

民航机场TAF预报指导产品的开发与设计

朱国栋

民航新疆空中交通管理局空管中心气象中心, 新疆 乌鲁木齐

收稿日期: 2022年5月7日; 录用日期: 2022年7月18日; 发布日期: 2022年7月25日

摘要

本文利用2015年至2021年数值预报和机场观测历史数据, 采用深度学习建立机场要素预报模型, 并通过TAF报文规则库, 实现要素预报转换为TAF预报的分时段预报产品, 为民航机场预报人员提供一种新的预报参考产品。

关键词

机场预报, 客观指导预报, 机器学习

Development and Design of TAF Forecast Guidance Products for Airports

Guodong Zhu

Meteorological Center of Xinjiang Air Traffic Management Bureau, Urumqi Xinjiang

Received: May 7th, 2022; accepted: Jul. 18th, 2022; published: Jul. 25th, 2022

Abstract

This paper uses the numerical forecast and historical data of airport observation from 2015 to 2021, adopts the deep learning method to establish the airport element forecast model, and through the TAF message rule base, realizes the time-based forecast product converted from the element forecast to the TAF forecast, which provides a new forecast reference product for civil aviation airport forecasters.

Keywords

Airport Forecast, Objective Guidance Forecast, Machine Learning



1. 引言

机场气象预报(TAF)是民航机场运行的重要气象服务产品,该报文包含指定时间段内,机场的风、能见度、天气现象、云以及风的变化情况的描述,按照民航气象规范使用缩写简语进行编报[1] [2] [3]。它是机场运行、航空公司放行航班进行决策的重要预报产品,准确的预报产品将会对公司效益和安全起到积极的作用。

针对机场单个站点的要素预报产品,国内的业务运行单位积极开展相关方法的研究,例如咸阳机场开发系统对机场重要天气实时监测,辅助业务人员发布天气预报产品[4],上海综合应用数值模式和外推方法进行降水融合预报并取得较好的效果[5]。针对民航机场运行关注的能见度、温度预测,随着数值预报产品和信息处理技术的发展,原有的人工数据分析已无法满足海量气象数据的处理,为改善各类气象探测和数值预报产品的应用能力,同时拓展模式输出产品,国内研究人员通过利用机器学习方法、数值模式释用,较好地改善了数值模式直接输出的温度预报产品的效果,利用机器学习深度学习方法,实现能见度、天气现象等模式无法输出的要素预测[6]-[15],为业务人员提供客观、科学的要素预报产品,改善民航气象产品在业务运行的辅助决策作用,为航空公司、公众出行中起到积极作用[16]。

本文提出的 TAF 预报指导产品是为民航业务运行人员提供客观、可靠的业务支持服务,利用数值模式产品和机器学习建模,生成机场温度、风、能见度、天气现象等要素预报,并按规则制作 TAF 指导产品,改善现有 TAF 预报无客观指导产品的现状,提高民航气象在业务运行中的辅助决策作用。

2. 产品业务流程设计

机场气象台制作 TAF 预报报文产品的流程,通常为机场预报人员综合分析地面高空填图、自动站、天气雷达、卫星等气象探测资料,结合各类数值预报产品,构建机场未来的天气演变趋势,然后根据天气演变趋势人工编制 TAF 报文。

为实现产品制作自动化的业务流程,本系统结合业务数据及产品特性,进行业务流程设计,主要包括数值模式释用及要素预报输出、TAF 报文规则库及报文预测效果评定等流程,其中涉及到的技术包括历史数据清洗及处理,机器学习建模释用数值预报,要素预报分布特征统计等机器学习理论和应用。具体流程图见图 1 所示。

通过每日定时输出的数值预报产品,利用历史资料获取的 TAF 报文规则库,综合要素预报结果,按照规则库进行处理,生成符合行业标准要求的 TAF 报文,提供给机场气象人员作为预报参考。结合数据处理和预测产品制作,本文选取 Python 语言进行开发,使用 PyTorch 和 Keras 构建深度学习模型和预测机场天气要素,为提高建模和预测效率,采用 Nvidia P6000 进行 GPU 运算加速,利用 crontab 计划任务进行定时处理。

3. 功能模块

按照 TAF 预报编发业务和产品加工流程,本系统将会涉及历史数据清洗、模型训练与寻优,构建 TAF 规则库、要素预报转换及 TAF 报文检验等功能,其中构建模型制作机场要素预报的模块,将会决定 TAF 支持产品的准确性,TAF 规则库则是尝试将要素预报转换为 TAF 报文,这两部分功能也是本系统的核心。结合相关功能本系统将形成 4 个功能模块,来完成 TAF 指导产品的开发和业务化运行。具体如下:

