

冬奥气象图形产品可视化模型研究

丰德恩, 唐卫*, 王慕华, 郝江波, 袁亚男, 赵瑞, 王孝通

(中国气象局公共气象服务中心, 北京 100081)

摘要: 高质量图形产品是冬奥气象服务信息的重要载体。基于冬奥气象数据高时空分辨率特征, 研究了由多维气象信息向制图要素转换的冬奥气象图形产品可视化概念模型; 设计了由基于数据引擎的结构映射、赛事服务的空间映射、组件应用的元素映射和派生思想的属性映射组成的冬奥气象图形产品可视化过程模型。针对差异化、准实时气象服务制图需求, 设计了基于 DVDL 可视化描述语言的制图表达框架, 对可视化模型进行业务组织, 研发了冬奥气象图形产品加工系统, 提供 50 余种基础产品样式和所见即所得的制图编辑功能, 支持任意位置点长时间序列气象产品、山地赛场三维气象产品和多赛区综合服务气象产品的制图渲染。成果在 2022 年北京冬奥会气象服务中应用, 生产了 200 余种不用服务主题气象图形产品, 后续也可可为其他冬季赛事和重大活动气象服务保障提供精细化产品制作解决方案。

关键词: 冬奥会; 气象服务; 可视化; 渲染模型; 产品加工

中图分类号: TP31; P49

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2024)03-0214-07

doi: 10.3969/j.issn.1673-629X.2024.03.031

Research on Visualization Model of Meteorological Graphic Products in Winter Olympic Games

FENG De-en, TANG Wei*, WANG Mu-hua, HAO Jiang-bo, YUAN Ya-nan,

ZHAO Rui, WANG Xiao-tong

(Chinese Meteorological Administration Public Meteorological Service Center, Beijing 100081, China)

Abstract: High quality graphic products are an important carrier of meteorological service information for the Winter Olympics. Based on the high spatiotemporal resolution characteristics of Winter Olympics meteorological data, a conceptual model for visualizing Winter Olympics meteorological graphical products by converting multidimensional meteorological information into mapping elements was studied. A Winter Olympics meteorological graphical product visualization process model was designed consisting of structural mapping of the data engine, spatial mapping of event services, element mapping of component applications, and attribute mapping of derived ideas. In response to the demand for differentiated and quasi real-time meteorological service mapping, a mapping expression framework based on DVDL visualization description language was designed. The visualization model was organized for business, and a Winter Olympics meteorological graphic product processing system was developed. It provides more than 50 basic product styles and rich mapping editing functions, supporting long-term series meteorological products at any location Cartographic rendering of three-dimensional meteorological products and comprehensive service meteorological products for multiple competition areas in mountain sports venues. The results were applied in the meteorological services of the 2022 Beijing Winter Olympics, producing over 200 unserviceable themed meteorological graphic products. In the future, it can also provide refined product production solutions for meteorological service support for other winter events and major events.

Key words: Winter Olympic Games; meteorological service; visualization; render model; product processing

0 引言

第二十四届冬季奥林匹克运动会(简称“冬奥会”)于 2022 年 2 月 4 日至 20 日在中国北京和张家口举行。冰雪项目与气象条件密切相关, 尤其雪上运动

项目受气象条件影响更大, 气象条件是冬奥会成功举办最关键因素之一^[1]。严苛的气象条件要求给冬奥气象服务提出了严峻挑战。为完成高质量气象服务保障工作, 中国气象工作者研发了空间分辨率达 50 米、时

收稿日期: 2023-04-17

修回日期: 2023-08-18

基金项目: 国家重点研发计划(2018YFF0300100)

作者简介: 丰德恩(1984-), 男, 硕士, 高级工程师, 研究方向为气象服务信息化建设; 通信作者: 唐卫(1978-), 男, 博士, 正研级高工, 研究方向为气象服务信息化建设。

间分辨率达分钟级、从地面到高空精细化气象数据,以及直升机救援、轨道交通转场等专项服务保障产品,为冬奥气象服务提供了精细化数据支撑。将气象数据以直观的图形产品形式传达给赛事组织、国际气象专家及公众是气象服务链条上的重要环节。根据《2022年冬奥会和冬残奥会气象服务需求分析报告(2017版)》显示制图渲染概括为赛区、赛场和关键点3种空间尺度气象信息可视化。赛区尺度产品以北京、延庆、张家口及周边为制图区域,对常规气象信息、赛事外围服务产品进行渲染,显示气象信息整体分布情况和空间变化趋势,为公众出行、运动员转场等活动提供服务;赛场尺度产品对三维气象信息在山地赛场空间进行渲染,显示气象信息随地形和不同高度场的差异,为直升机救援、赛事保障等提供服务;关键点产品对赛道和场馆任意位置的长时间序列气象信息进行渲染,显示气象要素信息随时间演变趋势,在恶劣天气条件下寻找比赛窗口期。

