

天气雷达基数据通用工具包设计与实现

张德玉¹ 魏荣妮¹ 张强¹ 白明¹ 庞成¹

ZHANG Deyu WEI Rongni ZHANG Qiang BAI Ming PANG Cheng

摘要

气雷达基数据格式多样,造成数据解析、可视化困难,经常发生兼容性问题。通用工具包由格式转换工具和可视化工具组成。前者在基数据格式分类、解析和封装的基础上,以“基数据标准格式 V1.1(FMT)”为中间类型,凝练出其它格式向 FMT 转换、FMT 向其它格式转换的 10 类转换算法,实现基数据格式的自由转换;后者以 FMT 为基础,凝练出 9 类观测要素的回波图形化算法,实现基数据的可视化。利用此工具包,甘肃省气象数据中心将该省 8 部雷达历史基数据转换为标准格式保存,统一了数据格式;利用可视化工具将基数据转换为 png 图形文件,供前台网站使用。应用证明,工具包能不依赖任何开发环境和支撑系统独立运行,使用方便,既能面向普通用户,又能为二次开发做支撑。

关键词

天气雷达;基数据标准格式;格式转换;可视化;通用工具包

doi: 10.3969/j.issn.1672-9528.2024.05.034

0 引言

基数据是天气雷达最基础的探测资料。由于历史原因,基数据格因雷达厂家、雷达型号、生产批次等的不同有较大差异,格式多样,使用不方便。随着雷达业务软件 ROSE2.0^[1] 的全国推广,天气雷达基数据标准格式 V1.1^[2-5] (简称 FMT 格式) 得到全面应用,在很大程度上解决了格式多样带来的不便。但在使用历史基数据时,数据格式多样带来的不便仍然存在:部分旧的业务系统与 FMT 格式不兼容,面临升级改造;部分新研制的业务系统以 FMT 格式为标准,不兼容旧的基数据格式。格式多样造成数据的解析、存取、可视化变得困难,实际业务中经常出现兼容性问题。高金兵等人的中国基数据模型与 CDM 集成研究^[6],基于 Python 的 PyCINRAD 模块 (<https://github.com/CyanideCN/PyCINRAD>),刘俊等人的基于 NetCDF 的国产新型气象雷达基数据通用编码试验^[7]等,均以不同的角度和方法实现了基数据的兼容和可视化。但这些研究存在共同的不足:(1)方法对开发环境有高度的依赖性,业务化难度较大;(2)使用门槛高,让普通用户望而却步。目前缺乏通用、统一的解决方案。

本文旨在讨论和提供一种易于部署、使用便捷,既面向普通用户又适合开发者的通用工具包。工具包由格式转换^[8-11]工具和可视化^[12-15]工具组成。格式转换工具实现基数据格式的自由转换,解决格式多样造成的不便;可视化工具将二进

制的基数据文件转换为 png 图形文件,供普通用户和开发者使用。

1 基数据分析

1.1 内部结构

基数据从内部结构上可大致分为两个部分:公共数据块(文件头)和径向数据块。公共数据块用于提供数据通用头、站点信息、任务配置、扫描配置等公共信息。径向数据块用于存储天气雷达的具体探测资料,由若干条径向数据组成。基数据整体结构见图 1(a)。

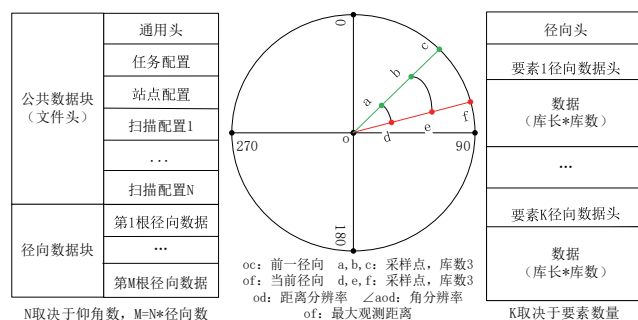


图 1 基数据存储结构

基数据一般由多个仰角层组成,每个仰角层由若干根径向数据组成,相邻两根径向数据之间的夹角称为角分辨率。径向数据由若干个采样点组成,采样点的数量称为库数,每个采样数据的大小称为库长。相邻两个采样点之间的距离称为距离分辨率,库数与距离分辨率的乘积称为该层最大观测距离。层空间结构见图 1(b)。

1. 张掖市气象局 甘肃张掖 734000

[基金项目] 甘肃省气象局科研项目“基于天擎和径向流的天气雷达实时回波同步显示系统”(Zd2022-02)

