

基于非参数核密度估计的风光预测出力不确定性分析

杨志莹 史 上 王 航

华北水利水电大学电气工程学院 河南郑州 450045

摘 要: 为了分析风光出力预测的不确定性, 本文提出了基于非参数核密度估计的分析方法, 结果显示基于非参数核密度估计的方法能够更好的描述风光出力预测误差概率密度函数, 最后得到了不同置信度下的风光预测值的置信区间, 且通过智能优化算法优化了置信区间宽度。

关键词: 非参数核密度估计; 置信区间; 风光出力预测; 智能优化算法

引言

双碳背景下, 随着风电、光伏大规模接入电力系统, 一次能源供应面临高度不确定性^[1]。

当新能源的占比较高的地方, 会出现关于电源规划、稳定性评估、操作调整以及电能效率提升等的技术难题^[2]。一旦在更新型的电力体系中融入含有不确定因素的电源如风电、光伏等, 此时电力体系就会遭遇到各种不确定性, 旧有的确定性的分析方式就不再适合了^[3]。因此研究风电、光伏出力不确定性的分析方法就显得及其重要了。

置信区间的方法可以用来分析风光出力的不确定性, 但这需要获得数据的概率密度函数。在现有的方法中, 可以预先确定数据遵循的分布函数, 如混合偏态分布、混合高斯分布^[4]。但在现实情况中通过预测得到的数据并不能完全符合提前假设出的分布函数, 所以需要根据实际数据拟合出最接近真实情况的分布也即非参数的方法。文献^{[5]-[7]}提出了非参数核密度估计方法, 相比于参数拟合估计方法建模精度更准确, 适用范围更广泛。

本文采用了非参数核密度估计方法, 以对风光预测出力误差数据进行了分析和拟合, 从而产生更贴近现实状况的概率密度函数。同时也计算出了在不同置信度下的置信区间。为了实现更窄的置信区间, 我们又运用了粒子群智能优化算法对置信区间的宽度进行了优化。为新型电力系统背景下考虑风光出力不确定性的能量管理的解决方案提供了新思路。

1. 非参数估计

有研究者也将非参数估计称为无参密度估计, 它的优势在于只需最少的先验知识, 完全依赖训练数据进行估算, 同时适用于所有类型的密度估计。常见的非参数估计方法包

括直方图、核密度估计、K近邻估计等。

1.1 核密度估计

核密度估计是一种无需参数的统计技巧, 用来计算连续型随机变量的概率密度函数。这意味着在没有预定义数据分布形状的前提下, 核密度估计能适配各类不同的数据分布。可以理解为, 它可以从有限的样本集中, 估算出总体的概率密度函数。

另外, 核密度估计可以被看作是直方图平滑的一种方式, 它在每个数据点位置放置一个以该点为中心的“核”(通常是正态分布形状), 然后将所有核加起来并进行归一化, 得到一个平滑的、连续的概率密度估计, 核密度估计如下式:

$$\hat{f}_h(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n K_h(x - x_i) = \frac{1}{h} \sum_{i=1}^n K_h\left(\frac{x - x_i}{h}\right) \quad (1)$$

式中: $\hat{f}_h(x)$ 是对数据样本估计出的概率密度函数;

$K(\cdot)$ 为核函数 (非负、积分为 1, 符合概率密度性质, 并且均值为 0); $h > 0$ 为一个平滑参数, 称作带宽 (bandwidth)。常用核函数有指数核函数、高斯核函数、三角核函数、四次核函数。本文用高斯核函数作为非参数核密度估计的核函数。

1.2 核密度估计置信区间的评价标准

置信区间的指标主要有两个: 覆盖率和区间宽度
覆盖率如下式:

$$\gamma_p = \frac{1}{N} \times \sum_{i=1}^N \tau_i \quad (2)$$

式中: N 为样本总数, τ_i 为覆盖因子, 当风光出力真实值落在置信区间内时, 覆盖因子为 1 否则为 0。

区间宽度如下式:

$$\Delta\bar{p} = \frac{\sum_{i=1}^N \Delta p_i}{N} \quad (3)$$

Δp_i 为第 i 个功率点所在置信区间的置信区间上下限之差, 在保证覆盖率的前提下, 区间宽度 $\Delta\bar{p}$ 越小, 预测效果越好。

2. 粒子群算法优化置信区间模型

2.1 粒子群优化算法

粒子群优化算法, 简称 PSO, 是一种影响深远的优化手段源于群体智能。其思想理念取材于鸟的飞翔和觅食行为, 通过模拟鸟类间的信息互动, 从而寻找全局最优解。

算法步骤:

Step1: 设定初始族群, 这包括了设定搜索区间的最大值与最小值, 两个学习参数 c_1 和 c_2 , 算法的最大迭代次数 T , 以及每一粒子速度的最高与最低限制。对初始族群中各粒子的位置和速度进行随机设定。

Step2: 通过适应度函数为每个粒子设定其适应度评分, 同时记录每个粒子的理想位置, 个体的最高适应度评分和至今为止群体的最优位置。

Step3: 根据速度、位置更新公式来更新速度和位置。

Step4: 通过适应度函数为每个粒子设定其适应度评分, 同时记录每个粒子的理想位置, 个体的最高适应度评分和至今为止群体的最优位置。

Step5: 对每一个粒子, 比较其最优位置对应的适应程度和整体种群的最优适应程度, 若其更具优势, 则会对种群最优位置和最高适应程度进行更新。

Step6: 对搜寻出的结果判定是否达标终止要求 (完成最大的迭代次数或满足精度标准), 如果满足终止要求, 就输出最优解, 若非如此, 返回至步骤 3 继续执行至满意条件满足为止。