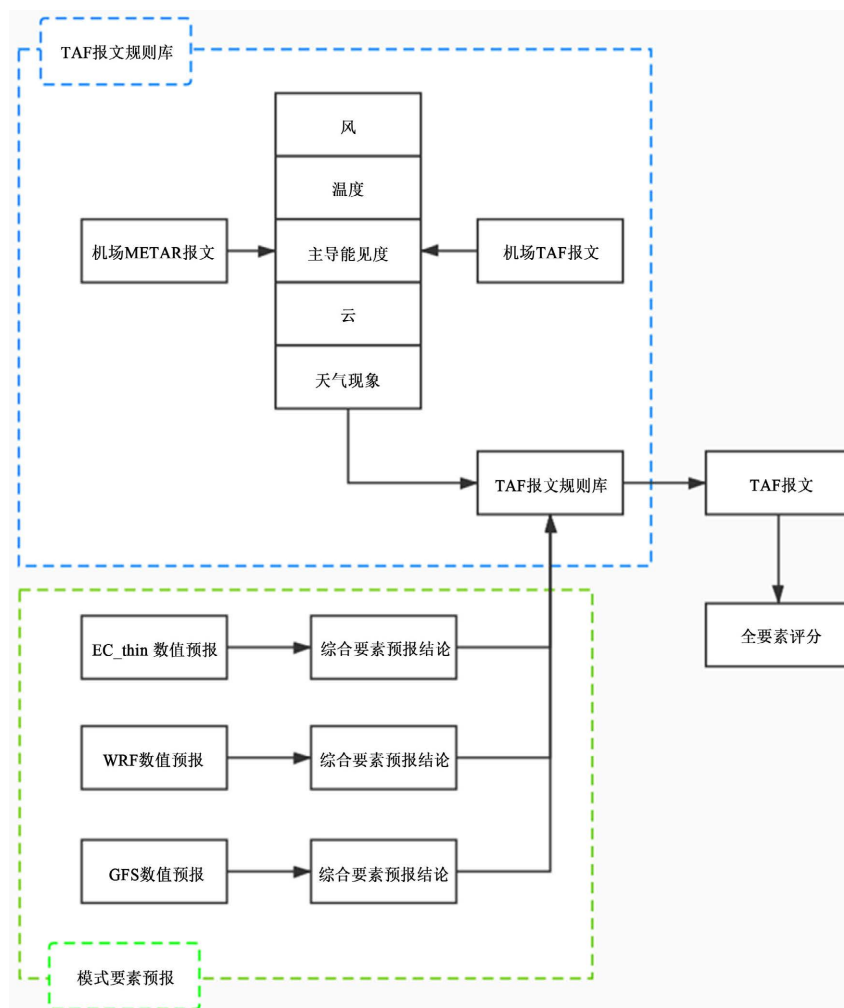


Figure 1. Schematic diagram of product production process

图 1. 产品制作流程示意图

3.1. 模式要素预报模块

机场要素预报是 TAF 预报指导产品的基础，机场要素预报的准确性直接影响到指导产品的可用性。结合已有的研究方法，本文利用 2015 年至 2021 年的 EC 细网格历史数据和机场历史观测资料，通过数据清洗和资料筛选，构建机场逐小时气象要素与 EC thin 的数据样本，其中 EC thin 各层次的温度、湿度、U 分量、V 分量等要素作为因子。利用深度学习工具 PyTorch 进行模型训练，获得机场温度、风向、风速、能见度、RVR、云底高、对流云、天气现象对应的预测模型，下面对其中的部分要素预报效果进行分析。

本文选取乌鲁木齐机场的要素预报进行预测效果检验。温度是航空器配载参考的重要气象要素，高温天气将会直接影响航班起降滑行距离。通常 EC thin 直接输出的温度预报具备一定的参考意义，但是由于乌鲁木齐机场周边地形环境复杂，36 h 的模式温度预报均方根误差 RMSE 为 2.2℃，平均绝对误差 MAE 为 1.77℃，通过深度学习方法的模型预测，对乌鲁木齐机场温度预报大幅提升，具体如图 2 所示，RMSE 降低至 1.64℃，MAE 降低至 1.26℃，获得了准确性较高的温度预报产品，为后续 TAF 指导产品提供准确性更高的产品参考。