每个采样点包括的观测要素因雷达体制而不同，一般单偏振体制包括滤波前强度（dB_T）、滤波后强度（dB_Z）、径向速度（V）、宽谱（W）4个要素，双偏振在上述4要素的基础上增加了差分反射率（ZDR）、差分相移率（KDP）、差分相移（ ϕ DP）、协相关系数（CC）、水平通道信噪比（SNRH）5个要素。径向数据存储结构见图1（c）。

1.2 格式分类

从基数据格式的具体差异出发，将现行格式划分为FMT、CC2、CC、CD、SA、88D共6种类型，覆盖了所有雷达型号（9种）。基数据格式差异及分类见表1（除要素数、径向数，其余均为占用空间大小，单位为字节；“库”指库数×库长）。从表1可看出，除了FMT外，其余格式均为定长结构。定长的数据结构便于数据读取和存储，但不利于数据的动态扩充和调整。FMT为现行“天气雷达基数据标准格式”，是唯一支持仰角层数量、要素数量和库长动态调整的数据格式（CC2只支持要素数量调整）。

表1 基数据格式差异及分类

序号	数据格式	适用型号	公共数据块（文件头）					径向数据					
			通用	站点	任务	扫描	size	径向头	size	Z库	V库	径向数	要素数
1	FMT	所有	32	128	256	256×N	不定	64	不定	不定	不定	≥360	不定
2	CC2	CC、CC _j	12	168	36	1844	2060	0	不定	500×1	500×1	512	4或9
3	CC	CC、CC _J	16	168	34	806	1024	0	3000	500×2	500×2	512	3
4	CD	CD、SC	0	170	31	823	1024	8	4000	1000×1	1000×1	360	4
5	SA	SA、SB	0	0	0	0	0	128	2432	460×1	920×1	360	3
		CA、CB	0	0	0	0	0	128	4132	800×1	1600×1	360	3
6	88D	WSR-88D	16	0	0	0	16	128	2432	460×1	920×1	360	3

2 格式转换

2.1 中间类型

数据格式自由转换，理论上需要 $N\times(N-1)$ 种算法，本例 N 为6，即30种转换算法，工作量大不易完成。解决的办法是间接转换：类型A转换为类型B时，选择中间类型Z作中介，将 $A\rightarrow B$ 转换为 $A\rightarrow Z\rightarrow B$ 。同理， $C\rightarrow D$ 为 $C\rightarrow Z\rightarrow D$ ； $E\rightarrow F$ 为 $E\rightarrow Z\rightarrow F$ 。此时需要 $2\times(N-1)$ 种转换算法，本例 N 为6，即10种。转换时只关注该类型与中间类型Z的转换，这样可以大大减少工作量。基数据可视化时，理论上需要 $6\times M$ 种图形化算法，即54种（ M 为要素数量，最多为双偏振体9要素）。使用中间类型后，可以只关注中间类型的图形化算法，其它格式图形化时先转换为中间类型即可。由于FMT格式优秀的兼容性和动态扩展性，选择FMT做中间类型。

2.2 数据失真

描述格式转换中的数据失真，用下面4条规则（不考虑公共数据块）：令原类型为A，目标类型为B。（1）若

$A\rightarrow B$ 的过程，B完全接收A且B完整，则标记为11；（2）若 $A\rightarrow B$ 的过程，B完全接收A但B不完整则标记为10；（3）若 $A\rightarrow B$ 的过程，A的部分内容被B接收但B完整，则标记为01；（4）其余情况标记为00。结合表1给出的格式差异，得出格式转换中的数据失真情况见表2。表2第1列为原类型，第1行为目标类型（格式转换在同体制之间进行，如单偏振与单偏振；SA和88D转其它类型时，可借助外部数据填充“站点配置”）。

表2 格式转换中的数据失真

→	FMT	CC2	CC	CD	SA	88D
FMT	—	11或10或01	11或10或01	11或10或01	11或10或01	11或10或01
CC2	11	—	01	11	01	01
CC	11	10	—	10	11	11
CD	11	11	01	—	01	01
SA	11	10	11	10	—	11
88D	11	10	11	10	11	—

从表2可看出有失真的情况如下：（1）FMT→其它类型时，CC2、CD→CC、SA、88D时，原要素数量>目标要素数量，虽有数据损失但目标完整；（2）FMT→其它类型时，CC、SA、88D→CC2、CD时，原要素数量<目标要素数量，虽无数据损失但目标不完整。

