

# Short-Term Wind Speed Prediction in Wind Farm Based on Theory of Fuzzy Information Granulation\*

Jun Yi, Taifu Li, Yingying Su

Department of Electrical and Information Engineering Chongqing University of Science and Technology, Chongqing  
Email: laoyifrcq@163.com

Received: Jun. 19th, 2011; revised: Jul. 13th, 2011; accepted: Jul. 15th, 2011.

**Abstract:** There is often a lot of redundant information in observed values of wind speed to result in large computation and affect the predictive validity. A short-term wind speed prediction method based on theory of fuzzy information granulation is proposed to granulate wind speed data of time series. Granulated data can not only reflect the characteristics of wind but also reduce redundant information. Support vector machine can be used to forecast short-term wind speed. A group of wind speed data is provided by Wulong wind farms in Chongqing. The test result shows that this method can predict the short-term wind speed space.

**Keywords:** Wind Speed; Prediction; Theory of Fuzzy Information Granulation; Time Series

## 基于模糊信息粒化的风电场短期风速预测\*

易 军, 李太福, 苏盈盈

重庆科技学院, 电气与信息工程学院, 重庆  
Email: laoyifrcq@163.com

收稿日期: 2011年6月19日; 修回日期: 2011年7月13日; 录用日期: 2011年7月15日

**摘 要:** 风速的观测值往往存在大量冗余信息, 导致计算量庞大并影响预测的有效性。本文提出一种基于模糊信息粒化的风电场短期风速预测方法, 将原始风速观测时序数据进行模糊粒化处理, 粒化后的数据既能反映风速变化特征, 又能大量减少冗余, 在此基础上运用支持向量机进行短期风速预测。利用武隆风电场提供的风速数据进行试验表明, 该方法能够有效预测未来短期风速变化空间。

**关键词:** 风速; 预测; 模糊信息粒化; 时间序列

### 1. 引言

我国的风电行业正在进入快速增长时期, 研究<sup>[1]</sup>表明当风电穿透功率超过 8% 之后, 将可能对电能质量和电力系统的运行产生影响, 并且会危及常规发电方式。对风电场做短期风速预测, 再由风功曲线得到风力发电功率的预测值, 是进行风力发电功率预测的有效途径之一。

由于风速受温度、气压、地形、海拔、纬度等多

因素影响, 具有很强的随机性, 成为最难预测的气象参数之一。目前已有许多学者对该领域进行研究, 取得了一定的成果。文献[2]认为风速预测值等于最近几个风速历史值的滑动平均值, 仅简单地把最近一点的风速观测值作为下一点的风速预测值, 该模型的预测误差较大, 且预测结果不稳定。文献[3]把风速作为状态变量建立状态空间模型, 用卡尔曼滤波算法实现风速预测。这种算法在假定噪声的统计特性已知的前提下得出, 事实上估计噪声的统计特性正是该方法应用的难点所在。随机时间序列法<sup>[4]</sup>利用大量的历史数据来建模, 经过模型识别、参数估计、模型检验来确定

\*基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50905194); 重庆市自然科学基金资助项目(CSTC2008BB2356)。

一个能够描述所研究时间序列的数学模型，但计算过于复杂。文献[5]利用人工神经网络进行风速预测，该法受样本选择影响较大。文献[6]提出模糊逻辑法，应用模糊逻辑和预报人员的专业知识将数据和语言形成模糊规则库，然后选用一个线性模型逼近非线性动态变化的风速。但是，模糊预测学习能力较弱。文献[7]提出空间相关法，利用相邻几个地点风速之间的空间相关性，进行风速预测。该法需要对原始数据收集量很大，计算代价高。

考虑风速观测值的冗余性和风速时间序列特点，本文提出一种基于模糊信息粒化的风电场短期风速预测方法，将原始采样数据进行粒化处理，并利用支持向量机对代表风速特点的模糊粒子进行回归预测，给出风速变化趋势和变化空间。