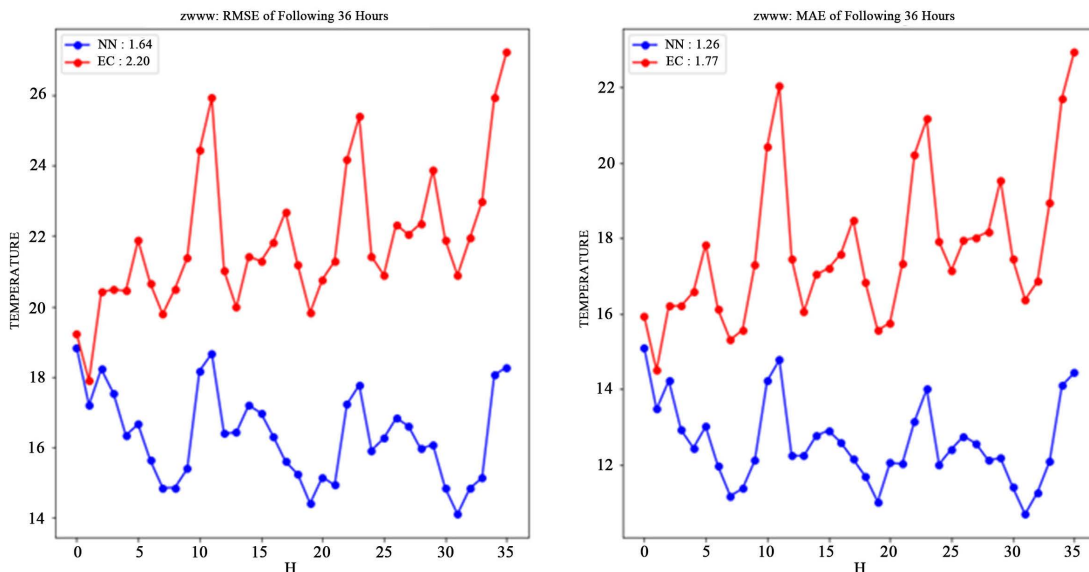


Figure 2. Comparison of temperature prediction errors between Urumqi airport element forecast and EC thin model products

图 2. 乌鲁木齐机场要素预报与 EC thin 模式产品的温度预测误差对比

机场能见度的演变将会直接影响机场的运行正常，现有的 EC thin 模式输出的能见度误差较大，无法直接作为业务参考。本文采用同样的方法，构建模型进行机场温度预测，通过对乌鲁木齐机场预测误差分析可以看到，模型预测的能见度 RMSE 为 1983.22 m，MAE 为 1481.46 m，分析 0~36 h 中 MAE 误差可以看到，其中 0 h 预测误差较大，而后预测误差维持在 1400 m 至 1550 m 之间，具体如图 3 所示。

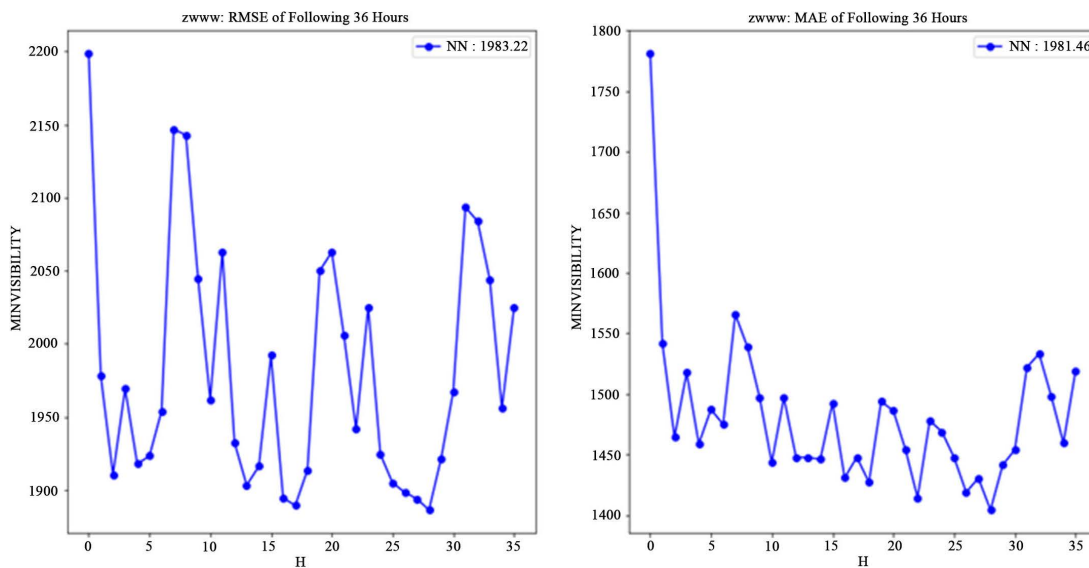


Figure 3. Visibility prediction error analysis in element forecast of Urumqi Airport