目前,中国已建成MICAPS、MESIS、CIPAS、WeatherStudio、天目三维气象影视制播系统等不同服务场景产品制作系统,在日常业务和重大活动保障中发挥了很好的支撑作用^[2-7];针对2008年北京奥运会服务需求,研发了北京奥运会气象服务产品制作系统,实现10余种赛事保障产品制作^[8]。以上成果为冬奥气象服务产品可视化研究奠定了基础,但冬奥气象数据具有时空分辨率更高、更新频次更快等特点,制图渲染属于小区域复杂地形三维场景范畴,较常规大区域产品可视化更精细;此外,冬奥气象服务用户包括赛事管理部门、参赛人员、公众、城市运行管理部门等,对产品加工提出了差异化和准实时业务需求。为丰富冬奥气象图形产品表现样式、提高制图渲染响应速度,急需开展图形产品可视化模型研究,满足赛事服务精细化气象图形产品制作需求。

1 可视化渲染概念模型

1.1 数据多维特征分析

冬奥气象服务数据由实况监测、预报预警、专项保障产品组成。实况监测数据包括赛区逐小时天气实况,场馆代表站分钟级天气实况,赛区指定位置雪面温度等特殊要素逐30分钟监测,山地赛场50米分辨率三维融合再分析等产品;预报预警数据包括山地赛区100米分辨率邻近预报、京津冀地区未来10天1公里分辨率数值预报,场馆及雪上项目关键点未来1天逐小时、未来3天逐3小时、未来10天逐12小时主观预报,竞赛场馆和非竞赛场馆的高影响天气预警等产品;专项保障产品包括直升机紧急救援气象保障,公路交通气象风险、公众观赛气象影响预报等产品。

冬奥气象数据属于地理信息范畴,具有实体空间结构特征、对象属性形态信息、现实时间变化规律^[9],按照空间信息属性约束定义包含主体对象、属性维度、对象属性特征和关联关系。主体对象在可视化数据组织过程中起到了主导作用,包括赛区各关键点、场馆、赛道,以及任意空间区域等组成的气象信息空间载体;属性维度包括气象信息要素、时间维度和空间维度集合,要素维度指主体对象具有的温度、风速、降水量等要素类型,时间维度指主体对象表示气象信息有效时间范围,空间维度表征主体对象在空间连续或离散分布位置;对象属性特征指主体对象在属性维度集合约束下形成的多条定性或定量气象信息集合;关联关系指多个信息主体之间所属、包含、叠加、指代等结构关系。定义一条服务主题的多维度气象信息集合为:

$$C = \{OBJ, REL, DIM, CHAR\} \quad (1)$$

其中, $OBJ = \{o_i | 1 \leq i \leq n\}$ 表示气象信息主体对象集合; $REL = \{r_i | 1 \leq i \leq m\}$ 表示气象信息主体对象之间关联关系集合; $DIM = \{d_i | 1 \leq i \leq s\}$ 表示气象信息属性维度集合; $CHAR = \{ch_i | 1 \leq i \leq t\}$ 表示气象信息主体对象属性特征集合。

1.2 制图渲染关键要素

可视化渲染是将数据转换为人们可以形象理解的图形,以增强对信息的认知能力。其核心是将数据多维特征转化为二维、三维空间图形结构。为实现数据特征易于快速感知,能够充分表达信息的趋势性和差别性等特征,通常采用多视图结构协调关联将多维信息分散在不同视图和图形进行表达,在视图中选择不同的空间结构类型表达图形元素和属性。

在冬奥气象服务图形产品合理表达过程,制图元素、视图结构、空间类型和元素属性在可视化渲染中为关键制图要素^[10]。制图元素是由简单几何图形经过组合形成的基本图形单元,可对单个信息对象进行完整表达,如指北针、制图标题、天气图层等;视图结构布局是指多个制图元素在产品视图中的结构和组织,是制图元素之间逻辑关系表现形式;空间类型是对制图元素选择二维、三维的空间类型进行呈现,保证气象信息在视图内部完整表达;元素属性是结合服务需求和气象信息量级对制图元素表现样式和视觉属性表达设计。定义一张气象服务图形产品渲染要素集合为:

$$V = \{STRUC, SP, EL, ATR\} \quad (2)$$

其中, $STRUC = \{str_i | 1 \leq i \leq s\}$ 表示产品视图结构; $SP = \{s_i | 1 \leq i \leq s\}$ 表示产品空间类型; $EL = \{e_i | 1 \leq i \leq n\}$ 表示制图元素集合; $ATR = \{a_i | 1 \leq i \leq t\}$ 表示制图元素属性集合。

