

# 基于 PSO\_LSSVM 和 Elman 神经网络的 北京市气温预测效果比较

许振赐<sup>1</sup>, 刘君陶<sup>1</sup>, 王国栋<sup>1</sup>, 杨建平<sup>2\*</sup>

(1. 中国农业大学 水利与土木工程学院, 北京 100083; 2. 中国农业大学 理学院, 北京 100083)

**摘要:** 利用北京市 1960—2004 年的月平均气温数据, 建立最小二乘支持向量机(LSSVM)与 Elman 神经网络模型, 分别运用粒子群算法(PSO)与试凑法对这 2 种模型进行优化, 并对 2005—2009 年的月平均气温进行预测估计, 比较 2 种模型的预测结果, 以便找出更准确的气温预测模型。结果表明, 2 种模型总体上均能较好地拟合气温序列( $R^2$  均大于 0.985), 但是对于低温预测效果均相对欠佳; PSO\_LSSVM 预测误差( $RMSE=1.3806$ )明显小于 Elman 神经网络( $RMSE=1.7325$ ), 拟合精度更高, 能更好地对短期气温变化进行模拟。因此, 可用 PSO\_LSSVM 模型进行气温预测, 指导当地的农业生产与工业开发。

**关键词:** PSO\_LSSVM; Elman 神经网络; 气温预测

**中图分类号:** P457.3      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1004-3268(2013)03-0157-04

## Comparison of Beijing Temperature Prediction Effect Based on PSO\_LSSVM and Elman Neural Network Model

XU Zhen-ci<sup>1</sup>, LIU Jun-tao<sup>1</sup>, WANG Guo-dong<sup>1</sup>, YANG Jian-ping<sup>2\*</sup>

(1. College of Water Resources & Civil Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China;

2. College of Science, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** Based on the data analysis of monthly average temperature from 1960 to 2004 in Beijing, a least squares support vector machine (LSSVM) and an Elman neural network model were established, and optimized by particle swarm optimization(PSO), trial and error method respectively, and then applied to predict the data of monthly average temperature from 2005 to 2009. Finally a comparative analysis of those two models was made and a more reasonable model was selected. The results showed that two models were all relatively feasible for simulation of the temperature series as a whole ( $R^2$  was higher than 0.985). However, it did not work well when they were used in low temperature prediction. Moreover, compared with Elman neural network model ( $RMSE=1.7325$ ), PSO\_LSSVM had less prediction errors( $RMSE=1.3806$ ), and the simulation result was better. Accordingly, PSO\_LSSVM model could be applied to temperature prediction, which can serve as a guidance for local agriculture production and industrial development.

**Key words:** PSO\_LSSVM; Elman neural network; prediction of temperature

20 世纪 80 年代以来, 全球气温出现了明显的  
上升趋势<sup>[1]</sup>, 气温变化对环境产生了巨大的影响, 例

如近年来气温升高使北极冰川融化而导致海平面上  
升等<sup>[2]</sup>。因此, 人们对造成气候变暖的因素进行了

收稿日期: 2012-10-15

基金项目: 国家自然科学基金(10801135; 10671063); 国家自然科学基金国际合作项目(10911140115); 中国农业大学科研启动基金(2006062)

