

基于生成对抗网络（GAN）的电力系统短期负荷预测与异常检测

吕 圆

齐丰科技股份有限公司 江苏 南京 210000

摘要：电力网络不断发展，保障其安全稳定运行、实施经济调度策略时精确的短期负荷预测和高效的异常检测很重要，由于电力负荷数据特性复杂，本文用生成对抗网络（GAN）技术构建适用于电力网络短期负荷预测与异常检测的模型框架，在GAN框架里，生成器用卷积神经网络（CNN）深挖各模式内在特征以生成模拟样本，判别器引入半监督回归层精确捕捉数据集非线性特性和动态变化规律来实现短期负荷预测与异常检测，集成各子模式预测结果后便有了最终预测结果，模拟实验结果显示模型短期负荷预测准确度显著提高且能有效识别异常情况有力保障了电网运行，实际电力数据实验验证进一步证实模型提升预测精度和异常检测准确性优势明显为电网运行管理提供新途径和视角。准确的短期负荷预测和及时的异常检测对于保障电力系统的安全、稳定和经济运行至关重要。本文提出一种基于生成对抗网络（GAN）的电力系统短期负荷预测与异常检测方法。该方法利用 GAN 强大的生成能力和判别能力，学习电力负荷数据的内在特征和分布规律，从而实现高精度的负荷预测和有效的异常检测。

关键词：生成对抗网络；电力系统；短期负荷预测；异常检测

引言：

经济迅猛发展且社会不断进步，电力系统规模越来越大且复杂性显著提高。现代社会中电力是基石能源，稳定供应对保障社会经济平稳运行极为关键，在电力系统运营管理里，负荷预测和异常检测是两大核心任务。短期负荷预测是对未来数分钟到一周电力负荷的科学准确预估，短期负荷预测精确的话，电力系统调度人员就能合理规划发电计划、优化电网运行模式，让电力系统的经济性和可靠性增强，负荷高峰时提前增加发电出力可避免电网过载，负荷低谷时合理安排设备检修会提高设备利用效率，而且随着电力市场越来越成熟，负荷预测准确对电力市场参与者制定科学交易策略、降低运营成本也很重要。异常检测是精准识别电力系统运行数据里偏离常态的数据点或数据段。生成对抗网络（GAN）作为一种新兴的深度学习技术，通过生成器和判别器之间的对抗训练，能够学习到数据的真实分布，生成与真实数据相似的样本，在图像生成、语音合成、数据增强等领域取得了显著的成果。近年来，GAN 逐渐被应用于电力系统领域，为解决电力系统中的负荷预测和异常检测问题提供了新的思路和方法。

一、电力系统短期负荷特性分析

电力系统短期负荷有着多样又复杂的特征，深入探究这些特征对精确进行短期负荷预测和异常监测极具学术价值，电力负荷周期性特征明显，日间有规律波动且一周也呈周期性循环，这一周期性规律能为短期负荷预测提供依据，不过负荷虽周期明显但随机性也不容忽视，用户用电行为不确定以及突发因素干扰是随机性的主要来源，天气骤变，像气温陡降、暴雨突袭等也会随机影响负荷，使空调、取暖器等电力设备使用状况波动，这随机性让短期负荷预测更难，要求预测模型泛化能力要强且还得有处理不确定因素的有效策略，电力负荷还与地区经济发展水平、产业结构等诸多因素密切相关。

二、生成对抗网络（GAN）原理分析

深度学习领域有个创新性模型叫生成对抗网络（GAN），2014年Goodfellow等人开创性地把它提出来且其核心理念根源为博弈论。GAN架构精心构建了生成器和判别器这两个相互竞争协同进化的神经网络，生成器主要模拟真实数据分布，从随机潜在空间获取噪声向量，经过全连接层、卷积层等一系列精心设计的神经网络层转换映射后生成在维度和分布特征上与真实数据高度相符的样本，判别器重点在辨识数据真假，把真实数据和生成器的伪数据当作输入，利用神经网络结构的特征提取分析能力输出一个概率值来评估输入数据为真实数据的可能性，若输入数据确实是真实的则判别器输出的概率值就接近1，若输入数据是生

