

数字化背景下环境气象业务转型调研及发展思路

王媛媛^{1,2}, 郭锐^{1,2}, 马小会^{1,2}

¹京津冀环境气象预报预警中心, 北京

²北京市气象台, 北京

收稿日期: 2023年2月27日; 录用日期: 2023年3月28日; 发布日期: 2023年4月4日

摘要

随着人工智能技术在气象预报领域应用的不断深入, 环境气象业务也在发生变化。为了推动环境气象预报业务向数字化、智能化转变, 本文对国内外气象部门数字化业务现状进行调研分析, 对环境气象数字化转型发展进行了思考, 从而强化预报服务人员在雾、沙尘等低能见度天气预报、服务及关键技术研发中发挥核心作用, 进一步推动环境气象高质量发展。

关键词

数字化, 环境气象, 业务转型

Research and Development Thinking of Environmental Meteorology Service Transformation under Digital Background

Yuanyuan Wang^{1,2}, Rui Guo^{1,2}, Xiaohui Ma^{1,2}

¹Environmental Meteorology Forecast Center of Beijing-Tianjin-Hebei, Beijing

²Beijing Weather Forecast Center, Beijing

Received: Feb. 27th, 2023; accepted: Mar. 28th, 2023; published: Apr. 4th, 2023

Abstract

With the application of artificial intelligence technology in the field of weather forecasting, the environmental meteorology service is also changing. In order to promote the transformation of environment weather forecast to digital and accurate automatic intelligence, this paper investigates

and analyzes the status quo of digital operation of meteorological departments at home and abroad, and considers the digital transformation and development of environmental meteorology, so as to strengthen the core role of personnel research in the forecasting service and key technologies of fog, dust and other low-visibility weather to further promote the high-quality development of environmental meteorology.

Keywords

Digitization, Environmental Meteorology, Transformation

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

近年来,随着工业经济的发展和城市范围的扩大,北京的气候、大气环境和大气能见度也在不断发生变化,大气能见度及城市空气污染问题日益受到关注[1][2]。环境气象业务主要包括环境气象预报预警技术研究、空气污染扩散条件等级和能见度等产品制作发布、环境气象影响评估等业务工作。其根本是以各种尺度天气特征的气象参数为基础,即考虑气温、风、天气现场、湿度等气象要素对空气污染扩散的影响,因此气象要素预报是环境气象预报的基础和根本[3][4],环境气象业务的转型实质上是整个气象预报业务的转型。

以人工智能、大数据、云计算、量子信息、移动通信等为代表的新一轮科技革命的兴起,推动了信息技术产业的蓬勃发展。随着信息化技术在气象预报领域的应用不断深入,环境气象业务技术正在发生深刻变化。人工智能技术逐步成为环境气象业务数字化转型发展的重要支撑工具。近年来,气象部门大力推进智能网格预报业务及相应的预报技术方法研发,开展了大量人工智能技术的应用研究。云计算、大数据、人工智能等技术的深入推进以及智能预报技术的快速发展,为精准气象服务的发展提供了基础。随着网格预报的发展,产品的内容越来越全面、丰富,数据量也越来越庞大。人工智能、大数据等新技术发展将环境气象预报业务推向一个全新的方向,迫切需要构建以数字预报为主线的的环境气象预报业务,从新技术应用、岗位集约化、人员转型等方面探索环境气象未来的发展和定位,实现环境气象业务的数字化转型发展。

2. 国内外气象部门数字化业务现状调研

数值天气预报在预测大多数天气系统和气象要素方面表现出色,但天气事件越小,预测就越困难。随着信息技术的提高,与天气预报相关的数据井喷式增加,这些数据虽能加强中小尺度天气系统的预报水平,但有着无组织、非结构化等特点,无法通过传统的统计分析及数值模式有效处理[5]。而与许多其他科学领域一样,人工智能和大数据等技术的普及为天气预报中无序数据处理带来了新机遇[6]。

2.1. 国外人工智能技术在环境气象中的应用

国外有很多学者运用人工智能技术预报天气要素,按技术方法主要有遗传算法,神经网络,聚类分析等。在遗传算法方面,Cheng等人提出了基于遗传算法的自适应预测算法[7];在神经网络方面,Rasel等人对比了支持向量回归和人工神经网络在天气预报上的优劣[8];在聚类分析方面,Pooja等人应用古本相关系数,将天气数据划分为多组,形成聚类,并将聚类结果提供给线性规划增强分类器,以发现气象

要素间的相似性,提高预报水平[9]。此外,为了提高人工智能的天气预报水平,数据预处理也必不可少。Xu 等人对数值天气预报的错误数据进行深度挖掘,引入数据分析器,以找出错误数据与数值天气预报提取特征之间的联系,提出了短期风电预测模型[10]。