作者简介: 许振赐(1993-), 男, 浙江温州人, 本科, 研究方向: 气候模拟。E-mail: xuzhencinl@126.com

\* 通讯作者: 杨建平(1978-), 男, 四川峨眉山人, 副教授, 博士, 主要从事微分方程分支与混沌理论研究。

E-mail: jpyangcau@gmail.com

大量研究,同时开展了对未来气温变化趋势预测的相关研究。气候系统是一个复杂的非线性系统,这决定了气温预测的复杂性。在气温变化预测过程中,预测方法是最关键的。因此,选择新的更符合实际情况的更精确的预测方法是十分重要的。非线性时间序列对初始值十分敏感,具有短期的可预测性和长期的不可预测性,近年来人们已经提出了许多非线性或混沌时间序列的预测方法,主要包括神经网络预测方法、局域预测法、自适应滤波预测法和局部投射预测法等。已有学者采用诸如小波分析<sup>[3]</sup>、神经网络<sup>[4]</sup>等方法对全球及我国的气温变化特征进行了研究,并取得了较大的进展。如刘生长等<sup>[5]</sup>运用均生函数累加延拓的时序建模对气温进行预测;薛宇峰等<sup>[6]</sup>运用人工神经网络对气温进行仿真模拟。但到目前为止,还没有学者运用支持向量机进行气温预测。支持向量机的主要思想是建立一个分类超平面作为决策曲面,使得正例与反例之间的隔离边缘最大化,是一种基于结构风险最小化准则的学习方法<sup>[7]</sup>,其泛化能力比神经网络更强,可使预测结果精度更高,一般情况下可得到更接近实际结果的预测值。采用区域气候的模拟结果对较小区域的气温作出预测估计的研究还很少见,且针对北京市的研究尚未见报道。基于此,本研究利用北京市 1960—2004 年的月平均气温数据,建立最小二乘支持向量(LSSVM)与 Elman 神经网络模型,分别运用粒子群算法(PSO)与试凑法对这 2 种模型进行优化,并对 2005—2009 年月平均气温进行预测,比较 2 种模型的预测结果,以便找出更准确的气温预测模型,更好地对短期气温变化进行预测。

## 1 材料和方法

### 1.1 研究区概况

北京市中心位于 39°54'20"N、116°25'29"E,地处华北平原西北边缘。北京市气候属典型的暖温带半湿润半干旱季风气候,夏季气温高降水量大,冬季气温低,且干燥,春、秋季节较为短促。年平均气温:平原地区为 11~13℃,海拔 800 m 以下的山区为 9~11℃,高寒山区为 3~5℃。年极端最高气温一般在 35~40℃。

### 1.2 数据来源

选自北京气象站观测记录的 1960 年 1 月 1 日至 2009 年 12 月 31 日的逐日平均气温资料。将按照升序或降序排列的时间序列的第 5 个和第 95 个百分位上的气温值作为极端气温的阈值<sup>[8]</sup>,从而剔除气温序列中的极端数据,避免受错误值的影响,再

计算气温序列的月平均气温。

### 1.3 PSO\_LSSVM 的建立

采用 PSO 中自适应进化原理对 LSSVM 进行优化,通过 matlab 完成操作,操作步骤参照文献<sup>[9]</sup>中的方法:

(1)将训练集  $S$  分为  $n$  个独立子集;

(2)初始化 PSO 和 LSSVM 的参数:群体规模、学习因子、迭代的最大次数、粒子的初始位置和速度;

(3)将  $S_j (j=1, 2, \dots, n)$  作为测试样本,应用余下的  $n-1$  个数据子集训练超参数  $(c_i(t), r_i(t))$  的 LSSVM,以最终测试误差的平均值作为交叉检验的误差;

(4)根据所得的误差确定当前个体最优值和种群最优值,并进行粒子  $i$  种群和速度的更新;

A. 判断是否达到最大进化代数,如果达到则停止优化,否则转步骤(3);

B. 利用训练样本集建立以  $(c_{best}, r_{best})$  为超参数的 LSSVM 模型,并用于预测。

### 1.4 气温预测

考虑到气温变化是一个复杂的非线性系统,目前已有学者将气象因素序列视为时间序列<sup>[7]</sup>,本研究将连续的月平均气温视为连续的时间序列,假设当前的气温可通过先前的气温反映。气温的预测可通过拟合气温序列来实现,本研究以预测年份之前 5 a 的月平均气温为影响因素,建立模型。验证分析过程如下:

(1)以第 1 年到第 5 年的月平均气温数据为输入向量,第 6 年的月平均气温数据为输出向量。1960 年 1 月—2004 年 12 月的月平均数据作为训练样本,2005 年 1 月—2009 年 12 月的月平均数据作为测试样本。将最后 5 a 分成 5 个 1 a,对应每年建一次预测模型,得到预测结果后,加入前面 1 a 的实际监测数据再进行下一次预测模型构建和预测,每年进行一次预测;