图 3. 乌鲁木齐机场要素预报中能见度预测误差分析

模式要素预报模块通过深度学习方法，实现机场 TAF 预报所需的要素预报的输出，并改善模式直接输出的产品精度，为后续 TAF 产品支持提供较为准确的预报。

3.2. TAF 报文规则库

通过分析 2015 至 2021 年机场实况与 TAF 预报报文的对应关系，同时结合逐小时要素预报结果，将要素预报中的温度、风向、风速、能见度、云状、云底高、天气现象等进行分类归纳，筛选出 TAF 预报报文有效时间中的最高、最低温度及出现时间，并将风向、风速、能见度等要素进行分布特征识别，按照 BECMG 和 TEMPO 转换组的特征要求，将逐小时要素预报转换为分时段的预报结论，并按照行业标准要求和报文编辑规则，自动转换为 TAF 报文。

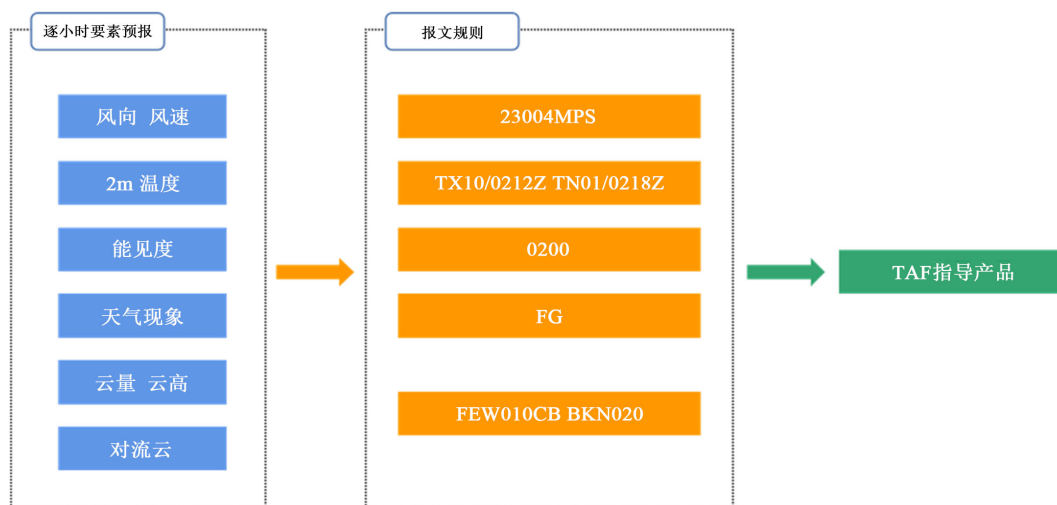


Figure 4. Schematic diagram of the flow chart of element forecast conversion TAF guidance product
图 4. 要素预报转换 TAF 指导产品流程示意图

TAF 指导产品转换业务流程如图 4 所示，通过读取模式要素预报模块输出逐小时的要素预报产品，按照民航 TAF 报文编制规则，将风向、风速、温度、能见度、天气现象、云等要素的数值或字符，统一转换为 TAF 报文的缩写简语字符，用于预报人员直接参考进行编制报文。

3.3. 报文质量评定

为确保 TAF 报文指导产品的准确，通过报文解析和纠错质量控制模块进行报文拆解，识别 TAF 报文的错误，为后续 TAF 报文规则库改进提供参考。同时，为了评估 TAF 报文指导产品的预测效果，本文按照民航空管系统要求，对 TAF 指导产品进行全要素评分，并与人工编发的 TAF 产品的全要素评分进行对比，持续监控指导产品的预测效果，发现指导产品中预测效果较差的情况，及时进行模型和规则库调整，不断改进产品的准确性。

4. 结语

1) 本文利用数值预报和机场历史观测数据，通过应用深度学习方法构建机场温度、风、能见度、天气现象、云等要素预报模型，并实现要素预报内容转换至民航气象报文的产品，为改善现有的机场预报产品提供新的思路。