以丰富的研究作为理论支撑,国外气象部门已开展了一系列天气预报数字化业务,早在 2016 年美国 IBM 公司就开展了名为“深度雷电”的天气分析项目,通过数字化业务将复杂的数据分析应用于天气预报及气象服务[11]。2017 年开始,科罗拉多州立大学联合 NOAA 采用人工智能方法,处理数千张过去的天气图,以了解天气系统的行为过程,进而对暴雨、龙卷风、大冰雹以及严重的雷暴风进行预测[12]。目前,NOAA 通过机器学习方法,对地面、海洋及高空等观测数据收集、分析、理解和利用,将数字化业务运用至干旱、热带风暴、高温、大风等气象灾害预报预警中[13][14]。

2.2. 国内人工智能技术在环境气象中的应用

“十三五”时期,国内无缝隙气象预报业务体系趋于成熟,智能网格预报正式业务运行。随着数值模式性能的提高,模式数据的海量增长,不同业务的不断发展要求,国内外多家气象部门不断发展基于各类客观预报技术方法,意图从海量的模式预报数据中快速有效地提取和订正预报信息,提高预报准确率。近年来通过气象现代化建设,针对降水、温度、能见度相关的客观预报算法也得到快速发展。

降水和温度等基础气象要素预报是环境气象预报的根本。针对温度国内外大量研究及实际业务应用中常采用统计方法对模式输出的温度预报结果做订正,形成了基于多元线性回归的模式输出统计法、完全预报法等。相似预报方法从寻找历史资料中的相似天气形势或相似个例来对当前的预报进行订正,是气象学中的经典方法[15],利用该方法对气温等要素进行订正,结果表明相似预报方法具有有效预报技能[16][17],其预报能力要好于基于 MOS 的方法[18]。近年来,一种基于欧氏距离的相似集合预报方法——相似集合(Analog Ensemble, AnEn)被提出并逐步得到应用[19],该方法将找到的历史相似个例组成集合,运用集合预报相关的概念形成订正后的确定性预报,可以有效的订正模式预报的偏差,尤其是对地形、建筑物、边界层日变化等引起的固定偏差方面效果显著。

在对降水的客观算法研究中,业务中应用较多的算法是定量降水订正与集成,即通过对单个或多个模式预报产品进行系统偏差订正和权重集成,获得准确度更高和最有可能出现的单一或确定性预报结果,主要分为 3 类:(1) 基于数值模式集合预报和降水分布特征的后处理,也是目前业务中应用最多的一类,如降水频率分布匹配法、最优百分位法、相似集成、贝叶斯模型等方法;(2) 基于统计模型的后处理方法,如逻辑回归、分位数回归等;(3) 考虑多变量间依赖关系的后处理方法,该方法考虑预报输入量之间的时空演变连续性及其变量之间的关系,如参数连接法、相似天气集合预报法(Analog Ensemble, AnEn)。

重污染天气的发生伴随大气能见度下降,低能见度天气严重影响道路交通和飞行安全。北京特殊地理位置和气象条件导致低能见度事件时有发生,复杂的影响因素使能见度等环境气象相关预报具有较大难度。国内外能见度预报采用的方法主要可分为统计预报方法、数值预报方法和主客观结合的方法等[20][21][22]。在数值预报方面,中国气象科学院自主研发的区域天气-大气化学-大气气溶胶双向耦合模式预报系统 CAUCE,实现了气体、气溶胶模块与天气模式的在线耦合运行,对空气质量和能见度等要素进行预报。北京、广东等地则在 WRF-Chem、CMAQ 大气化学模式的基础上进行本地化改进和移植,开展相关环境气象预报。在能见度、霾等级、空气污染气象条件等级方面主要基于神经网络、KNN 数据挖掘算法、多指标叠套法、SVM、多元动态逐步回归、多元线性回归、事件概率回归等多种方法研发相关客观预报产品,同时基于卡曼滤波的偏差订正方法开展模式检验评估。

综上,人工智能技术在国内外天气预报及气象服务中均有广泛应用,国内起步虽晚,但近几年发展

迅速。随着信息化技术在气象预报领域的应用不断深入，气象业务技术正在深刻变化，利用智能技术改进数字算法，进而提升预报准确率已是刻不容缓。

3. 环境气象数字化转型发展思路

随着信息化技术在气象预报领域的应用不断深入，环境气象业务技术也应进一步加快数字化进程，拥抱新技术，努力构建预报流程集约化、预报技术智能化、预报产品数字化的环境气象业务新业态，从而提升环境气象预报服务的数字化、智能化水平，提升预报预警的准确率、提前量和服务的针对性、高效性。

3.1. 提升数据采集和处理能力

以大数据、人工智能等新技术应用为牵引，推动环境气象业务向数字化、精准化的自动智能方向转变。数据是前提和基础，在发展和研究中不可或缺。加强构建互联网、大数据、云计算技术等方面的研究和应用，提升环境气象数据采集和处理能力，实现智能收集、识别以及智能分析、智能判断、智能升级等数据信息化，建立网络安全化的数据库，同时确保数据的准确性、实时性和可靠性。