(2)运用训练样本训练 PSO\_LSSVM 模型,LSSVM 回归模型选用 RBF 核函数,PSO 算法的参数设定为:粒子维数  $d=60$ ,种群数  $I=20$ ,初始惯性权值  $W=0.9$ ,最大迭代次数  $K_{max}=200$ ,粒子最大速度  $V_{dmax}=600$ ,加速因子  $C_1=1.5, C_2=1.7$ ,利用 5 折交叉检验评价粒子的优劣。得到最优参数后再运用模型进行预测;

(3)运用训练样本训练 Elman 神经网络,设置输入节点数为 60,输出节点数为 12,隐层神经元的传递函数为  $\text{tansig}$ ,输出神经元的传递函数为

purlin。目前,隐含层的神经元数目选择没有一个理想的解析式来表示。本研究采用试凑法<sup>[10]</sup>确定最佳隐含层节点数,即在程序中对隐含层节点数进行动态赋值,依次为 7、11、14、18,分别进行训练和预测;

(4)对预测结果进行分析,比较 2 种算法的精度。

## 2 结果与分析

### 2.1 PSO\_LSSVM 对北京市 2005 年 1 月—2009 年 12 月气温预测的结果

对 PSO\_LSSVM 模型进行训练,得到粒子群适应度曲线(图 1)。根据粒子群寻优结果,选用正则参数为 5.229 9,内核参数为 1 000,对 PSO\_LSSVM 模型进行优化。由图 2 可以看出,应用寻优后的 PSO\_LSSVM 模型对北京市 2005 年 1 月—2009 年 12 月月平均气温的预测值序列与实际值序列拟合得很好,2 种值的趋势及走向大体相同。计算得判定系数  $R^2=0.9859$ ,均方根误差  $RMSE=1.3806$ ,拟合效果非常好。PSO\_LSSVM 模型在预测气温方面具有很大的可行性,且通过以往的气温序列预测未来短期的气温变化是比较可靠的。

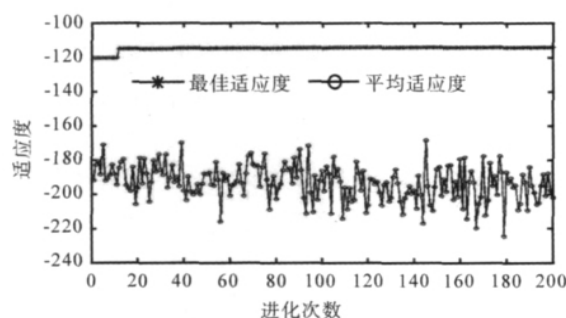


图1 粒子群适应度

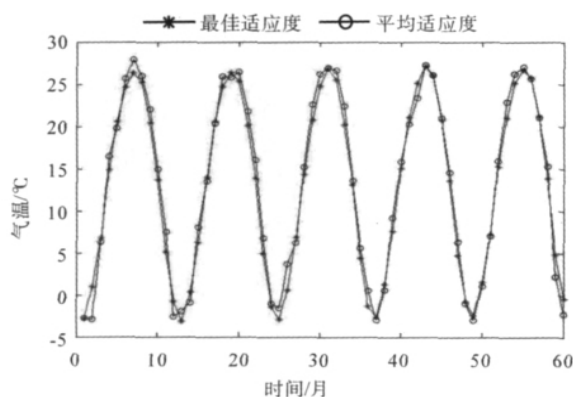


图2 PSO\_LSSVM 对北京市 2005 年 1 月—2009 年 12 月气温预测结果与北京市同期气温实测值的比较

### 2.2 Elman 神经网络对北京市 2005 年 1 月—2009 年 12 月气温预测的结果

由图 3 可知,4 条误差线重合,即各种不同隐含

层节点数的神经网络的训练误差均相同,且各种网络的均方根误差  $RMSE=2.0015$ 。因此,对于本研究中的数据,可以选择以上任意的隐含层节点数构建 Elman 神经网络模型。