实际应用中，一般是将格式转换为FMT，此时原数据无损且目标完整。若要确保数据转换中不产生数据损失，则（1）中的转换组合不能使用；若要确保目标类型完整，则（2）中的转换组合不能使用。

2.3 库数据转换

在各型基数据中，库数据（DATA）均以编码的形式保存，因此格式转化要确保库数据的一致性。令原格式的存储值为 X ，实际值为 S_1 ，目标格式的存储值 Y ，实际值为 S_2 ，则 $S_1=F(X)$ ， $S_2=F(Y)$ ，为了确保转换前后库数据的一致，则 $F(X)=F(Y)$ 。以CC2→FMT时的dBZ转换为例，此时FMT格式的dBZ实际值=（存储值-offset）/scale；CC2格式的dBZ实际值=（存储值-64）/2，即 $(X-64)/2=(Y-\text{offset})/\text{scale}$ ，则 $Y=(X-64)\times\text{scale}/2+\text{offset}$ （ X 、scale、offset均为常量， Y 为转换后的存储值）。

2.4 基数据对象

基数据格式解析封装、格式转换等功能由基数据对象

CinradBaseData (简称 CBD) 完成。CBD 对每种数据格式所涉及的数据结构进行定义, 并按照其内部存储结构实现存取逻辑, 形成完整的功能模块。CBD 在格式解析与封装的基础上, 提供其它格式向 FMT 转换的 5 个函数 CC22FMT、CC2FMT、CD2FMT、SA2FMT、88D2FMT; 提供 FMT 向其它格式转换的 5 个函数 FMT2CC2、FMT2CC、FMT2CD、FMT2SA、FMT288D。其它格式之间的转换以 FMT 为中间类型进行间接转换。CBD 还提供通用转换函数 Convert、批量转换函数 ConvertFromDir、格式识别函数 GetType、失真判定函数 Distortion 等。

2.5 格式转换流程

格式转换中, 目标文件命名如下: Z_RADR_I_Iliii_YYYYMMDDhhmmss_O_DOR_雷达型号_CAP_FMT.bin (当目标非 FMT 时, 取消 bin 前面的 FMT 字段)。格式转换流程见图 2。

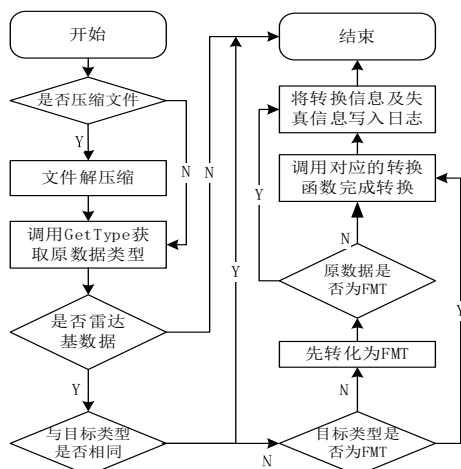


图2 格式转换流程

(1) 如果原文件为压缩格式, 先解压缩。(2) 调用格式识别函数 GetType, 获取原数据的格式类型, 如果返回 UNKNOWN 则直接结束。(3) 判定目标格式与源格式是否相同, 如果相同直接结束。(4) 判定目标格式是否为 FMT, 如果是, 直接调用对应的转换函数完成转换; 如果不是则先将其转换为 FMT, 再调用对应的函数, 完成转换工作。(5) 将转换信息及失真信息写入日志文件。

3 基数据可视化

可视化以 FMT 格式为基础, 当原数据不是 FMT 时, 先转换成 FMT。图形化文件为 png 格式, 文件命名如: Z_RADR_I_Iliii_YYYYMMDDhhmmss_P_DOR_雷达型号_产品_分辨率_覆盖范围_仰角.ID.png。

3.1 色标

可视化的过程就是将库数据转化成对应的色标颜色再绘制到回波图的过程, 每个观测要素均有自己的色标约定, 各要素的色标信息存储在工具包 default.cs 文件中。色标文件的解析和功能封装由色标对象 CinradColorTable (简称 CCT)

完成。CCT 提供 GetDataColor 函数, 实现从库数据的实际值获取该库的颜色值 (库数据的存储值转换为实际值方法见章节 2.3); CCT 提供 GetColorTable 函数, 实现某个要素的色标分级信息, 供后端绘图对象使用。

3.2 地图

地图信息存储在工具包 default.map 文件中, 地图对象 CinradMap (简称 CMAP) 完成地图信息的解析和功能封装。CMAP 提供 GetMapData 函数, 获取指定台站、距离的地图信息, 供后端绘图对象使用。