## 2. 模糊信息粒化

1979年 L. A. Zadeh 在模糊集合论首次提出模糊信息粒化理论(Theory of Fuzzy Information Granulation, TFIG)<sup>[8]</sup>，他认为几乎所有人的推理及概念形成中，粒都是模糊的( $f$ -粒化)，并给出了一种数据粒的定义：

$$g \triangleq (x \text{ is } G) \text{ is } \lambda \quad (1)$$

其中， $x$  是论域  $U$  中取值的变量， $G$  是  $U$  的模糊子集，由隶属函数  $\mu_G$  来刻画， $\lambda$  表示可能性概率。一般假设  $U$  为实数集合  $R(R^n)$ ， $G$  是  $U$  的凸模糊子集， $\lambda$  是单位区间的模糊子集。

## 3. 粒化方法

### 3.1. 时划间序列的窗口分

模糊粒化就是利用模糊集方法把时间序列数据表示成信息粒形式，首先需要划分窗口，即将时间序列  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  分割成若干小子序列

$X = \{w_1, w_2, \dots, w_m\}$ ，其中： $w_i = \{x_i, x_{i+1}, \dots, x_{i+k}\}$ ，称为窗口。

### 3.2. 模糊化

对于每一个窗口，需要进行模糊化，以便生成模糊信息粒。在时序片段  $w_i$  上，确定一个能够完全描述该时序特征的模糊粒子  $P_i$ ：

$$P_i = A(w_i) \quad (2)$$

由此可知，模糊粒化的主要任务就是找到一个适当的隶属函数  $A = \mu_G$ ，刻画模糊过程。常用的模糊粒子有：三角型、梯型、高斯型、抛物型等。考虑到风速时间序列取值单一，仅三角型足以进行模糊粒化，由此构造三角型模糊隶属函数如下：

$$A(x, a, m, b) = \begin{cases} 0, & x < a \\ \frac{x-a}{m-a}, & a \leq x \leq m \\ \frac{b-x}{b-m}, & m < x \leq b \\ 0, & x > b \end{cases} \quad (3)$$

## 4. 基于模糊信息粒化的风速预测算法

利用重庆武隆风电场一段时间的风速时间序列，进行模糊信息粒化，基于粒化数据利用支持向量机进行回归预测，为了提高预测准确率，需要利用交叉验证寻找最佳的参数对：惩罚参数  $c$  和核函数参数  $g$ ，再对支持向量机进行训练和预测。算法如下：

Step 1: 原始数据提取

Step 2: 模糊信息粒化(确定模糊粒子类型和粒化窗口数目)

Step 3: 对模糊粒子参数 Low, R, Up 进行回归预测

3.1: 归一化处理

3.2: 交叉验证粗 - 细两阶段寻优

3.3: 支持向量机训练

3.4: 支持向量机预测

Step 4: 给出风速变化趋势和变化空间

## 5. 实验验证

为验证算法的有效性，使用 Matlab2009a 为工具，

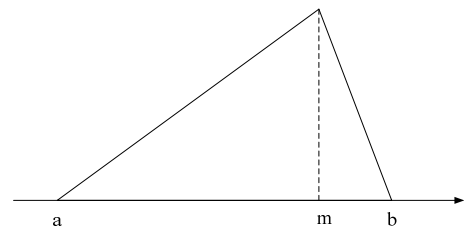


Figure 1. Membership function of triangular fuzzy particle  
图 1. 三角型模糊粒子的隶属函数

支持向量机预测用到台湾大学林智仁(Lin Chih-Jen)教授开发设计的 libsvm 工具箱<sup>[9]</sup>。以武隆风电场从2010年4月1号零时开始到2010年4月20号23时每隔十分钟取一次平均风速共2867组数据进行研究,并对未来50分钟风速进行预测。5个时间间隔作为一个窗口大小,Low, R, Up 分别对应三角型模糊粒子的A, M, B 三个参数,代表原始数据变化的最小值、平均值和最大值。

图2(a)为重庆武隆风电场平均风速的原始数据,粒化后数据为1/5,但从形状看仍然保持原始数据特

征。

在进行支持向量机训练前,先利用交叉验证法进行粗、细精度两阶段寻优,找到最佳惩罚参数和核函数参数,如图3所示。

图4、5分别表示Low, R, Up三个参数的预测情况,Low和Up值范围相对固定,预测准确度较高,而R值波动较大,预测准确度相对低,范围从-5.8到3之间,但绝大多数数据仍然集中在0左右。

最后,给出2010年4月20号23时到24时五十分的风速变化空间如表1所示:

