

高空间分辨率全天候地表温度验证与应用进展报告

周纪¹, Frank-Michael Göttsche², João P.A. Martins³, 张文江⁴

¹ 电子科技大学, 资源与环境学院, 中国, 成都 611731

² Institute of Meteorology and Climate Research, Karlsruhe Institute of Technology, 76344 Eggenstein-Leopoldshafen, Germany

³ Portuguese Institute for Sea and Atmosphere, 1749-077 Lisboa, Portugal

⁴ 四川大学, 水利水电学院, 中国, 成都 610065

通讯作者: 周纪; Frank-Michael Göttsche

E-Mail: jzhou233@uestc.edu.cn; frank.goettsche@kit.edu

项目名称: 高空间分辨率全天候地表温度验证与应用.

项目目的: 该项目的主要目的是对两种近乎空间无缝的全天候地表温度进行交叉比较和实测验证。这两种全天候地表温度是使用不同的估算方法得到的, 分别是: 1) Zhang et al. (2019): 基于时间分解热红外与被动微波集成方法; 2) Martins et al. (2019): 晴空 MSG/SEVIRI 地表温度与基于土壤、植被、大气模型的云下地表温度集成。

进一步目的: 1) 生成全球长时间序列全天候地表温度数据集; 2) 在中国设置地表温度验证站点用以提供基准参考测量; 3) 将全天候地表温度用于青藏高原的冻融模拟和研究。

主要进展: 地表温度是地气交互中能量变化的一个重要指示因子。了解和模拟区域的气象、水文和生态过程需要高空间分辨率的全天候地表温度。基于该需求, 该项目团队在算法发展、产品生成及验证等方面开展了开展了一系列工作。

由于 AMSR-E 和 AMSR2 在 2011 年 11 月到 2012 年 5 月之间存在一个长时间的观测缺失, 因此当前集成 MODIS 和 AMSR-E/2 的全天候地表温度不是真正意义上的“全天候”。为了解决这个问题, 项目团队用中国风云 4 A 星的 MWRI

亮温数据去重构青藏高原没有时间空白且空间无缝的类 AMSR-E/2 亮温数据, 然后集成该亮温数据和 Aqua-MODIS 地表温度数据去估算 1 km 分辨率的全天候地表温度。基于黑河流域和青藏高原的站点实测数据的验证结果表明, 基于该方法生成的全天候地表温度的精度约为 1.45-3.36K。

被动微波是估算云下地表温度的有效手段, 因此被动微波地表温度的精度对全天候地表温度至关重要。项目团队用卷积神经网络估算了基于 AMSR-E/2 的中国大陆地表温度。与 ESA 提供的全球 AMSR-E 地表温度相比, 该估算结果有大约 50% 比其更接近 MODIS 地表温度。基于森林和草地下垫面的实测站点数据的验证结果表明, 项目团队反演的微波地表温度精度约为 2.10-4.72K。

全球循环模型的再分析资料具有时空连续的优势, 因此可以将其与热红外数据集集成获取全天候地表温度。以地表温度时间序列分解模型为基础, 项目团队提出了一个原创的全天候地表温度反演算法集成再分析与热红外遥感观测数据获取 1 km 全天候地表温度, 该方法被称为 RTM。将 RTM 运用至 MODIS 和 GLDAS/CLDAS 后获取了青藏高原及周边区域全天候地表温度。基于站点实测数据验证结果表明, 该数据精度约为 2.03-3.98 K。

基于 Zhang et al. (2019) 的方法和 RTM 方法, 项目组已经生产并发布了两种全天候地表温度产品: (1) 中国西部逐日 1 km 空间分辨率全天候地表温度数据集(2003-2018) V1; (2) 中国陆域逐日 1km 空间分辨率全天候地表温度数据集 (TRIMS LST-China; 2000-2019)。