1.3 概念模型表达

冬奥气象图形可视化本质为采用图形语言,利用

人类对视觉可视模式的快速识别能力对冬奥气象数据进行视觉呈现,需要实现数据转换、可视映射、视图转换等过程。冬奥气象产品可视化是将冬奥气象信息多维度特征与制图渲染关键要素形成对应关系,完成气象数据到图形渲染要素的转换映射,可表示为以冬奥气象数据集为定义域,以图形渲染要素集合为值域的函数对应关系。冬奥气象图形产品可视化渲染模型表示为函数关系 $M: C \rightarrow V$ 。

该映射函数表现为:

$$\begin{cases} \forall_o (o \in C \wedge o \in \text{OBJ}) \rightarrow M(o) = e, e \in \text{EL} \\ \forall_r (r \in C \wedge r \in \text{REL}) \rightarrow M(r) = \text{str}, \text{str} \in \text{STRUC} \\ \forall_d (d \in C \wedge d \in \text{DIM}) \rightarrow M(d) = s, s \in \text{SP} \\ \forall_{ch} (ch \in C \wedge ch \in \text{CHAR}) \rightarrow M(ch) = a, a \in \text{ATR} \\ M: M(C\{o, r, d, ch\}) = V\{e, \text{str}, s, a\} \end{cases} \quad (3)$$

其中, $\forall_r (r \in C \wedge r \in \text{REL}) \rightarrow M(r) = \text{str}, \text{str} \in \text{STRUC}$ 表示气象信息关联关系到产品视图结构的映射; $\forall_o (o \in C \wedge o \in \text{OBJ}) \rightarrow M(o) = e, e \in \text{EL}$ 表示气

象信息主体对象到制图元素的映射; $\forall_d (d \in C \wedge d \in \text{DIM}) \rightarrow M(d) = s, s \in \text{SP}$ 表示气象信息属性维度到产品视图空间的映射; $\forall_{ch} (ch \in C \wedge ch \in \text{CHAR}) \rightarrow M(ch) = a, a \in \text{ATR}$ 表示主体对象属性特征信息到制图元素属性的映射。

2 可视化渲染过程模型

根据可视化概念模型表述,可视化过程是一个从多源气象数据经过可视化结构映射、空间映射、元素映射和属性映射顺向组织渲染过程,可视化结构和空间映射是制图框架设计,可视化元素和属性映射决定产品渲染效果和细节。图形产品可视化过程也需要业务工作者通过交互制图、模板设计、可视化布局和数据组织更新反向业务需求传递过程。可视化映射和需求传递形成一个闭合回路,需多次交互设计才能达到最佳效果。冬奥气象图形产品可视化渲染过程如图 1 所示。