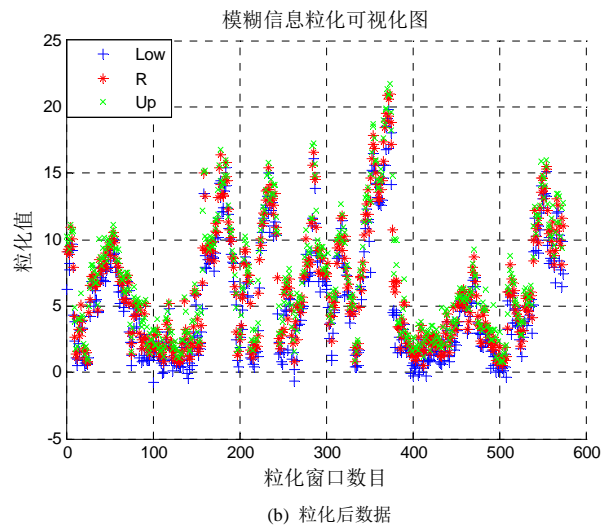
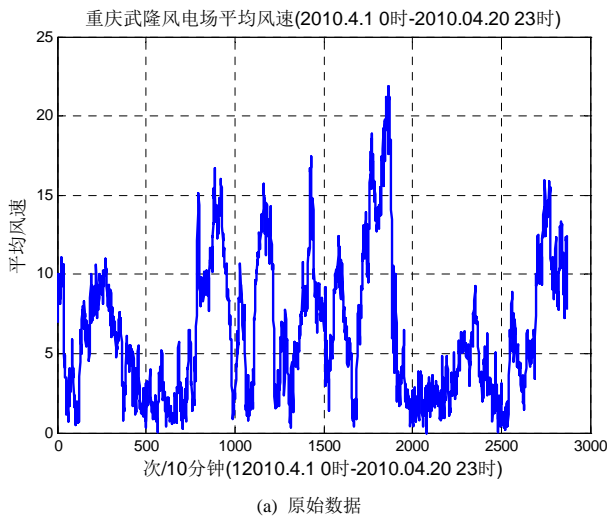


Figure 2. Average wind speed in Wulong wind farms

图2. 重庆武隆风电场平均风速

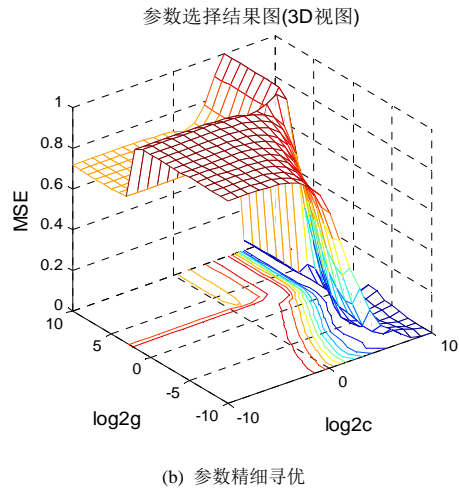
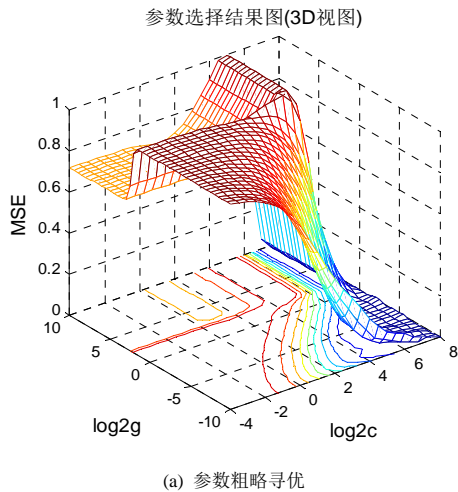
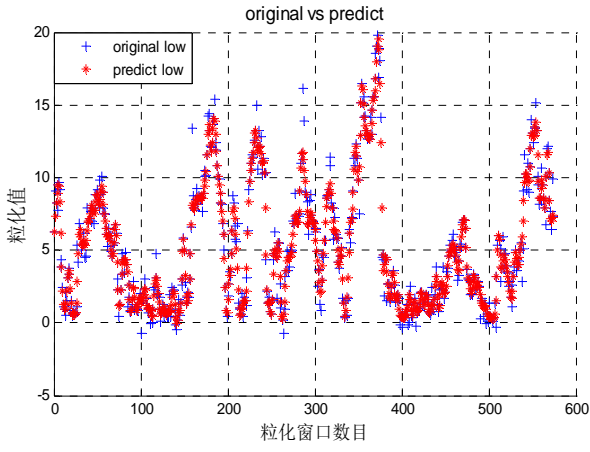
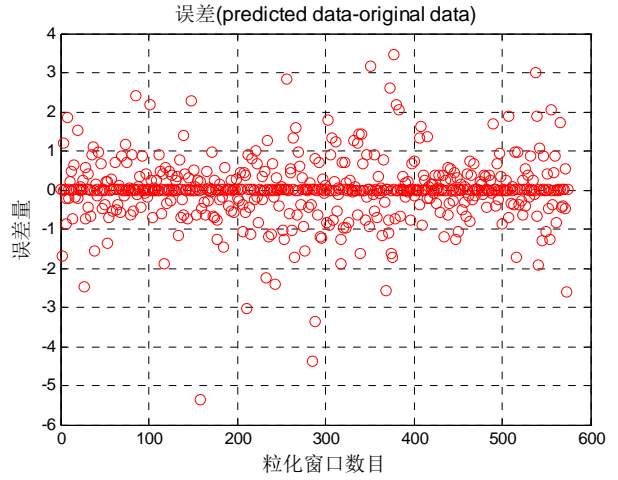