2.2 粒子群优化算法优化风光预测功率的置信区间

在给定制信度的情况下, 置信区间左右值 y_1, y_2 , 并不为定值, 所以在保证置信度一样的情况下, 置信区间的宽度可以通过智能优化算法进行优化从而得到置信区间宽度更小的置信区间。

具体思路就是以置信区间宽度最小为目标函数, 以保证置信度不变为约束条件, 以置信区间左边界或右边界为优

化变量进行优化。

3. 实例验证

本文所用数据来自中国西北某省的风电场和光伏电站 2019 年整年数据, 风电场装机容量为 1.5MW, 光伏电站装机容量为 1MW, 采集的 SCADA 数据的时间分辨率为 15min, 每日具有 96 个数据点。

3.1 概率密度函数拟合分析

首先用先进预测模型得到风光出力预测误差数据, 然后采用非参数核密度估计拟合得到风光出力预测误差数据的概率密度函数, 图 1 是风电和太阳能光伏发电预测误差的概率密度函数非参数核密度估计拟合结果:

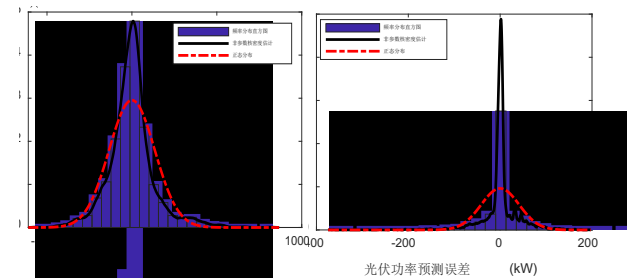


图 1 风光功率预测误差频率分布图

图 1 所示蓝色的直方图显示了误差频率的预测分布, 红色的虚线给出了根据正态分布预测误差计算出的概率密度曲线, 黑色的实线则揭示了通过非参数核密度估计得到的概率密度曲线。通过对比图像, 不难发现, 非参数核密度估计所得的概率密度曲线更接近出力预测误差的实际情况。因此选择使用非参数核密度估计来解释风光出力的不确定性。

3.2 风光预测功率的置信区间优化

使用本文提出的粒子群优化风光预测功率的置信区间的模型, 优化对比结果如表 2- 表 3 所示:

表 1 风电运行场景置信区间宽度优化对比情况

置信区间宽度 (kW)	97.5% 置信水平	95% 置信水平	90% 置信水平	85% 置信水平
未优化	736.0412	617.5567	454.8633	358.2553
优化	734.4401	609.7825	447.2056	355.1179

表 2 光伏运行场景置信区间宽度优化对比情况

置信区间宽度 (kW)	97.5% 置信水平	95% 置信水平	90% 置信水平	85% 置信水平
未优化	174.4669	141.7083	112.6771	86.3174
优化	165.4206	141.1803	104.8604	80.8950

对比结果显示在保证同一置信水平的情况下置信区间

的宽度是可以进行优化从而使得置信区间宽度更小,在4个不同的置信水平下通过粒子群智能优化算法使得置信区间宽度都有不同程度的减小。

4. 结论

(1) 本文基于非参数核密度估计分析并量化了风电、光伏预测出力的不确定性,通过非参数核密度估计得到了风电、光伏预测出力误差的概率密度函数,拟合结果显示非参数核密度估计优于参数估计方法。

(2) 通过给定置信度求出误差的置信区间,再通过预测值和误差之间的关系得到预测值的置信区间,置信区间的宽度越小预测效果越好,为了使置信区间的宽度更小,以置信区间宽度最小为目标函数,以保证置信度不变为约束条件,以置信区间左边界或右边界为优化变量利用粒子群优化算法进行优化,结果显示粒子群优化算法可以较好的优化置信区间的宽度。

本文提出的量化风光出力不确定性的方法为新型电力系统下配电网或微网的能量管理研究提供了新思路,对解决风光消纳、提高电力系统稳定性有着重要意义。

参考文献

[1] 舒印彪,陈国平,贺静波等.构建以新能源为主体的新型电力系统框架研究[J].中国工程科学,2021,23(06):61-69.

[2] 文云峰,杨伟峰,汪荣华等.构建100%可再生能源电力系统述评与展望[J].中国电机工程学报,2020,40(6):1843-1856.

[3] 宋宇,李涵.基于核密度估计和Copula函数的风光出力场景生成[J].电气技术,2022,23(01):56-63.

[4] 杨宏,闫晓然,闫玉杰,等.风功率预测误差的TLS模型矩估计方法研究[J].电网技术,2018,42(07):2193-2199.

[5] 杨楠,崔家展,周峥,等.基于模糊序优化的风功率概率模型非参数核密度估计方法[J].电网技术,2016,40(2):335-340.

[6] 杨楠,周峥,陈道君,等.基于非参数核密度估计的风功率波动性概率密度建模方法[J].太阳能学报,2019,40(7):2028-2035.

[7] 张晓英,张晓敏,廖顺,等.基于聚类与非参数核密度估计的风电功率预测误差分析[J].太阳能学报,2019,40(12):3594-3604.

作者简介:

杨志莹(1996.6-),男,汉族,河南省南阳人,硕士研究生,华北水利水电大学电气工程学院,研究方向:新能源优化调度。