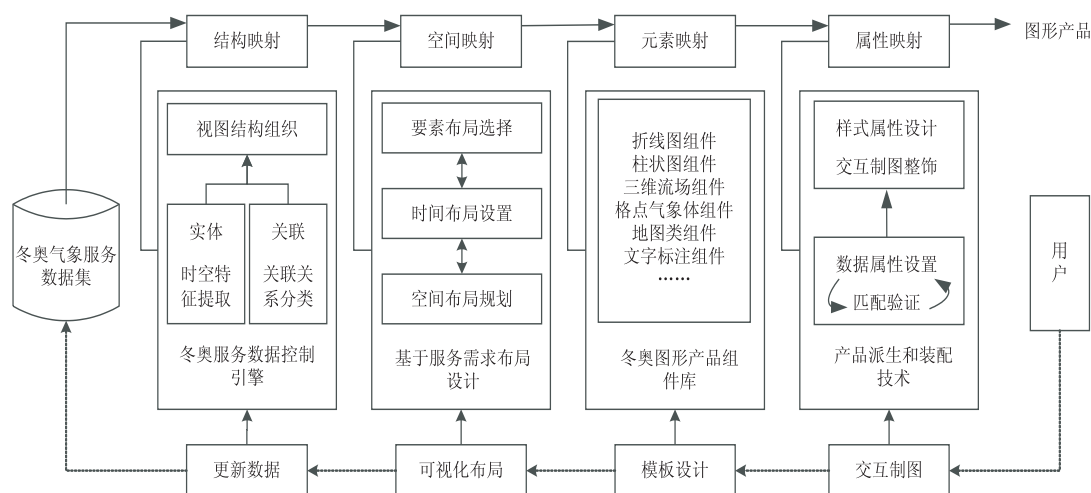


图 1 冬奥气象图形产品可视化过程模型

2.1 基于数据引擎的结构映射

构建冬奥气象服务数据控制引擎,对冬奥气象信息进行时空特征提取和关联分析,将多源气象信息转换为可视化目标数据结构。映射过程需确定一个主体结构为根节点,对与其相关数据结构对象进行时间、空间和赛事服务关联组合。定义时间流气象数据结构以站点时间序列气象信息为主体结构,关联关键点、赛道等空间载体信息,对任意位置长时间序列气象信息进行组织;定义格点气象数据结构以三维气象场格点信息为主体结构,定义矢量气象数据结构以点线面格式的气象信息为主体结构,分别关联地理底图等下垫面信息,对赛区平面和赛场三维气象信息进行组织。结构映射对属性映射环节发送的指令进行数据重组和更新处理,提供渲染所需的气象信息属性特征集合。

2.2 基于赛事服务的空间映射

针对不同赛事服务需求和应用场景,将多维度气象信息在有限制图空间进行约束转化和排列组合,生成可视化产品空间布局。针对赛区尺度产品制图需求,设计区域平面气象可视化布局^[11],渲染格点和站点类常规气象数据、专项保障等服务产品,叠加赛区及周边地理底图,显示气象信息整体分布情况和空间变化趋势。针对赛场尺度产品制图需求,设计小尺度三维气象可视化布局^[12],渲染三维气象数据,叠加赛场三维地理模型,显示气象信息在不同空高度场随地形的差异变化,为直升机救援、赛事保障等提供服务。针对任意位置点制图需求,设计图表气象可视化布局^[13],渲染关键点长时间序列气象信息,关联关键点、赛道等空间载体信息,显示任意位置气象信息随时间

的演变趋势。

2.3 基于组件应用的元素映射

基于可视化数据结构将可视化对象以基本几何图形形式呈现在图形界面。由于天气过程不确定性和服务需求多样性,映射过程采用组件化开发技术实现^[14],对制图元素进行概念化抽象,形成气象图表、天气图层和三维气象原子组件,组件内核框架具有8个样式视觉变量:形状、尺寸、方向、明度、密度、结构、颜色和位置^[15],支持气象信息在平面气象、三维气象和图表气象可视化布局中的展示。原子组件具有双向数据绑定功能,当结构映射对数据进行重组时,视图中制图元素按照预设的逻辑程序主动更新视图;用户重新定义视图中的制图元素属性信息,结构映射重组可视化数据对象。

2.4 基于派生设计的属性映射

基于冬奥气象服务场景化需求,调整元素映射中制图元素数据和样式属性信息,实现气象信息准确、美观可视化表达,是用户根据制图表达需求的一个反复交互设计过程。派生设计思想是根据给定产品设计需求,在原产品样式库中寻找能实现相同或相似功能产品组成部件,通过变更组成部件结构、配置和尺寸,完成新产品快速设计^[16]。将该设计思想对冬奥气象可视化产品进行属性派生变形设计,快速形成新服务产品可视化内容和表达样式。对数据属性派生设计,确

定产品服务对象时间范围、空间区域和气象要素等可视化信息;对样式属性派生设计,选择冬奥气象产品组件,对制图元素视觉变量进行交互设置,丰富用户视觉感知。

3 可视化模型业务应用

3.1 可视化模型表达框架

为了使可视化模型在结构映射、空间映射环节具有扩展性,在元素映射和属性映射环节有很好的交互性,本研究采用可视化模型表达框架对可视化模型进行存储和组织,提高可视化模型开发应用效率。DVDL是一种模块化、层次化可视化描述语言,广泛应用于信息系统可视化模型的抽象表达设计^[17]。冬奥气象可视化模型表达框架在设计过程继承使用了DVDL模型中具体可视化模块(ViewStruct)、抽象数据描述模块(MeteData)、布局映射模块(Mapping),去掉可视化数据、用户和资源等业务应用关联不高的模块,保留模型表达框架描述可读性、业务扩展性等特点。冬奥气象可视化模型表达框架前三级节点的XML Schema结构如图2所示。在结构中矩形框表示一个布局节点元素,矩形框后方的加号和减号表示该元素是否展开,矩形框下方数字代表节点元素允许出现的次数,标识S,C,A的矩形框分别表示所有元素依次、选择一项和全部出现。