3.3 回波图绘制

回波图是基于某个仰角层和某个要素进行绘制的, 一张完整的回波图包括回波、色标、地图、距离圈、图例 5 个部分。回波图绘制流程见图 3。

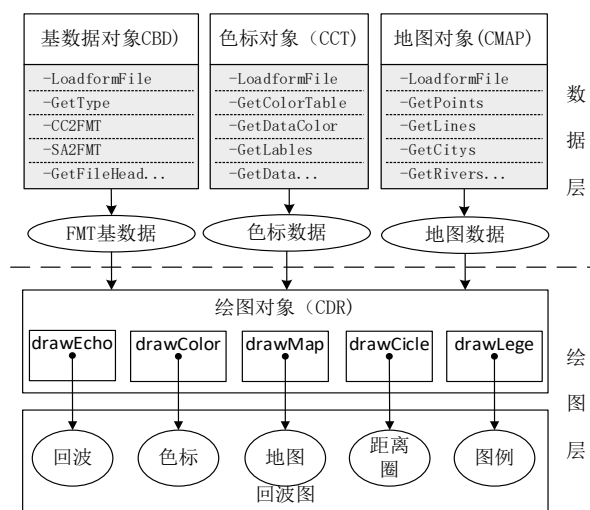


图3 回波图绘制流程

基数据对象(CBD)、色标对象(CCT)、地图对象(CMAP)组成数据层, 为绘图层提供解析后的基数据、色标数据和地图数据。绘图层由绘图对象 CinradDraw (简称 CDR) 组成, 绘图对象从 CBD、CCT、CMAP 中获取明码数据, 调用回波、色标、地图、距离圈绘制函数进行绘制和图层合并, 最终完成一张回波图的绘制。绘制参数包括要素、层、绘图半径、距离 (覆盖范围)、目标路径、绘图规则等。

4 工具包

工具包使用 DelphiXe10.4 开发完成, 以 Linux shell 命令或 Windows 命令行形式提供。两种版本均提供库文件 (so 和 dll), 库文件封装了全部功能函数供深度开发者使用。工具包以 Linux 版本为例说明。

4.1 格化转换工具

格化转换工具实现各型基数据格式的自由转换, 支持压缩文件, 批量转换时可多进程并发执行。由 4 个文件组成, 前 2 个为二进制可执行文件 (命令)。单文件格式转换

使用 c2c, 批量转换使用 c2cs。具体使用例程如下: (1) c2c 2022112306.54V /d -p 2 -t 1 (转换成 FMT 格式, 保存在 /d/YYYY/YYYYMMDD); (2) c2cs ./ /d -p 1 -r -n 20 (批量转换 /d 下的文件成 FMT 格式, 包含子文件夹, 保存在 /d/YYYY, 并发数 20)。

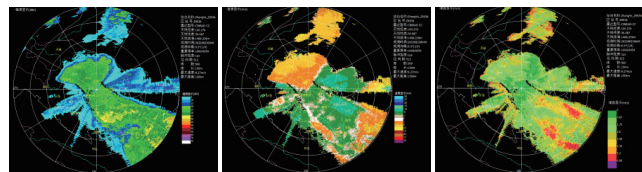
4.2 可视化工具

可视化工具实现基数据 9 类观测要素的可视化, 要素、层、地图、色标、图像大小、覆盖范围等参数均可定制, 支持压缩文件, 批量可视化时可多进程并发执行。由 6 个文件组成, 前 2 个为二进制可执行文件 (命令), 单个文件的可视化使用 c2png, 批量可视化使用 c2pngs。具体使用例程如下:

(1) c2png 2022112306.54V /d (图像直径为 600 像素, 距离 (覆盖范围) 为 150 km, 绘制所有要素的所有层, 保存在 /d, 每个要素的每一层均产生一个 png 文件); (2) c2pngs ./ /d -R 800 -D 100 -L 1 -C 11000 (直径为 800 像素, 距离为 100 km, 批量绘制当前文件夹下所有文件所有要素的第 1 层, 只绘制回波和地图)。

5 具体应用

(1) 利用此工具包, 甘肃省气象数据中心将该省 8 部天气雷达历史基数据转换为标准格式保存, 统一了数据格式; 利用可视化工具将基数据转换为 png 图形文件, 为二次开发提供数据支撑。生成的 png 回波图见图 4。