在 EUMETSAT LSA-SAF, 目前正在进行全天空地表温度的制作和分发。该产品以 SEVIRI (MSG) 的光学观测为基础, 每 30 分钟提供一次数据, 星下点分辨率为 3 公里, 涵盖欧洲、非洲和南美部分地区的整个 SEVIRI 圆盘。该产品已经与分布在全球网络 (如 BSRN、SURFRAD、KIT 和 EFDC) 上的 33 个站点收集的实测数据进行了全面验证, 在晴天和非晴空具有相近的 RMSE (分别为 2.8K 和 2.9K)。与 AMSR-E (Martins 等人, 2019) 和 ERA5-Land (MLST-AS 验证报告) 的比较结果已经指出, 大多数卫星与实测数据差异可能是由陆表异质性、方向性影响、厚层/不透明云的存在和沙漠气溶胶较高引起的。这些信息将有助于限制产品的不确定性, 这将是本项目的成果之一。

以 Copernicus LAW (<http://law.acri-st.fr/home>) 发展的用于地表温度验证的标

准观测组件包为基础，项目团队将调整并搭建一套地面观测系统并计划基于龙计划五期项目部署在一个合适的中国验证站点上。该标准观测组件包包括两个窄波段热红外辐射计，该热红外辐射计具有长期稳定且精度较高的特点且已经基于卡尔斯鲁厄理工学院的黑体进行了标定。进一步地，整个标准观测组件包已经被测试。2020年9月在德国康斯坦茨湖进行的一项相互比较研究中，一套相同配置的标准观测组件包与ISAR（红外海面温度自主辐射计）进行了相互比较，ISAR不断基于两个内部黑体进行校准：用标准仪器包得到的站点地表温度与ISAR相比，只有-0.09 K的偏差和0.06 K的标准偏差。

未来计划：1) 项目团队将进一步比较TRIMS地表温度和先前预定的两种全天候地表温度；2) 以现有基础观测站点为基础，中国团队将致力于在青藏高原及周边区域设置新的地表温度验证站点，这些站点可以获得卡尔斯鲁厄理工学院的科学技术支持继而提供高精度实测地表温度；3) 团队将使用全天候地表温度校正和评估青藏高原水文模型。4) 以卡尔斯鲁厄理工学院的多个试验站点为基础，项目团队将比较现存的基于Martins等（2019）和Zhang等（2019）的全天候地表温度。基于其他方法的全天候地表温度也将被考虑用于验证和比较。

在龙计划五期项目的支持下，中方团队的博士生马晋已经前往德国卡尔斯鲁厄理工学院完成了为期一年的交换，现已返回国内。在未来的项目执行期间，中方团队将会有新的博士生和青年科学家前往卡尔斯鲁厄理工学院交换。

已发表的文章

- Tang, W., Xue, D., Long, Z., Zhang, X., Zhou, J., 2021. Near-Real-Time Estimation of 1-km All-Weather Land Surface Temperature by Integrating Satellite Passive Microwave and Thermal Infrared Observations. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters* 1–5. <https://doi.org/10.1109/LGRS.2021.3067908>
- Wang, S., Zhou, J., Lei, T., Wu, H., Zhang, X., Ma, J., Zhong, H., 2020. Estimating Land Surface Temperature from Satellite Passive Microwave Observations with the Traditional Neural Network, Deep Belief Network, and Convolutional Neural Network. *Remote Sensing* 12, 2691.
- Zhang, X., Zhou, J., Liang, S., Chai, L., Wang, D., Liu, J., 2020. Estimation of 1-km all-weather remotely sensed land surface temperature based on reconstructed spatial-seamless satellite passive microwave brightness temperature and thermal infrared data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 167, 321–344. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.07.014>
- Zhang, X., Zhou, J., Liang, S., Wang, D., 2021. A practical reanalysis data and thermal infrared remote sensing data merging (RTM) method for reconstruction of a 1-km all-weather land

surface temperature. Remote Sensing of Environment 260, 112437.
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112437>