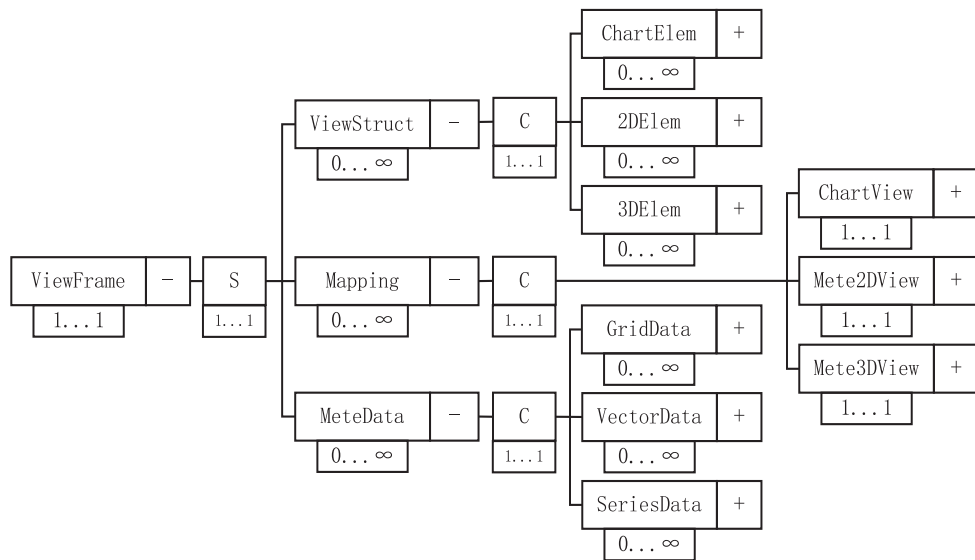


图2 冬奥气象产品可视化模型表达框架

其中,具体可视化模块对元素映射过程设计的3种原子组件(气象图表、天气图层和三维气象)的样式和属性进行概括描述,抽象数据描述模块对结构映射中的3种气象数据结构(时间流、格点和矢量)的配置表达进行概况描述,布局映射模块对空间映射形成的3种产品布局结构(平面气象、三维气象和图表气象)进行概况描述。一个产品可视化描述文件各包括了一

