# Real-Time Monitoring of Long-Term Voltage Stability via Convolutional Neural Network

# 摘要

卷积神经网络（CNN）是最有前途的深度学习技术之一,在许多领域取得了巨大成功。在本文中,我们实施CNN以实时监测长期电压稳定裕度（VSM）。为了阐明我们在这个问题中引入CNN的动机,首先讨论了VSM预测的本质和共性,并总结了现有方法的局限性,然后指出CNN的输入结构固有地包含了电网的拓扑信息,在解决这个问题上有很大的潜力。在IEEE30总线系统上提出并测试CNN体系结构以及增强拓扑信息的输入编码方法。初步结果表明,与现有的一些方法相比,它可以取得较好的预测性能,可以成功应用于在线电压稳定监测。

# 简介

电压崩溃在许多停电事件中发挥了重要作用,包括2003年的东北部停电[1]。对策包括为运营商和可靠性协调员评估和采用更好的实时工具。这刺激了对在线电压稳定性评估的不断增加的兴趣。在线电压稳定性评估的一个主要类别是基于广域测量来监控电压稳定裕度（VSM）。但是,真实系统的VSM封闭式解决方案不存在。因此,计算VSM的确切值通常对于在线应用程序而言是计算密集型且不切实际的。

机器学习技术通过将计算密集型仿真过程从在线变为离线,实现了VSM在线监测。使用离线模拟的数据训练预测模型,然后在线使用预测模型来预测VSM。人工神经网络（NN）[2],决策树（DT）[3],回归树（RT）[4],装袋[5],线性回归[6]和局部回归[7]等多种学习技术已经被研究。

在这些工作中,由于模型的灵活性,基于NN的方法通常获得更好的离线预测精度。但是,存在一些固有的限制。[5]认为,神经网络的不透明性损害了其在电力系统稳定性监测和控制等安全敏感任务中的适用性。[8]试图通过使用基于DT的规则揭示来对NN黑盒进行白化来解决这个问题。另一个批评是NN在许多早期工作中必须分别针对不同的系统拓扑进行训练。但是[9]显示了从一堆拓扑中获得单个NN的可能性。然而,我们并没有讨论浅层神经网络在复杂电力系统运行空间中的有效容量,并且我们所知道的只有一层或两层神经网络已经实现。为了平衡简单性/透明性和准确性,[7]提出使用自适应局部线性回归来规避模型通用性问题。然而,局部线性模型,敏捷但薄弱,在遇到不能预见的运行条件时,在适应过程中会遇到通用性问题,因此当运营商最关心它时,不能提供可靠的预测

卷积神经网络（CNN）[10]是一种专门用于处理数据的神经网络,具有已知的网格拓扑结构。它在实际应用中取得了巨大的成功,如图像模式识别和棋盘游戏AI,包括AlphaGo的激动人心的胜利。CNN的特殊结构在实践中释放了深层神经网络的力量,特别是对于简单精简的结构通常无法帮助的复杂任务。很少有使用这个强大的工具在电力系统中进行预测。

本文引入CNN来解决在线VSM预测问题。受益于CNN的深层架构和有效的输入结构,VSM预测模型的通用性有望延伸到一个新的水平。

本文的其余部分组织如下：第二部分介绍了将CNN应用于VSM预测的动机;第三节描述了我们对CNN的实施;第四部分介绍了测试结果,其次是第五部分的结论,介绍了主要研究结果和未来的工作。

# 5. 总结

基于VSM预测问题和卷积神经网络的性质和联系，提出了一种基于CNN的在线电压稳定裕度监测方法。 根据其在电力网络中的拓扑关系，选定的在线测量值（如RPR，电压幅度和有功功率流）被编码为多通道图像。 然后该图像作为输入被输入到CNN。 独立数据集由离线VSA生成，具有不同的意外事件和LID，用于训练，验证和测试具有10个主要隐藏层的CNN。 初步结果表明，与几种参考方法相比，所提出的方法具有更好的预测精度，扩展了VSM预测问题预测模型一般性的边界。

为了将所提出的方法与统一基础上的其他方法进行比较，输入在线测量仅限于上述三个量。 所以，输入图像相当稀疏。 换句话说，输入框架中有很多免费的“插槽”，可以进行更多的测量。 例如，可以利用RPR信道的离线区域来包括反应线路流。 这进一步意味着所提议方法的潜力。 今后将研究利用更多数量和放大CNN的大型系统。