
Technologies：网格搜索优化的门控循环单元在电离层总电子含量预测中的应用

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/39692.html>

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

Technologies：网格搜索优化的门控循环单元在电离层总电子含量预测中的应用。 论文标题：Grid-Search-Optimized, Gated Recurrent Unit-Based Prediction Model for Ionospheric Total Electron Content

论文链接：<https://www.mdpi.com/2227-7080/13/8/347>

期刊名：Technologies

期刊主页：<https://www.mdpi.com/journal/technologies>

电离层总电子含量（Total Electron Content, TEC）的精确预测是保障卫星导航、通信与空间监测系统稳定运行的关键。发表于Technologies的论文Grid-Search-Optimized, Gated Recurrent Unit-Based Prediction Model for Ionospheric Total Electron Content，提出了一种基于门控循环单元（Gated Recurrent Unit, GRU）并结合网格搜索优化的TEC预测模型。利用深度学习技术，该模型在预测精度和运行效率上均表现出优越性能。

文章导读

电离层是地球上空60公里至磁层顶的等离子体区域，TEC作为反映电离层结构与扰动特性的核心参数，描述了沿信号路径的电子累积量，对无线电波传播延迟具有重要影响。国际参考电离层模型（International Reference Ionosphere, IRI）基于经验公式，难以充分刻画电离层的复杂动态特征。机器学习方法如人工神经网络和长短期记忆网络虽带来新思路，但面临梯度消失、计算成本高或长期依赖捕捉不足等问题。为此，文章构建了基于GRU与网格搜索优化的TEC预测模型，通过引入太阳活动指数形成多维时间序列，更精准地捕捉到电离层的长周期变化与季节变化趋势。

研究方法

研究以美国Eglin观测站的TEC数据为基础，结合太阳黑子数（Sunspot Number, R）和太阳10.7厘米射电通量（F10.7），构建多维度时间序列。针对数据缺失问题，使用统计机器学习方法进行插值，确保模型输入的完整性。