个或多个具体可视化模块、可视化数据模块以及一个布局映射模块,实现可视化样式在一定抽象层次上可复用。

3.2 图形产品加工系统

基于冬奥气象服务模型表达框架,集成ECharts、WebGL等开源可视化成果,研发由可视化数据引擎、冬奥气象制图组件库、产品布局设计视图和可视化制

图交互界面组成的冬奥气象图形产品加工系统,实现了冬奥气象数据结构化组织、整体布局规划、个性化呈现和交互编辑制作。

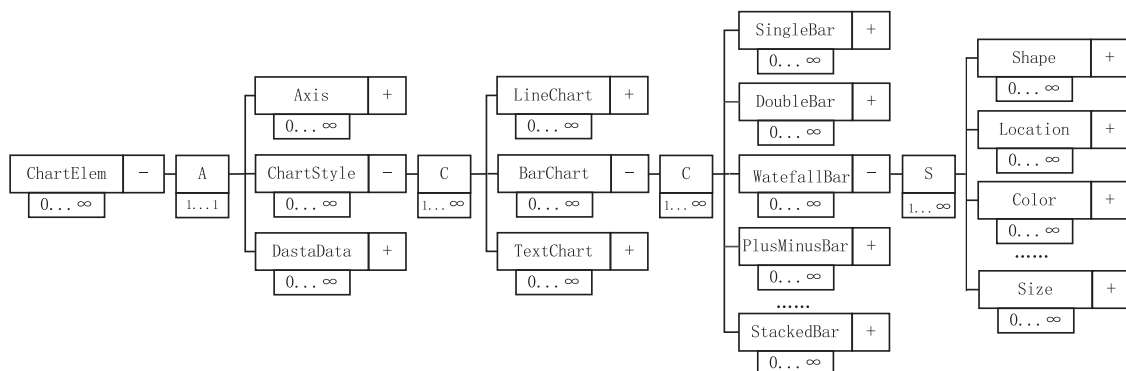
3.2.1 可视化数据引擎

对抽象数据描述模块进行分类抽象约束描述,实时采集和处理多源异构冬奥气象信息,研发标准化数据服务接口,为气象信息可视化提供数据支撑。时间流数据结构约束条件包含站点信息、气象要素、时间范围和时间分辨,对关键点逐分钟,1 小时,3 小时,12 小时的实况和预报数据进行时空分辨率无缝拼接和滚动更新。格点数据结构约束条件包含气象要素、时间序列、空间范围和高度场,对山地赛场 50 米分辨率三维实况融合再分析数据、赛区 100 米分辨率短临预报数据、京津冀地区 1 公里分辨率未来 10 天预报数据,进行水平面向地面高度场转化、水平分辨率与垂直分辨率一致性插值等处理。矢量数据结构约束条件包含点线面空间形状、时间序列、要素集合和空间投影,对赛道、场馆、DEM、行政区划等下垫面数据,以及直升机紧急救援气象保障、公路交通气象风险、公众观赛气象

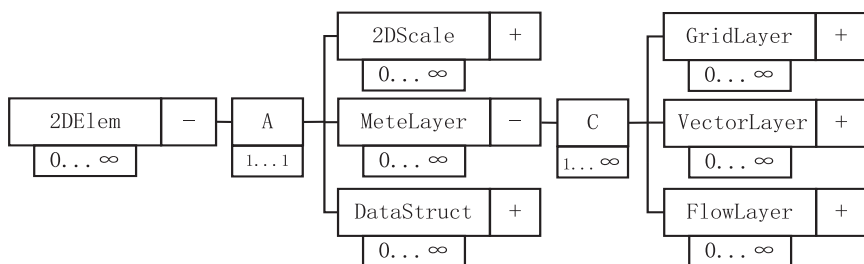
影响预报等矢量数据进行组织。

3.2.2 冬奥气象制图组件库

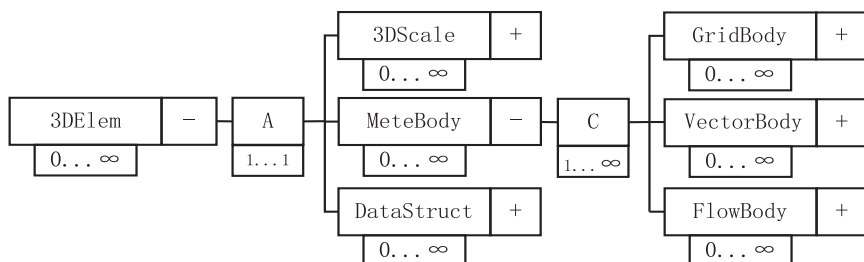
对具体可视化模块原子组件进行分类型设计,设置原子组件各部件的视觉属性变量,规范组件可解译的数据结构类型,研发功能可复用的可视化组件。分类型冬奥气象可视化原子组件描述节点如图 3 所示。气象图表原子组件对坐标轴、组件样式和数据结构约束,坐标轴展示时间和气象要素信息,数据结构是对时间流数据结构实例化,基于组件样式研发单柱、双柱、堆积柱、瀑布柱等柱图组件,单折线、双折线、折点等折线组件,文本、天气图标等字版图组件。二维气象原子组件中视图范围规范组件大小、位置和比例尺等信息,数据结构是对格点和矢量数据结构进行实例化,基于图层样式研发了风流场、格点预报、站点实况、点线面形状等可视化组件。三维气象原子组件中三维范围规范组件大小、位置、比例尺等信息,数据结构是对格点和矢量类型数据结构实例化,基于三维气象组件样式研发了三维风流场、空间格点图层和离子气象体等可视化组件。



(a) 气象图表原子组件结构



(b) 二维气象原子组件结构



(c) 三维气象原子组件结构

图 3 冬奥气象可视化原子组件分类描述

3.2.3 产品布局设计视图

基于布局映射模块描述的分型气象产品空间布局,对组件库中的组件进行组织和调用,形成冬奥气象产品可视化基础样式,一个样式由一个独立的可视化模型框架文件进行存储。图表气象布局结构以气象图表组件为主体,关联关键点、赛道等空间载体组件,在布局中对赛道、关键点和气象要素选择,形成单点单要素和单点多要素产品样式,渲染关键点任意时段内一种或多种气象要素变化趋势;形成多点单要素多点多要素样式,渲染赛道上多个关键点相同时间内气象要