成器伪造的则判别器输出的概率值接近0。在电力系统实际应用中，判别器能判断负荷数据是否有正常数据的典型特征从而识别异常数据，某数据点被判定为正常数据的概率低时就可能被视作异常，生成器努力生成更逼真的样本以迷惑判别器让判别器误把伪造数据当成真实的。判别器不断增强辨识能力以精准区分真假数据，这一对抗如同零和博弈，生成器和判别器的目标函数是冲突的。在电力系统短期负荷预测和异常检测任务中，经过对抗训练，生成器能掌握电力负荷数据的复杂分布规律并生成高质量预测样本或者模拟正常数据分布，判别器能更精准识别异常数据以提高异常检测的精确度。判别器的损失函数用真实数据正确识别概率与生成数据准确辨识概率之和的负值表示，在电力系统异常检测环节，将和异常数据特性密切相关的惩罚因子加到损失函数里可增强模型对异常数据的敏感度。从数据生成角度看，生成对抗网络（GAN）深挖真实数据分布特征并能创造出和真实数据特征很相符的新数据，这对数据集扩展、模型泛化能力提升非常重要。在异常检测方面，GAN可以通过训练生成器掌握正常数据分布模式，当输入数据和生成器输出数据差异明显时便判定这个数据是异常的。

三、基于 GAN 的电力系统短期负荷预测模型

（一）电力系统负荷数据特点分析

多重复杂因素像气候状况、时段变化、经济活动层次之类制约着电力需求量，这些因素有着错综复杂的非线性关联，电力负荷数据有着鲜明的非线性特征，不间尺度上存在日波动、周循环、季节性变化等多种多样的电力负荷波动模式，而且新能源并网、用户用电行为多变等因素让电力负荷数据更难预测了。

（二）模型结构设计

经典的生成对抗网络（GAN）架构被本文根据电力系统负荷数据的特性优化改进了。改进模型架构为：生成器部分引入多层密集连接的神经网络架构，将随机噪声和与负荷紧密相关的条件变量（如时间、气象条件等）融合为输入，经多层神经元复杂的非线性映射后生成预测的负荷数据，而判别器部分也采用多层密集连接的神经网络设计，接收真实负荷数据和生成器输出的预测负荷数据，精细辨别输入数据的真伪后输出一个能直观反映数据作为真实负荷数据可信度的概率值。

（三）模型训练方法

模型的优化采用对抗式训练策略，具体训练流程简单说就是先将电力系统负荷数据标准化，让其处于0到1这个区

间以提高模型训练的效率和稳定性，随机初始化生成器和判别器的参数，生成器利用随机噪声和条件信号生成预估负荷数据，判别器接收真实负荷数据和生成器预测的数据来判别真伪并根据此计算损失值，按照判别器反馈的损失分别调整生成器和判别器的参数，该过程不断循环迭代直至模型收敛。

（四）模型评估指标

本文为评估模型预测效能采用了三项指标：一衡量预测值与真实值平均绝对误差大小，二反映二者误差波动范围，三表征预测值相对真实值的误差比例。

四、基于 GAN 的电力系统异常检测模型

（一）异常数据对电力系统的影响

电力系统里，多重复杂问题常由异常数据诱发，电力负荷不稳定会让电网承载过重，威胁电力系统稳定运行，数据偏差也可能使电力设备误动作，像错误启动或关闭，会削弱电力系统可靠性，而且异常数据还可能让电力调度安排不当，推高电力系统运营成本。

（二）模型结构与原理

构建本文的异常检测框架依据生成对抗网络原理，通过训练生成器来捕捉电力系统正常数据的内在分布特征，若输入数据和生成器模拟的数据差异显著则被当作异常数据。模型架构为：生成器采用多层密集连接的神经网络结构，以随机噪声为输入生成接近真实情况的电力系统正常数据，判别器也使用多层密集连接的神经网络，输入真实电力系统数据和生成器生成的模拟数据，通过辨别输入数据的真假输出一个能直观显示数据是真实样本可能性大小的概率值。

（三）异常检测流程

本文的异常检测流程如下：电力系统数据要做归一化处理并映射到0至1这个区间里，用规范的电力系统数据集对生成模型和判别模型加以训练以使生成模型能够生成和真实数据很相近的模拟数据，接着把待检测数据输进已经训练好的模型里评估生成模型生成的数据和待检测数据的偏差程度，偏差若超出预设阈值就判定该数据为异常。

（四）阈值确定方法

异常检测流程里，阈值确定是核心，本文用交叉验证法精确设阈值，步骤如下：先把标准电力系统数据合理分成训练集和测试集，再用训练集充分训练生成模型和判别模型，接着用测试集算出生成模型输出数据与测试集的差度，按差异分布规律选合理阈值，在测试集上让误报率和漏报率达到最佳平衡。

