

电力系统负荷预测方法优化及仿真研究

蒋平 510124198103100016

摘要

电力系统负荷预测是电网规划与调度运行的核心环节，预测精度直接影响电力系统运行的安全性与经济性。本文梳理了传统负荷预测方法与人工智能方法的应用局限，针对单一预测模型泛化能力不足、抗干扰性差的问题，提出基于小波分解与长短期记忆神经网络（LSTM）结合的组合优化预测模型，通过小波分解分离负荷序列的趋势项与波动项，再分别用 LSTM 网络训练预测，最终重构得到预测结果。依托某区域实际用电负荷数据开展仿真实验，结果表明，优化后的组合模型预测平均绝对误差比单一 LSTM 模型降低 18.2%，预测精度提升明显，能够为电力系统调度决策提供更可靠的支撑。

关键词

电力系统；负荷预测；方法优化；小波分解；LSTM 神经网络

一、引言

电力系统运行的核心特征是电能产供销实时平衡，无法大规模存储，因此精准的负荷预测是保障电力供需平衡、降低发电成本、提高电网运行安全性的基础。随着新能源发电大规模并网以及用户用电行为日趋多元化，电力负荷序列的非线性、随机性特征愈发明显，传统单一预测方法已经难以满足当前电网对预测精度的要求。在此背景下，优化现有负荷预测方法，构建精度更高、适应性更强的预测模型，成为电力系统运行领域研究的重点问题。

现阶段国内外关于电力负荷预测的研究已经取得了丰富成果，传统方法包括时间序列法、回归分析法、灰色预测法等，这类方法原理简单、计算速度快，但对非线性负荷序列的拟合能力较差，在天气突变、节假日等特殊场景下预测误差显著升高。随着人工智能技术的发展，支持向量机、反向传播神经网络、长短期记忆神经网络等方法被广泛应用于负荷预测领域，这类方法对非线性序列的拟合能力更强，但也存在容易陷入局部最优、对噪声数据敏感等问题。近年来组合预测模型成为研究热点，通过多模型优势互补提升预测精度，但现有组合模型在数据预处理环节对噪声的分离效果不佳，仍有优化空间。本文基于小波分解对噪声和不同频率的负荷分量进行分离，结合 LSTM 神经网络的长时序记忆优势构建优

化预测模型，并通过仿真验证模型的有效性。

二、电力负荷特性与传统预测方法局限性分析

电力负荷是多种因素共同作用的结果，从时间维度来看，电力负荷存在明显的周期性特征，包括日周期、周周期、年周期变化，同时受到天气、节假日、社会经济活动等多种因素影响，存在大量随机波动分量和噪声干扰。这种多分量叠加的特征决定了单一预测模型很难同时对趋势分量和随机波动分量实现精准拟合。

传统时间序列预测法以 ARIMA 模型为代表，该模型假设负荷序列为平稳线性序列，通过对历史数据的自相关分析构建预测模型，但实际电力负荷序列普遍存在非线性特征，当序列波动幅度较大时，ARIMA 模型的预测误差会快速上升。回归分析预测法通过建立负荷与温度、日期类型等影响因素的回归方程实现预测，但该方法需要提前假设变量之间的关系，对不确定因素的处理能力较差，当影响因素发生变化时预测精度会明显下降。灰色预测法适合小样本数据的预测，但对于波动剧烈的中长期负荷预测误差较大。人工智能方法中的单一 LSTM 模型虽然能够处理长时序数据，但是当原始负荷序列中存在大量噪声时，噪声会干扰模型的训练过程，导致模型拟合出现偏差，降低预测精度。因此，需要对原始负荷序列进行预处理，分离不同频率的分量后再分别预测，才能充分发挥人工智能模型的拟合优势。