3.2. 持续性创新，推进信息化建设，提升环境气象智能化水平

以数字理念和数字思维为引导，实现预报技术智能化、服务系统智慧化、业务流程集约化、服务产品数字化。利用数字三维建模技术，实现天气系统三维可视化显示。实现模式产品可定制运行，实时提供客观预报产品和模式推优。建立可视化流程监控系统，实现流程自动报警的管理评价体系。应用人工智能行为分析技术，实现预报员主观预报的数字化转化应用。建立实时预报质量检验评估体系，覆盖全流程、多岗位、全时效。

智能客观算法方面，加强机器学习算法与数值预报的结合，通过机器学习来检测、评估和订正数值模式预报，并通过集成来获取基于数值预报的最优产品。另一方面，基于机器学习和数据挖掘方法，通过模型输出与雷达、卫星等覆盖度和时空分辨率高的观测值融合，对强对流天气进行识别预警和短临时段预报。传统气象科学属于物理建模范畴是理论驱动的，而人工智能为数据驱动的，在适应数据方面具有高度的灵活性并且易于发现不确定性问题中的新模式，可以成为传统气象科学的有效补充。

3.3. 建设数字气象驾驶舱，提高决策服务智慧化水平

建设环境气象智能决策指挥模块，提供三维、动态的气象要素和空气质量实时监测和灾害性天气自动预报预警产品，提供基于位置的精细化、可视化气象服务产品，推动数字服务产品的可视化应用，形成更直观、易读的精细化产品。产品制作智能化，实现个性化模板的定制和自动发布功能。开展多源资料的挖掘分析，建设决策气象知识库，应用知识图谱技术进行循环学习、知识融合、智能推理分析，推动传统预报向影响预报和风险预警转变。

3.4. 建设数字化专业队伍，推进复合型人才培养

数字化转型，相当于业务转型，为数字化技术的应用创造机会。所以，业务转型才能带动数字化转型。构建集约化业务流程、实现预报服务一体化运行。通过技术升级，进一步减少环境气象预报服务业务的“手工劳作”，加大研发人员占比。以预报专业为核心的环境气象领域需向具备数据分析、信息化建设、产品开发等领域扩展人才培养，在之前团队的基础上，培养一支预报和数字化的复合型人才队伍。对于专业技术较强的领域，培养和储备相关专业的高端技术人才。

4. 结论与展望

本文回顾了国内外气象部门数字化业务的现状，并对环境气象预报服务的数字化转型发展进行了思考，提升数据采集和处理能力，建设数字化专业人才队伍，推进信息化建设，才能提升环境气象预报和决策服务的智能化水平，进一步推动环境气象高质量发展。

当前正处于信息化快速发展的时代，环境气象数字化转型将改变现有的业务模式，提高核心业务的智能化程度，推动数字服务产品的可视化，大城市决策服务水平智慧化，预报员行为与经验数字化。以大数据、人工智能等新技术应用为牵引，推动环境气象预报业务向数字化、精准化的自动智能方向转变。推动首都气象高质量发展，为建设国际一流的和谐宜居之都提供有力环境气象保障支撑，满足人民群众日益增长的美好生活需要和北京经济社会高质量发展。