素对比情况。区域平面气象布局结构以天气图图层组件为主体,叠加赛区及周边地理底图组件,对模型中时间和气象要素节点选择,形成格点预报、实况观测、动画图等平面产品基础样式,渲染气象信息在二维空间的分布。小尺度三维气象布局结构以三维气象体组为主体,叠加赛场三维地理模型组件,对模型中气象要素、范围、高度场节点选择,形成山地三维流场、山地三维气象体产品样式,渲染高空气象信息整体变化趋势。部分冬奥气象图形基础样式如图4所示。

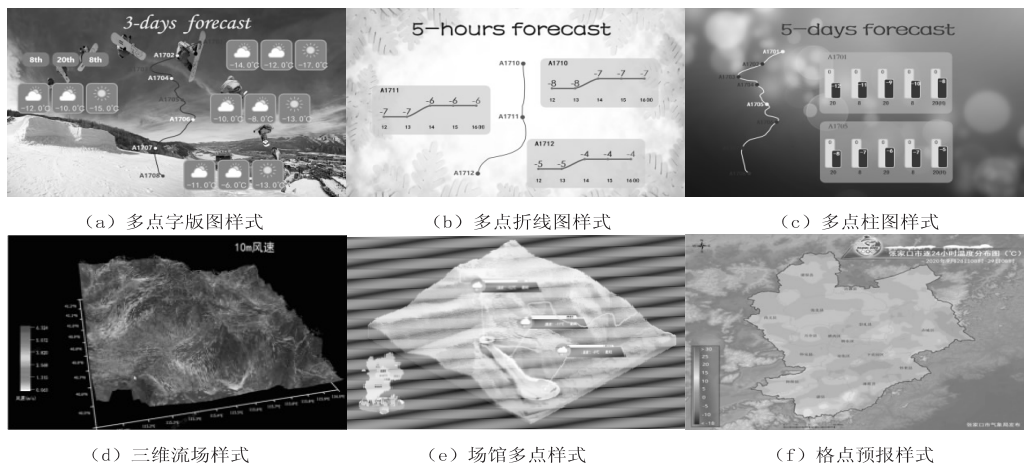


图4 部分冬奥气象产品基础样式

3.2.4 可视化制图交互页面

基于冬奥气象可视化模型表达框架,研发由制图元素编辑、制图模板库、产品自动化加工功能组成的制图交互页面,实现冬奥气象服务产品的自动化和人机交互制作。制图元素编辑根据冬奥气象服务产品基础样式和制图模板,通过设置组件样式、制图背景、文本编辑、地图编辑等操作,实现新应用场景制图模板开发;制图模板库对不同天气过程、赛事服务场景制图模板进行存储和管理,提供模板再编辑、制图输出等功

能;产品自动化加工对制图模板设置运行时间和数据源参数,监听服务器时间,实现产品定时自动化加工。以男子速降起始点未来10天温度预报图模板设计为例,介绍产品派生思想在可视化制图交互中的应用,选择冬奥气象柱状图样式,对赛事、关键点、气象要素、资料类型和时长等数据属性进行派生设置,对制图元素交互派生编辑,实现从基础样式到制图模板的快速生成。柱状图模板派设计流程如图5所示。

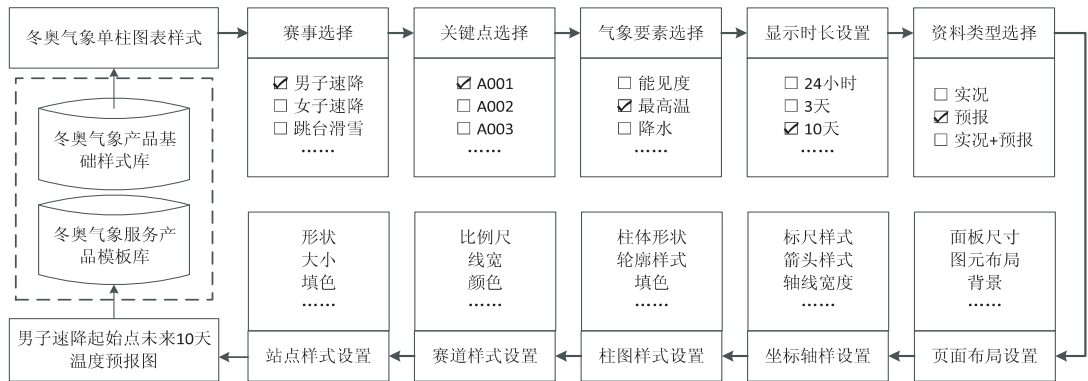


图5 柱状图模板派生编辑流程

4 结束语

基于冬奥气象服务需求和高时空分辨率气象数据特征,该文提出了由可视化结构映射、空间映射、元素

映射和属性映射组成的冬奥气象图形产品可视化概念模型和过程模型,实现了任意位置点长时间序列气象信息、山地赛场复杂地形三维气象信息、多赛区综合服务气象信息的产品可视化展示,为冬奥服务全量气象