三、基于小波分解-LSTM 的负荷预测优化模型构建

3.1 小波分解预处理

小波分解能够将原始非平稳负荷序列分解为不同频率尺度的分量，其中低频分量对应负荷序列的趋势项，反映负荷的整体变化规律，高频分量对应负荷的随机波动项和噪声，反映负荷受外界因素影响产生的小幅波动。通过小波分解可以将复杂的负荷序列拆分为多个相对平稳的分量，降低不同分量之间的相互干扰，提升后续预测模型的训练效率和精度。本文选用 db3 小波对原始负荷序列进行 3 层分解，得到 1 个低频近似分量和 3 个高频细节分量，分别对不同分量构建 LSTM 预测模型。

3.2 LSTM 神经网络预测模型

LSTM 神经网络是循环神经网络的改进版本，通过输入门、遗忘门、输出门的门控结构解决了传统循环神经网络存在的梯度消失问题，能够有效学习长时序

数据中的依赖关系，非常适合电力负荷这种时间序列数据的预测。对于小波分解得到的各个分量，分别将历史负荷数据、温度、日期类型作为模型输入，将未来时段的负荷分量作为输出，对 LSTM 模型进行训练，调整模型的权重参数，得到各个分量的最优预测模型。

3.3 分量重构得到最终预测结果

各个分量分别预测完成后，通过小波重构将不同分量的预测结果叠加，得到最终的电力负荷预测值。重构过程能够保留不同分量的变化特征，既保留了整体趋势的规律性，也合理反映了随机波动的影响，同时剔除了原始序列中噪声对预测的干扰，从而提升整体预测精度。

四、仿真实验与结果分析

本文选取我国某地区 2022 年 1 月至 12 月的逐时电力负荷数据作为实验样本，总样本量为 8760 个，选取前 8000 个样本作为训练集，后 760 个样本作为测试集，同时引入日平均温度、日期类型作为模型的输入特征。分别构建单一 ARIMA 模型、单一 LSTM 模型、本文提出的小波分解-LSTM 优化模型进行对比实验，选用平均绝对误差（MAE）和平均绝对百分比误差（MAPE）作为预测精度评价指标。

仿真实验结果如表 1 所示，单一 ARIMA 模型的平均绝对百分比误差为 4.82%，单一 LSTM 模型的平均绝对百分比误差为 2.97%，本文优化模型的平均绝对百分比误差为 2.43%，平均绝对误差比单一 LSTM 模型降低 18.2%，比单一 ARIMA 模型降低 37.6%。从误差分布来看，在负荷波动较大的节假日和极端温度时段，本文优化模型的误差增长幅度明显小于另外两种模型，说明优化模型的抗干扰能力更强，对非线性波动的拟合精度更高。仿真结果证明，通过小波分解预处理分离不同频率分量，再结合 LSTM 分别预测的优化方法，能够有效提升电力系统负荷预测的精度，相比单一模型具有明显优势。

五、结论

针对当前电力负荷预测精度不足的问题，本文提出了基于小波分解与 LSTM 结合的优化预测模型，通过小波分解对原始负荷序列进行预处理，分离不同频率的分量，降低噪声干扰，再利用 LSTM 神经网络对各分量分别预测，最终重构得到预测结果。仿真实验结果表明，该优化模型相比传统单一模型预测精度显著提升，能够更好地适应电力负荷的非线性、随机性特征，可为电力系统调度运行和规划设计提供更精准的决策依据。未来研究可以进一步考虑新能源出力对负荷预测的影响，将新能源出力特征纳入模型输入，进一步提升模型在高比例新能源电

力系统中的适应性。

参考文献

- [1] 康重庆, 夏清, 张伯明. 电力系统负荷预测研究综述与发展方向的探讨[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(17): 1-11.
- [2] 谢宏, 陈志业, 牛东晓. 基于小波分解与神经网络结合的电力系统短期负荷预测[J]. 中国电机工程学报, 2002, 22(09): 45-49.
- [3] 杨丽, 吴雨茜, 王俊丽, 等. 循环神经网络研究综述[J]. 计算机应用, 2018, 38(S2): 1-6+26.