Figure 3. Optimization  $g$  and  $c$

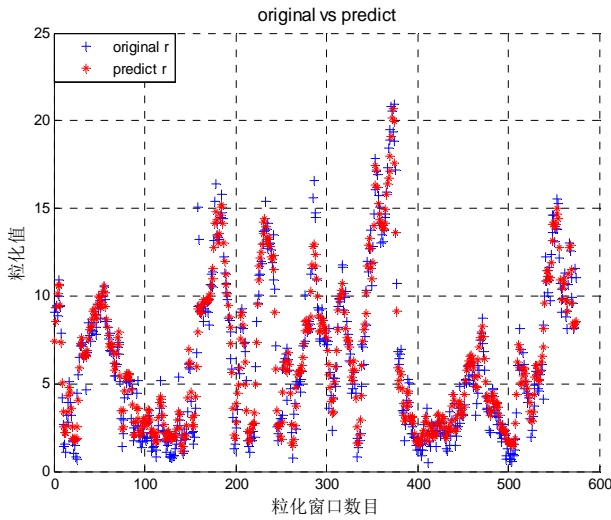
图3. 参数  $g$   $c$  粗 - 细寻优



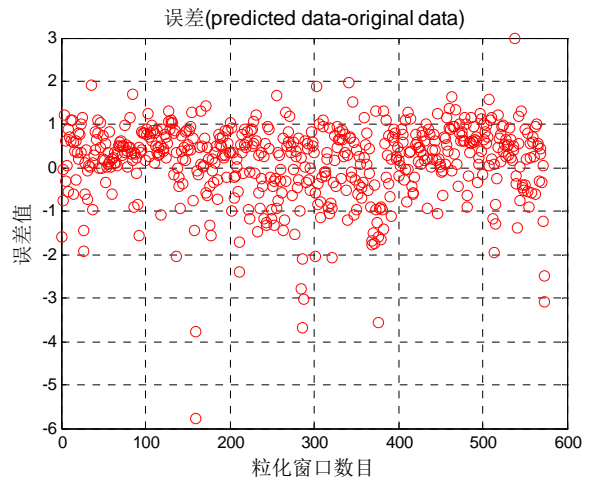
(a) Low 值



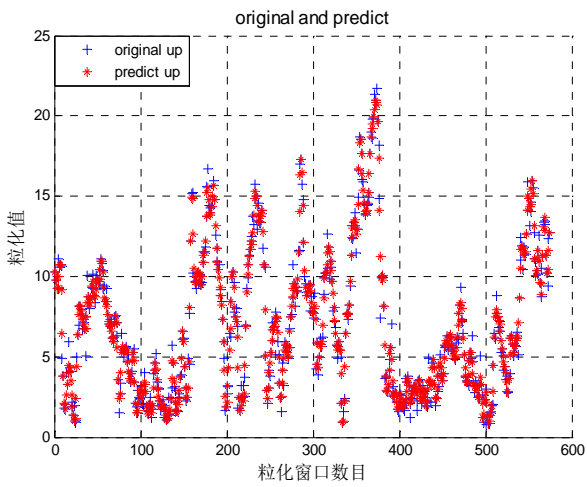
(a) Low 值



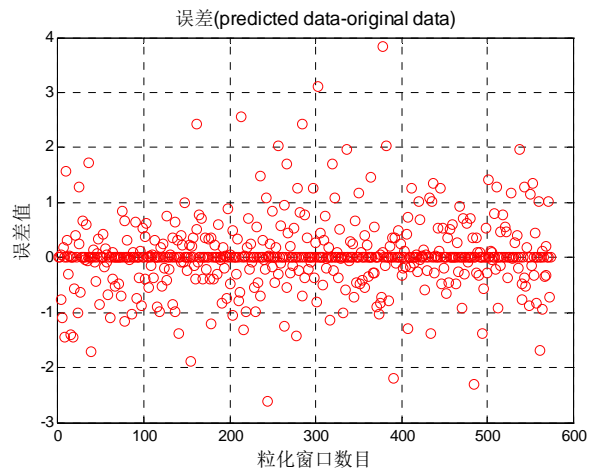
(b) R 值



(b) R 值



(c) Up 值



(c) Up 值

Figure 4. Fitting case of fuzzy particle  
图 4. 模糊粒子的拟合情况

Figure 5. Prediction error of fuzzy particles  
图 5. 模糊粒子的预测误差

Table 1. Wind speed values and change spatial prediction  
表 1. 风速实际值与变化空间预测

时 间	23:10	23:20	23:30	23:40	23:50	预测变化范围
实际风速	12.03	11.04	10.32	9.56	7.74	[Low, R, Up]=[6.8231, 9.4191, 12.7383]

由表 1 可知, 最后 5 个风速实际值均在预测变化范围之类, 其中预测平均值与实际值也比较接近, 说明该方法具有较高的准确性。

## 6. 结语

短期风速预测精度的好坏和采样周期、预测时间长短、当地风电场的风速自身的特性有很大的关系。基于模糊信息粒化的风速短期预测方法, 在消除冗余数据, 减少计算量上有较大优势。同时, 结合支持向量机作为预测器, 通过交叉验证寻找最优参数, 可以较大提高预测准确性。

## 参考文献 (References)

- [1] 吴国旸, 肖洋, 翁莎莎. 风电场短期风速预测探讨[J]. 吉林电力, 2005, 33(6): 21-27.
- [2] 陈友, 王晔, 李渝曾. 一种用于短期电价预测的分时段时间序列传递函数模型[J]. 电力系统保护与控制, 2008, 36(16): 1-4.
