

CINRAD 三维拼图产品显示系统

张志强^{1,2} 刘黎平¹ 谢明元² 王红艳¹ 肖艳娇¹

(1. 中国气象科学院, 国家灾害天气重点实验室, 北京 100081; 2. 成都信息工程学院)

提 要: 新一代天气雷达三维拼图产品显示系统是采用三维 VTK (Visualization Toolkit) 技术, 结合具体的空间体绘制算法, 开发的显示平台。此显示平台针对中国气象科学院国家灾害天气重点实验室开发的新一代天气雷达 3D 组网拼图产品, 在兼顾实时处理和事后分析的需求下, 实现了包括 X, Y, Z 平面在内的空间任一切面的雷达回波强度显示, 运用光线投影算法实现了雷达回波数据的空间整体三维重建显示。同时结合多种产品的二维平面显示功能以及二维和三维的交互功能, 更为直观和全面的展现了空间回波的分布状况, 使得三维组网产品的优势在业务系统上得到更大程度的发挥。

关键词: 三维拼图 VTK 光线投影算法

A Display System of CINRAD 3D Mosaic Products

Zhang Zhiqiang^{1,2} Liu Liping¹ Xie Mingyuan² Wang Hongyan¹ Xiao Yanjiao¹

(1. State Key Laboratory of Severe Weather, Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081;

2. Chengdu University of Information Technology)

Abstract: The display system of weather radar 3D mosaic products, which combined with the Volume Rendering Algorithm is a displaying platform on VTK (Visualization Toolkit). The platform aimed at weather radar 3D mosaic products, which is developed by State Key Laboratory of Severe Weather of Chinese Academy of Meteorological Sciences. By taking into account the demand of real-time processing and post-analysis, it realized the radar reflectivity display of any plane, including the X, Y, Z planes. Using ray-casting algorithm, it realized the three dimensional reconstruction of radar reflectivity. Combining with 2D display of products and interaction function of 2D and 3D, it comprehensively displayed the spatial distribution of the radar echo, and made the advantages of 3D mosaic products into full play.

Key Words: 3D mosaic VTK ray casting algorithm

引 言

新一代多普勒天气雷达目前已经成为对短时强烈天气进行监测的主要手段之一,它具有很高的时间和空间分辨率,这使其在中尺度气象研究中具有其它观测资料无可比拟的优越性^[1-3]。然而,地面固定的单部雷达的探测范围有限,不足以覆盖更大尺度的天气系统,同时用单部雷达进行观测,由于其自身几何学原因会产生诸如波束阻挡等许多问题。

随着 Internet-2 和有效的数据压缩技术的到来,把来自新一代天气雷达网的全分辨的体积扫描资料实时传输到某个中央站已成为可能。最近,美国国家强风暴实验室已为定量降水估算、对流尺度数值天气预报模式的资料同化以及其它用途开发了 3D 多雷达拼图。国内之前还尚未开始新一代天气雷达 3D 拼图工作。新一代天气雷达 3D 拼图涉及到雷达资料质量控制、极坐标雷达资料三维格点化、多雷达重叠覆盖区的资料处理等。

中国气象科学院国家灾害天气重点实验室进行的新一代天气雷达 3D 拼图工作,对相邻的多部多普勒雷达的体扫反射率资料,经过非气象杂波抑制等质量控制后内插到统一的笛卡尔坐标系下^[4],形成了空间分辨率均匀的 3D 网格拼图(经度、纬度和高度坐标)数据,并生成了回波强度,回波顶高,组合反射率等多种产品。通过生成的实时运行的三维雷达组网软件,可以把相邻几个站的资料进行实时组网拼图,生成产品。为新一代天气雷达资料的应用以及和其它观测资料的融合提供了强有力的平台。

通过三维组网得到的雷达产品,必须通过显示平台才能使其在业务系统中发挥更大的作用。之前开发的显示平台,都是传统意义上的二维显示,实现的任意剖面显示也是在二维平面上进行的。而三维显示,是在三

维空间场内,通过可视化算法,实现数据的立体呈现。如果能在三维空间场准确直观的显示雷达回波强度,及其随时间和空间的变化过程,并通过实时的交互,实现二维显示和三维显示的有机结合,就更能凸现三维组网数据的优势。新一代天气雷达三维拼图数据显示系统就是针对这一需求,以实用性和准确性为原则,采用 VTK 三维函数库在 VC++ 平台上进行开发的。

本文主要对本系统的开发流程和功能特点进行介绍,对三维显示功能中所涉及到的算法进行了简要的描述,并结合具体个例,介绍了显示系统的应用效果。

1 显示系统开发方法

1.1 开发平台

本软件采用 VC++ 平台,结合 VTK 三维函数库进行开发。

VTK(Visualization Toolkit)^[5-6]是一个面向对象的可视化类库,它是在三维函数库 OpenGL 的基础上,采用面向对象的设计方法发展起来的。Visualization Toolkit 采用的是 Pipeline 机制,几乎可以对任何类型的数据进行处理,并提供了许多相应的类对各种类型的数据进行转换或处理。根据所要处理的原始数据类型不同和所使用的算法以及所要达到的结果,通过设计和建立可视化流程,并由此选择不同的数据处理和转换的类,用数据通道将这些类连接起来,将原始数据类型转换为所采用的算法模块可以直接进行处理的数据类型,最终得到所需要的可视化的结果,而且所有的类和算法模块都是可扩充的,用户可以将自己开发的类或模块转换成系统可以接受的形式,并可替换或扩充原有的类。所以 Visualization Toolkit 是一个开放的系统,可以扩展到多种应用领域。