由图 4 可知,运用 Elman 神经网络得到北京市 2005 年 1 月—2009 年 12 月月平均气温的预测值与同期气温实测值在走向上基本吻合,只是在低温处预测值明显低于实测值,  $R^2=0.9920$ ,  $RMSE=1.7325$ 。由此可见,运用 Elman 神经网络模型也可对气温进行很好的预测。

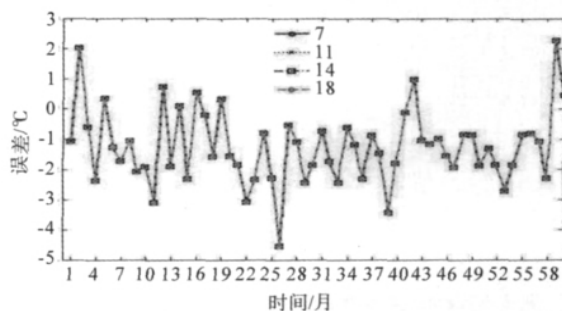


图3 不同隐含层节点数下神经网络的训练误差

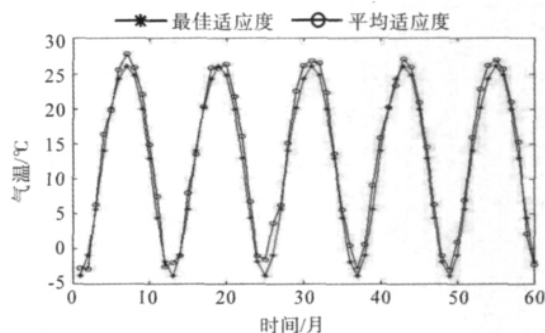


图4 Elman 神经网络对北京市 2005 年 1 月—2009 年 12 月气温预测结果与北京市同期气温实测值的比较

### 2.3 PSO\_LSSVM 与 Elman 神经网络对北京市 2005 年 1 月—2009 年 12 月气温预测效果的比较

PSO\_LSSVM 与 Elman 神经网络模型的  $R^2$  相当接近,但 Elman 神经网络模型的  $RMSE$  明显高于 PSO\_LSSVM,即误差明显大于 PSO\_LSSVM。为了更清晰地分析这 2 种方法的预测效果,以实测值( $X$ )为横坐标,各自的预测值( $Y$ )为纵坐标,分别建立 2 种方法的散点图。

对散点进行回归,运用最小二乘法得到一元线性回归方程,可表示散点大致的走势。据图 5,散点回归方程为  $Y=0.9867X-1.0844$ ,Elman 神经网络模型得到的 2005—2009 年的预测值在总体上低于实测值,而且实测值温度越高,预测值与实测值的差距越大;实测值呈明显的聚类分布,说明气温序列有明显的季节分布,不同季节之间温差较大,季节之

间过渡的时间较短。图 5 中预测值也呈明显的季节分布,说明神经网络模型可较好地表达季节特征。

据图 6,散点回归方程为  $Y = 0.9643X + 0.0093$ , PSO\_LSSVM 模型的拟合效果明显优于神经网络。在气温为  $15^{\circ}\text{C}$  以下时,预测值基本均匀散落在  $Y=X$  的两侧,但是与实测值的差距较大;随着气温的升高,预测值开始略微低于实测值,并且差距增大,但始终保持在一个较小范围内。