2) 机场能见度、天气现象、云等气象要素，现有的业务主要依赖预报人员的资料分析和主观预报，模式无法提供直接的产品支持，本文在数值预报模式直接输出的温度、气压、湿度、风等要素预报基础上，通过建模和模式释用，实现能见度、天气现象等模式无法输出的气象要素产品的预测，丰富数值模式产品类别，改善此类气象要素的预测水平。

3) 通过预测效果检验可以看到, 对于温度等连续性物理量预测, 本文输出的产品效果较好, 具备很好的业务指导意义, 但是对于能见度、天气现象等非连续性物理量的预测, 产品效果还有待提高, 后续研究将考虑引入数值模式之外的高分辨率观测资料, 例如云图、雷达等资料进行辅助建模, 提高非连续性物理量的预测能力。

4) 现有 TAF 预报产品主要通过预报人员人工编制组成, 其中需要考虑未来天气趋势转换, 而自动化的要素预报转换为 TAF 报文产品过程中, 还涉及到要素预报的内容分析、语义转换以及概率分布优化, 并需要结合气候特征调整最终输出结果, 本文的报文产品转换规则设计较为简单, 与人工编制的报文还存在差异, 而且产品目前样本较少。后续随着产品积累数据的增加, 将会不断调整优化转换算法, 缩小自动化产品与人工编制产品的差距。

参考文献

- [1] 楚建杰, 王新, 须剑良, 等. MH/T4016.2-2007. 民用航空气象第 2 部分: 预报[S]. 北京: 中国民用航空总局, 2007.
- [2] 朱国栋, 杨乐, 孙少明. 民航气象报文质量控制算法的开发设计[J]. 科技与创新, 2019(20): 53-54+58.
- [3] 吕常胜. 机场天气预报 TAF 报文解析与应用[J]. 电脑知识与技术, 2021, 17(15): 215-217.
<https://doi.org/10.14004/j.cnki.ckt.2021.1521>
- [4] 马松松, 张琰, 张磊, 陈齐亚. 咸阳机场重要天气精细化预报产品发布系统的设计与实现[J]. 数字通信世界, 2020(4): 23-24.
- [5] 储海, 陈雷, 戴建华, 王海宾, 李佰平, 张欣, 孙敏, 刘梦娟. 上海市无缝隙天气预报技术[J]. 气象科技进展, 2017, 7(6): 59-66.
- [6] 贺雅楠, 高嵩, 薛峰, 李白良, 胡皓. 基于 MICAPS4 的精细化天气预报平台设计及应用[J]. 气象科技, 2018, 46(1): 200-206. <https://doi.org/10.19517/j.1671-6345.20170084>
- [7] 张吉楠. 机场预报预测系统的相关技术研究[D]: [硕士学位论文]. 开封: 河南大学, 2010.
- [8] 易军, 徐佳辉. 上海虹桥机场趋势预报方法初探[J]. 中国民航飞行学院学报, 2019, 30(3): 28-34.
- [9] 朱国栋, 牟欢. MOS 方法在机场气象要素客观预报中的应用[J]. 沙漠与绿洲气象, 2013, 7(3): 13-16.
- [10] 张祖莲, 张山清, 毛炜峰, 王命全, 木沙江·艾代吐力. 基于平均滤波算法的北疆春季日最低气温格点预报产品订正分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2021, 15(5): 16-23.
- [11] 朱国栋, 朱蕾, 王楠, 孙少明, 梁艳. 基于自动机器学习的机场温度预报方法研究[J]. 沙漠与绿洲气象, 2021, 15(6): 113-119.
- [12] 杨晶轶. 机场低能见度预报系统设计思路及其功能实现[J]. 天津科技, 2021, 48(11): 65-67.
- [13] 文俊鹏, 蓝静, 刘峰. 广州白云机场低能见度客观预报方法试验[J]. 气象科技进展, 2021, 11(2): 176-180.
- [14] 陈云峰, 林智, 曹维搏. 机场跑道风场精细化预报方案研究[J]. 民航管理, 2020(1): 51-53.
- [15] 王春红, 谭艳梅, 王清平, 陈阳权, 朱雯娜. 多种资料在乌鲁木齐机场浓雾天气监测预报中的运用[J]. 民航学报, 2022, 6(1): 60-64+55.
- [16] 陈阳权, 杜安妮, 张利平, 王清平, 朱国栋. 基于航空气象报文的辅助决策工具实现和应用[J]. 气象水文海洋仪器, 2019, 36(4): 49-55.