(a) 强度 dBZ (b) 径向速度 V (c) 谱宽 W

图 4 png 回波图 张掖雷达 2022 年 8 月 23 日 01 时 13 分

(2) 甘肃省有 5 部早期建设的 X 波段雷达只能生成 CC2 格式的基数据, 无法与 ROSE2.0 兼容。利用此工具包, 实时将其生成的基数据转换为 FMT 后推送给 ROSE2.0, 实现了老雷达与 ROSE2.0 的融合使用。

6 结论

本文提出的基数据格式转换和可视化通用工具包方案, 经应用证明, 能有效解决基数据格式多样带来的不便和可视化困难等问题。工具包与公开的其它技术方法相比有 5 个优势: (1) 工具包运行在操作系统层面能不依赖任何开发环境和支撑系统独立运行, 部署简单, 便于业务化; (2) 工具包以 Linux Shell 命令或者 Windows 命令行的形式提供, 使用门槛低, 通用性好, 适合普通用户; (3) 工具包基于操作系统原生开发, 在批量格式转换和批量可视化时, 能递归子文件夹且以多进程并发执行, 运行效率高; (4) 工具包提供的库

文件 (dll 或 so 文件) 封装了所有功能函数, 适合于深度开发者; (5) 工具包定位于服务普通用户, 又能为二次开发做支撑。

参考文献:

- [1] 王宝云, 卢兴来, 黄晓龙, 等. 基于 ZABBIX 的新一代天气雷达 ROSE 系统监控平台 [J]. 气象科技, 2021, 49(5): 730-737.
- [2] 甄廷, 忠江龙, 段燕, 等. 基于昆明市精细化 GIS 的天气雷达成标准格式基数据应用 [J]. 气象科技, 2020, 48(1): 59-67.
- [3] 梁华, 韩海涛, 党选发, 等. 天气雷达径向数据流实时显示和监控系统设计与实现 [J]. 干旱气象, 2021, 39(3): 533-539.
- [4] 甄廷忠, 唐学军, 张琪方, 等. CC 天气雷达数据流传输业务台站级监控报警系统的设计与实现 [J]. 气象科技, 2020, 48(3): 368-373.
- [5] 韩鑫强, 薛蕾, 王博, 等. 新一代天气雷达数据流重传机制设计与实现 [J]. 气象科技进展, 2018, 8(1): 117-122.
- [6] 高金兵, 张国平, 薛冰, 等. 中国天气雷达基数据模型与 CDM 集成研究 [J]. 气象科技, 2022, 50(1): 37-44.
- [7] 刘俊, 黄兴友, 周红根, 等. 基于 NetCDF 的国产新型气象雷达基数据通用编码试验 [J]. 气象科技, 2016, 44(2): 171-176.
- [8] 刘应桂. 基于 Python 对多普勒天气雷达基数据的解析 [J]. 科技与创新, 2022(13): 175-177.
- [9] 陈澍, 李丹, 孟金, 等. 新一代天气雷达数据流传输监控方法与实现 [J]. 气象水文海洋仪器, 2020, 37(4): 56-61.
- [10] 谢晓林, 胡迪, 罗宇昂, 等. 新一代天气雷达成标准格式数据可视化监控系统设计与实现方法 [J]. 气象水文海洋仪器, 2022, 39(3): 65-69.
- [11] 曾强宇, CHANDRASEKAR V, 何建新, 等. 基于预测的双线偏振天气雷达数据无损压缩算法 [J]. 气象学报, 2019, 77(2): 346-357.
- [12] 张杰, 张思豆, 代华. 多普勒天气雷达 PUP 产品强天气监测预警系统设计 [J]. 暴雨灾害, 2018, 37(5): 486-492.
- [13] 鲍婷婷, 焦圣明, 殷笑茹. 多普勒天气雷达三维可视化分析平台设计与实现 [J]. 气象科技, 2020, 48(4): 490-495.
- [14] 沃伟峰, 赵昶昱, 段晶晶, 等. 基于 VTK 的雷达基数据交互式三维重建功能及其业务应用 [J]. 气象科技, 2022, 50(3): 449-458.
- [15] 胡鹏宇, 陈传雷, 徐爽, 等. 一种基于分布式的雷达拼图处理系统框架 [J]. 气象科技, 2022(5): 630-635.

【作者简介】

张德玉 (1978—), 男, 甘肃民乐人, 本科, 高级工程师, 研究方向: 天气雷达设备保障、数据挖掘、人工智能、网络通信等。

(收稿日期: 2024-01-25)