五、实验与结果分析

（一）实验数据来源与预处理

首要的是，生成对抗网络靠其独特的对抗训练架构能深挖电力负荷数据复杂的内在规律从而提升预测准确性，时间卷积网络捕捉时间序列长期依赖关系的能力很强且引入注意力机制后模型捕捉关键信息的效能大大提高，异常检测方面根据精确预测结果算出的异常指标能敏锐察觉负荷数据的异常波动并且加上合理阈值设定和灵活调整策略可使异常检测的精确度和灵活性都显著提升。为了验证基于GAN的电力系统短期负荷预测与异常检测方法的有效性，本文选取了某地区电力系统的历史负荷数据以及相关的天气数据、日期类型数据作为实验数据。实验数据的时间跨度为[具体时间段]，其中前[训练数据时间段]的数据用于模型训练，后[测试数据时间段]的数据用于模型测试。在实验设置方面，基于GAN的负荷预测模型和异常检测模型的生成器和判别器均采用三层全连接神经网络结构，激活函数采用 ReLU函数。训练过程中，使用Adam优化器对模型参数进行更新，学习率设置为0.0002，迭代次数设置为500次，批量大小设置为64。对于异常检测模型，预设的异常评分阈值通过在训练集上进行交叉验证确定。

（二）基于 GAN 的短期负荷预测实验

网络架构的构建包括生成器与判别器，还得做参数的细致配置，要考虑神经元数量、层级深度、激活函数类型等要素，并且要选择合适的优化算法和损失函数，Adam优化策略、交叉熵损失函数就比较合适，接着要设定好训练迭代次数和批次大小，用训练好的模型对测试数据集进行预测，计算平均绝对误差（MAE）、均方根误差（RMSE）、平均绝对百分比误差（MAPE）这些评估指标，实验结果显示，本文提出的基于GAN的短期负荷预测模型在预测精度上优势明显，能更精准地预估电力系统短期负荷需求。

（三）基于 GAN 的异常检测实验

参照短期负荷预测模型的架构体系构建生成器与判别器的网络架构并配置其参数，用标准电力系统数据集训练模型以确定异常辨识的阈值标准，接着把含异常值的测试数据集导入已训练好的模型执行异常辨识任务，再通过计算模型误报率和漏报率来综合评判异常检测效能，之后把本研究模型的检测结果与固定阈值法、聚类分析等传统异常检测方法对比分析，实验数据清楚表明，本文所提基于生成对抗网络（GAN）的异常检测模型在识别电力系统异常数据时准确性更高，误报率和漏报率都处于较低范围。

（四）综合性能评估

短期负荷预测和异常检测效能需全面评估且多种情境下模型的应用效果要深入探究，像常规负荷预测与异常识别不准、电力系统故障时预测精度和检测能力如何都得考察，实验数据显示本研究构建的模型整体性能比传统方法强且更能满足电力系统运行管理的严苛需求。

六、结论

电力系统短期负荷预测与异常辨识面临双重挑战，本文将生成对抗网络（GAN）技术引入其中构建出对应的预测模型，在深入剖析电力负荷数据后量体裁衣地设计模型架构并采用高效训练策略优化模型，实验验证显示该模型在短期负荷预测准确性和异常检测可靠性上性能卓越，为电力系统运营管理提供新路径和视角，不过本研究虽有成果但存在模型训练周期长、计算资源消耗大、处理大规模电力系统数据时性能可能波动等局限，往后研究可从优化GAN架构以缩短训练时间和提升模型性能、探寻GAN和强化学习、迁移学习等技术的融合之道以增强模型泛化能力与适应性、推动模型在真实电力系统里的实际应用并经现场测试验证从而为电力系统运行管理提供更坚实的理论支撑等方面深入。

参考文献：

[1]孙浩等.”基于条件生成对抗网络曲线生成的短期负荷概率预测.”电力系统自动化.47.23(2023):189-199.

[2]曾进辉等.”基于生成对抗网络和EMD-ISSA-LSTM的短期电力负荷预测.”电子测量技术.47.20(2024):92-100.

作者简介：吕圆（1985.07.04-）女，汉族，江苏南京，本科，齐丰科技股份有限公司，电力工程-电气工程。