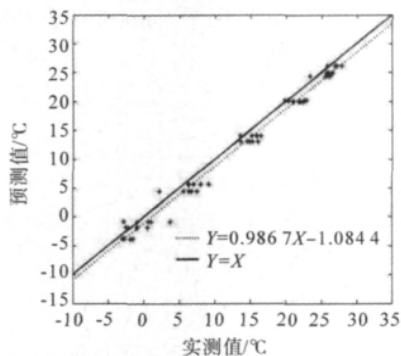


图 5 Elman 神经网络的实测值与预测值的拟合情况

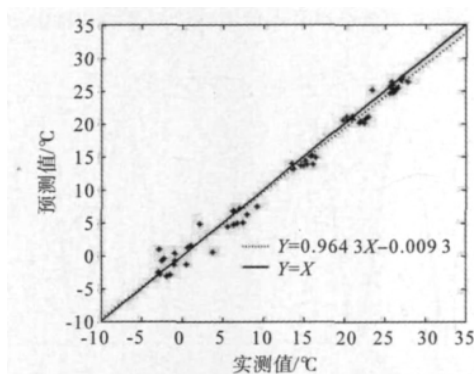


图 6 PSO\_LSSVM 的实测值与预测值的拟合情况

综上所述,以上 2 种模型均具有较强的可行性 ( $R^2$  均大于 0.985),且 PSO\_LSSVM 模型明显优于神经网络。但 2 种模型对低温的预测效果均相对欠佳,说明低温的规律性与周期性较弱。另外,随着气温的升高,预测值均低于实测值,即实际高温比预测高温要高,这在一定程度上反映了北京市气候变暖的现实。

### 3 结论

1) 分别运用粒子群算法与试凑法对 LSSVM 与 Elman 神经网络进行参数寻优与隐含层节点数的确定,这在一定程度上使模型的拟合效果得到优化。

2) 应用 1960—2004 年的月平均气温成功地预测了 2005—2009 年的月平均气温,这说明气温序列是一个有规律的时间序列,且季节分布明显,运用先前的气温对当前的气温进行预测是可行的,但是低温的规律性较弱。

3) 运用 PSO\_LSSVM 与 Elman 神经网络进行气温预测,判定系数均达到 0.985 以上,因此,机器学习模型具有较强的可行性,且 PSO\_LSSVM 比 Elman 神经网络拟合精度更高,Elman 的预测值均低于实测值。

4) 随着气温的增高,2 种模型的预测值均低于实测值,且温差不断增大,这在一定程度上反映了北京市气候在变暖,导致实际高温比预计高温要高。

#### 参考文献:

- [1] 魏凤英,曹鸿兴. 中国、北半球和全球的气温突变分析及其趋势预测研究[J]. 大气科学, 1995, 19(2): 140-148.
- [2] 张国庆,李鹏飞,黄立,武耀飞. 全球未来 50 年平均气温的时间序列分析与预测[J]. 甘肃科技, 2008, 24(17): 72-74.
- [3] 姜晓艳,刘树华,马明敏,等. 中国东北地区近百年气温序列的小波分析[J]. 气候变化研究进展, 2008, 4(2): 122-125.
- [4] 郭庆春,李力,张冉,等. 我国气温变化的神经网络预测模型[J]. 热带气象学报, 2009, 25(4): 483-487.
- [5] 刘生长,曹鸿兴,魏凤英. 隐含趋势气候序列的均生函数建模[J]. 南京气象学院学报, 1994, 17(3): 297-302.
- [6] 薛宇峰,杨超梅. 近百年全球气温变化及其趋势预测[J]. 四川气象, 2006, 26(3): 16-19.
- [7] Suykens J A K, Gestel T V, Brabanter J D, et al. Least squares support vector machines[M]. Singapore: World Scientific Publishing Company, 2002.
- [8] 潘晓华,翟盘茂. 气温极端值的选取与分析[J]. 气象学报, 2002, 28(10): 28-31.
- [9] Li Y K, Tian Y J, Ouyang Z Y, et al. Analysis of soil erosion characteristics in small watersheds with particle swarm optimization, support vector machine, and artificial neuronal networks[J]. Environmental Geology, 2010, 60(7): 1559-1568.
- [10] 张义超,卢英,李炜. RBF 网络隐含层节点的优化[J]. 计算机技术与发展, 2009, 19(1): 103-105.