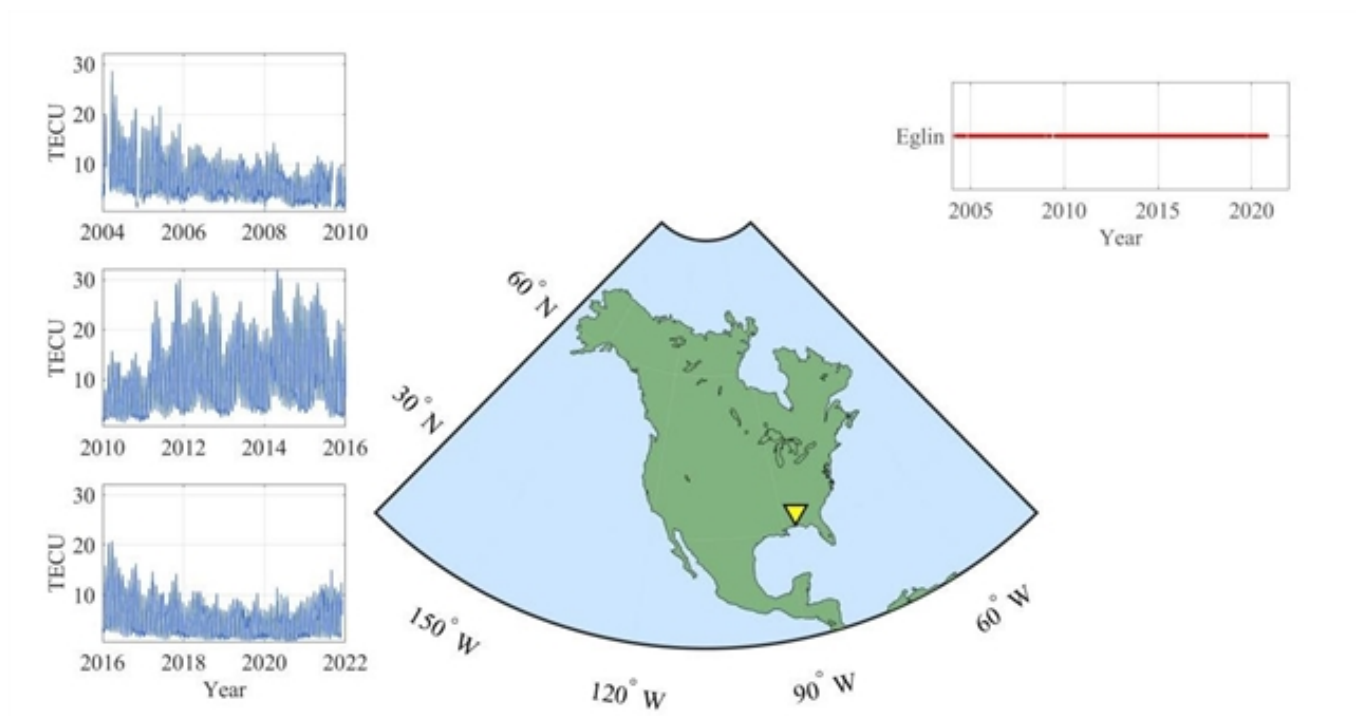


图1 Eglin站点位置与对应的TEC采集数据

GRU 模型架构由输入层、GRU 隐藏层和全连接输出层组成。输入向量包括 TEC 序列及经平滑处理的太阳活动指数值。

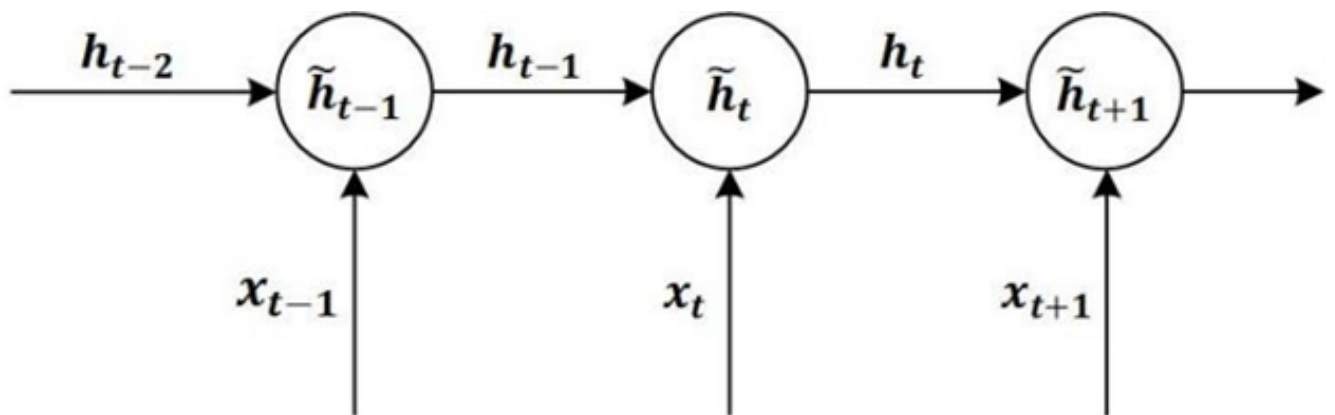


图1 GRU模型网络结构图

在模型训练阶段，通过网格搜索优化超参数，包括输入时间步长、隐藏单元数量和学习率。以验证集均方根误差（Root Mean Square Error, RMSE）作为性能评估指标，最终确定最终模型。

研究结果与讨论

在最优模型配置下——单层 GRU、输入时间步长 12 个月、隐藏单元 120 个、学习率 0.003——以 2019 – 2020 年数据为测试集，对 GRU 模型与 IRI

模型（CCIR、URSI）及统计机器学习模型进行对比。结果显示：

GRU模型的RMSE仅为0.78 TECU，较CCIR模型（2.86 TECU）、URSI模型（2.85 TECU）和统计机器学习模型（1.83 TECU）分别降低72.73%、72.64%和57.38%。

平均绝对误差（Mean Absolute Error, MAE）和相对均方根误差（Relative Root Mean Square Error, RRMSE）也显著优于对比模型，显示 GRU 模型在绝对误差控制和相对一致性上均具有优势。

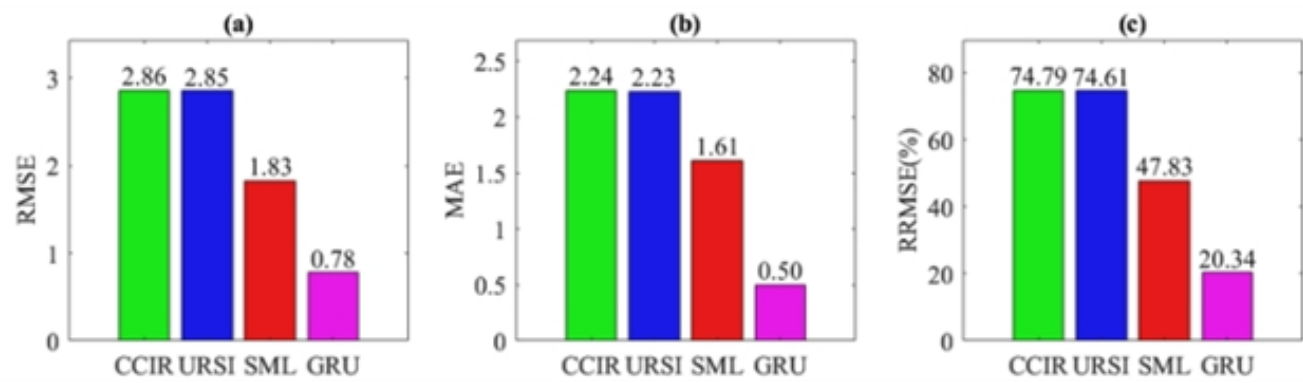


图1 测试数据集中模型预测值与观测值之间的RMSE、MAE和RRMSE

总结与展望

文章通过融合 GRU 网络与网格搜索优化算法，为电离层 TEC 预测提供了一种高精度解决方案，验证了深度学习在空间科学领域的有效性和应用潜力。未来，研究团队计划引入多观测站数据和多模态特征，进一步提升模型的跨区域泛化能力，推动人工智能在空间环境监测与预报中的广泛应用。

Zhou, S.; Yang, Z.; Yu, Q.; Wang, J. Grid-Search-Optimized, Gated Recurrent Unit-Based Prediction Model for Ionospheric Total Electron Content. *Technologies* 2025, 13, 347.

本文撰稿人

周朔，天津大学微电子学院集成电路与集成系统专业本科生
杨子亿，天津大学微电子学院集成电路与集成系统专业本科生
于俏，天津大学在读博士生，研究方向为高频通信智能信道建模与应用

Technologies 期刊介绍

主编：Manoj Gupta, National University of Singapore, Singapore

Technologies 旨在涵盖未来支持人类发展的最新技术进步。包括但不限于：机器学习和人工智能技术；信息与通信技术；计算机科学与工程；材料科学与材料加工技术；辅助技术；医疗技术；电子技术；环境技术；制造技术；建筑技术；量子技术；未来工程技术。

2024 Impact Factor 3.6 2024 CiteScore 8.5 Time to First Decision 21.8 Days Acceptance to Publication 3.9 Days

来源：Technologies

更多 科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](https://www.iikx.com)转发