信息展示提供了综合解决方案。基于 DVDL 可视化描述语言、可视化组件开发应用、产品派生设计等技术,设计了冬奥气象可视化模型表达框架对模型进行业务组织和存储,研发了冬奥气象图形产品加工系统,实现了制图模板便捷组合渲染,满足了个性化服务产品加工快速响应的需求。

可视化模型在冬奥气象服务中得到应用,研发了 50 余种不同类型产品基础样式,根据冬奥气象服务需求派生出 200 余种不同服务主题制图模板,可延伸应用到其他冬季赛事和重大活动气象服务保障。另外,随着 5G 短视频应用兴起和 3R 技术发展^[18-19],可视化渲染后续应向虚拟现实和短视频创作的产品可视化方面开展深入研究。

参考文献:

- [1] KIKTEV D, JOE P, ISAAC G A, et al. Frost-2014: the sochi winter olympics international project[J]. Bull Amer Meteor Soc, 2017, 98(9): 1178-1188.
- [2] 高 嵩, 毕宝贵, 李月安, 等. MICAPS4 预报业务系统建设进展与未来发展[J]. 应用气象学报, 2017, 28(5): 513-531.
- [3] 吕终亮, 白新萍, 薛 峰. 基于 WebGIS 的气象服务产品制作系统及关键技术[J]. 应用气象学报, 2018, 29(1): 120-128.
- [4] 吴焕萍, 张永强, 孙家民, 等. 气候信息交互显示与分析平台(CIPAS)设计与实现[J]. 应用气象学报, 2013, 24(5): 631-640.
- [5] 王慕华, 唐 卫, 丰德恩, 等. 基于消息驱动的气象图形产品加工系统[J]. 气象, 2018, 44(5): 692-698.
- [6] 孟 京, 李孟頔. 基于云端的气象融媒体直播演播室平台构建[J]. 网络新媒体技术, 2018, 7(5): 51-57.
- [7] 郑虹晖, 王立俊, 赵 冰, 等. 海南省气象业务内网设计与实现[J]. 计算机技术与发展, 2022, 32(6): 203-208.
- [8] 李德泉, 周 勇, 虞海燕. 北京奥运气象服务产品制作系统设计与实现[J]. 应用气象学报, 2010, 21(3): 372-378.
- [9] 丰德恩, 唐 卫, 王慕华, 等. 基于 WebGIS 的气象服务产品自动加工关键技术[J]. 气象与环境科学, 2020, 43(1): 130-136.
- [10] 宋美娜, 崔丹阳, 鄂海红, 等. 一种通用的数据可视化模型设计与实现[J]. 计算机应用与软件, 2017, 34(9): 38-42.
- [11] ZHANG X, YUE P, CHEN Y, et al. An efficient dynamic volume rendering for large-scale meteorological data in a virtual globe[J]. Computers & Geosciences, 2019, 126(5): 1-8.
- [12] FU Z X. 3D reconstruction of meteorological radar data based on cubic grid interpolation algorithm[J]. Computer Science and Application, 2019, 9(8): 1536-1545.
- [13] WANG H Y, LIU X Y, LU Y. Application of matlab in meteorological graphic recognition[J]. Meteorological and Environmental Research, 2021, 12(3): 26-28.
- [14] CHATZIPETROU P, PAPATHEOCHAROUS E, WNUK K, et al. Component attributes and their importance in decisions and component selection[J]. Software Quality Journal, 2020, 28(2): 567-593.
- [15] 王荟奥, 蔡永香, 杨岸霖, 等. 大屏数据可视化易用工具的研究与开发[J]. 计算机系统应用, 2022, 31(2): 114-119.
- [16] 徐新胜, 朱凡凡, 鲁玉军. 零件尺寸的信息效率特性分析及其应用[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2015, 27(4): 731-737.
- [17] 杜 一, 郭旦怀, 陈 昕, 等. 一种模型驱动的可视化生成系统[J]. 软件学报, 2016, 27(5): 1199-1211.
- [18] LU K, MIN C D. Research on the Application of VR technology in meteorological simulation[J]. Journal of Korea Multimedia Society, 2021, 24(10): 1435-1448.
- [19] 刘 珺. 5G 背景下气象媒体以 MCN 模式发力短视频的策略探究[J]. 电视技术, 2021, 45(8): 42-44.