comparison of this three ways, this paper tried to prove that using RBF neural network for GPS elevation fitting was of feasibility and had some advantages compared to other methods.

Key words RBF neural networks , GPS elevation fitting , accuracy analysis (Page:23)