基金项目

中国气象局气象软科学项目资助(2022ZDIANXM01): 智能数字气象新业态下, 气象台数字化转型发展思路研究。

参考文献

- [1] 王淑英, 张小玲, 徐晓峰. 北京地区大气能见度变化规律及影响因子统计分析[J]. 气象科技, 2003, 31(2): 109-114.
- [2] 赵秀娟, 徐敬, 张自银, 等. 北京区域环境气象数值预报系统及 PM_{2.5} 预报检验[J]. 应用气象学报, 2016, 27(2): 160-172.
- [3] 彭王敏子. 我国环境气象服务发展概述[J]. 能源研究与管理, 2013(3): 13-15.
- [4] 邓红, 张蒙蒙. 关于推进环境气象业务的思考[J]. 环境与发展, 2017, 29(6): 190, 192.
- [5] Jain, H. and Jain, R. (2017) Big Data in Weather Forecasting: Applications and Challenges. 2017 *International Conference on Big Data Analytics and Computational Intelligence (ICBDAC)*, Chirala, 23-25 March 2017, 138-142. <https://doi.org/10.1109/ICBDACI.2017.8070824>
- [6] Fathi, M., Kashani, M.H., Jameii, S.M. and Mahdipour, E. (2022) Correction to: Big Data Analytics in Weather Forecasting: A Systematic Review. *Archives of Computational Methods in Engineering*, **29**, 733. <https://doi.org/10.1007/s11831-021-09630-6>
- [7] Cheng, Y., Zheng, Z., Wang, J., Yang, L. and Wan, S. (2019) Attribute Reduction Based on Genetic Algorithm for the Coevolution of Meteorological Data in the Industrial Internet of Things. *Wireless Communications and Mobile Computing*, **2019**, Article ID: 3525347. <https://doi.org/10.1155/2019/3525347>
- [8] Rasel, R.I., Sultana, N. and Meesad, P. (2018) An Application of Data Mining and Machine Learning for Weather Forecasting. In: Meesad, P., Sodsee, S. and Unger, H., Eds., *Recent Advances in Information and Communication Technology 2017. IC2IT 2017. Advances in Intelligent Systems and Computing*, Vol. 566, Springer, Cham, 169-178. https://doi.org/10.1007/978-3-319-60663-7_16
- [9] Pooja, S.B., Siva Balan, R.V., Anisha, M., Muthukumar, M.S. and Jothikumar, R. (2020) Techniques Tanimoto Correlated Feature Selection System and Hybridization of Clustering and Boosting Ensemble Classification of Remote Sensed Big Data for Weather Forecasting. *Computer Communications*, **151**, 266-274. <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2019.12.063>
- [10] Buszta, A. and Mazurkiewicz, J. (2015) Climate Changes Prediction System Based on Weather Big Data Visualisation. In: Zamojski, W., Mazurkiewicz, J., Sugier, J., Walkowiak, T. and Kacprzyk, J., Eds., *Theory and Engineering of Complex Systems and Dependability. DepCoS-RELCOMEX 2015. Advances in Intelligent Systems and Computing*, Vol., 365, Springer, Cham, 75-86. https://doi.org/10.1007/978-3-319-19216-1_8
- [11] Azimi, R., Ghofrani, M. and Ghayekhloo, M. (2016) A Hybrid Wind Power Forecasting Model Based on Data Mining and Wavelets Analysis. *Energy Conversion and Management*, **127**, 208-225.
- [12] Xu, Q., He, D., Zhang, N., et al. (2015) A Short-Term Wind Power Forecasting Approach With Adjustment of Numerical Weather Prediction Input by Data Mining. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, **6**, 1283-1291. <https://doi.org/10.1109/TSSTE.2015.2429586>
- [13] Li, H., Treinish, L.A. and Hosking, J.R.M. (2010) A Statistical Model for Risk Management of Electric Outage Fore-

- casts. *IBM Journal of Research and Development*, **54**, 8:1-8:11. <https://doi.org/10.1147/JRD.2010.2044836>
- [14] Schumacher, R.S., Hill, A.J., Klein, M., Nelson, J.A., Erickson, M.J., Trojaniak, S.M. and Herman, G.R. (2021) From Random Forests to Flood Forecasts: A Research to Operations Success Story. *Bulletin of the American Meteorological Society*, **102**, E1742-E1755. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-20-0186.1>
- [15] Van den Dool, H.M. (1987) A Bias in Skill in Forecasts Based on Analogues and Antilogues. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, **26**, 1278-1281. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1987\)026<1278:ABISIF>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1987)026<1278:ABISIF>2.0.CO;2)
- [16] Toth, Z. (1989) Long-Range Weather Forecasting Using an Analog Approach. *Journal of Climate*, **2**, 594-607. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1989\)002<0594:LRWFUA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1989)002<0594:LRWFUA>2.0.CO;2)
- [17] Panziera, L., Germann, U., Gabella, M. and Mandapaka, P.V. (2011) NORA-Nowcasting of Orographic Rainfall by Means of Analogues. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, **137**, 2106-2123. <https://doi.org/10.1002/qj.878>
- [18] Clemins, P.J., Bucini, G., Winter, J.M., et al. (2019) An Analog Approach for Weather Estimation Using Climate Projections and Reanalysis Data. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, **58**, 1763-1777. <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-18-0255.1>
- [19] Delle Monache, L., Nipen, T., Liu, Y.B., Roux, G. and Stull, R. (2011) Kalman Filter and Analog Schemes to Post-process Numerical Weather Predictions. *Monthly Weather Review*, **139**, 3554-3570. <https://doi.org/10.1175/2011MWR3653.1>
- [20] 胡海川, 张恒德, 朱彬, 谢超. 神经网络方法在环渤海能见度预报中的应用分析[J]. 气象科学, 2018, 38(6): 798-805.
- [21] 邢楠, 赵玮, 付宗钰, 等. 多元动态逐步回归方法在北京地区能见度预报中的应用[J]. 干旱气象, 2020, 38(4): 665-673.
- [22] 王媛媛, 赵玮, 邢楠, 等. 基于 RMAPS-CHEM 模式产品的北京地区能见度预报订正[J]. 气象, 2020, 46(3): 403-411.