- [3] A. Malmberg, U. Holst, and J. Holst. Forecasting near-surface ocean winds with Kalaman filter techniques. *Ocean Engineering*, 2005, 32(3-4): 273-291.
- [4] 丁明, 张立军, 吴义纯. 基于时间序列分析的风电场风速预测模型[J]. 电力自动化设备, 2005, 25(8): 32-34.
- [5] 郭伟伟, 刘家学, 马云龙等. 基于改进 RBF 网络算法的电力系统短期负荷预测[J]. 电力系统保护与控制, 2008, 36(23): 45-48.
- [6] M. Monfared, H. Rastegar, and H. M. Kojabadi. A new strategy for wind speed forecasting using artificial intelligent methods. *Renewable Energy*, 2009, 34(3): 845-848.
- [7] M. C. Alexiadis, P. S. Dokopoulos, H. S. Sahsamanoglou, et al. Short-term forecasting of wind speed and related electrical power. *Solar Energy*, 1998, 63(1): 61-68.
- [8] L. A. Zadeh. Toward a theory of fuzzy information granulation and its centrality in human reasoning and fuzzy logic. *Fuzzy sets and systems*, 1997, 90(2): 111-127.
- [9] C.-C. Chang, C.-J. Lin. LIBSVM—A library for support vector machines[URL]. <http://www.csie.ntu.edu.tw/~cjlin/libsvm/>, 2011-1-8.