1.2 算法

1.2.1 切面显示所涉及算法

三维组网数据其层间最大分辨率为 0.5 km, 根据实际的需要, 其层数是在 10~40 层之间动态调整的, 由于雷达体扫层数的限制, 其在垂直方向的层数有限, 要使切面的显示效果更为连续和直观, 不可避免的要进行插值。又由于数据的高度层不是等间隔分布, 而是根据需求, 由高度数据头来标示数据的各个高度层。基于上面的两点原因, 在插值算法上, 我们采用了最临近插值^[7]和双线性插值^[8-10]结合的方法, 对于上下平面临近距离相差较小的各层, 采用最临近插值, 对于上下平面临近距离较大的各层, 采用双线性插值。针对三维组网数据的实际情况, 采用两种插值算法结合的方法, 有效地减少了因插值所带来的层间失真, 增加了层间分辨率。

1.2.2 三维重建显示所涉及算法

通过三维组网数据的三维重建显示, 可以看到雷达回波在空间的整体分布状况, 要使空间分布的雷达回波强度值, 形成一个整体, 不可避免的要进行三维重建。光线投影算法是常见的三维重建算法, 本显示系统基于光线投影算法^[11], 完成了三维组网数据的重建显示。

空间可视算法包括光线投射体绘制方法和光线跟踪体绘制方法。光线投射体绘制方法的思想是从象平面上每一个像素出发沿视线方向发出一条射线, 进入物体空间, 随着射线的传播, 把它所遇到的体素的颜色和阻光度进行累积与合成。当阻光度累积到 1 或射线已经穿过了体素空间时, 就停止射线的传播, 并把当前合成的颜色作为该像素的颜色写到帧缓存中去。整个算法流程为:

(1) 对读入的体数据进行预处理, 如数据滤波去噪、重新采样等操作。

(2) 根据体数据的属性, 对图像进行分

类。

(3) 参照设定的颜色映射表和阻光度表对各类的图像数据分配相应的颜色值和阻光度。

(4) 根据光线跟踪法的思想沿视线方向进行重采样如图 1 所示, 累积出象平面上每个像素颜色值和阻光度。

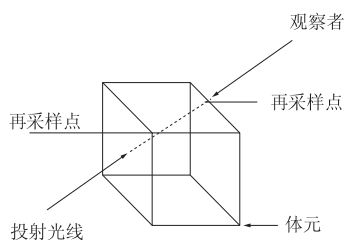


图 1 光线投射算法中的重采样

2 主要功能和特点

各雷达站的体扫基数据, 通过三维组网拼图产品生成系统, 得到三维组网拼图数据。本显示平台通过接口和三维组网拼图数据相连, 实现实时处理显示和事后分析显示两大功能。

实时处理显示模块, 主要用于实时的数据显示, 在系统运行时, 预报员预设显示的产品种类、显示方式、层面高度等各种参数, 系统即按照设定值结合具体的地理信息对数据进行实时的二维显示。系统完成规定的产品显示后, 操作人员可以在不影响下一时次规定产品显示和处理的条件下, 可以进入事后分析显示模块进行人机交互的三维产品和其它产品显示。

事后分析显示模块除了包括实时处理模块所具有的二维基本显示功能外, 还包括对设定时段的动画显示功能和强大的三维显示功能。三维显示包括切面显示功能和整体回波重建显示功能。考虑到软件操作的准确性和方便性, 在二维和三维之间还可以方便的进行交互。此外, 为了方便用户的分析, 本显

示系统还包括常见的缩放及图像保存功能。该软件系统的功能框图如图 2 所示。

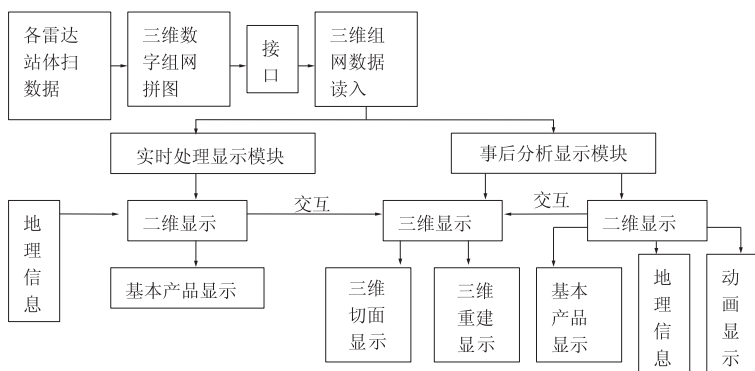


图 2 功能框图

2.1 实时处理显示模块

实时处理显示模块主要针对二维产品,操作人员通过事先预设显示参数,显示系统即可实时的显示产品数据。显示的基本产品包括 REF(反射率)、ET(回波顶高)、CR(组合反射率)、VIL(垂直累计液态水含量)等基本组网产品。同时于地理信息进行叠加,实现了自动的实时二维产品的显示。

2.2 事后分析显示模块

事后分析显示模块主要针对操作人员感兴趣的数据和历史数据,结合具体的功能,更为详尽和直观的进行二维和三维的分析显示。

2.2.1 产品二维显示

事后分析显示模块的二维产品显示。不但实现了结合具体地理信息的 REF(反射率)、ET(回波顶高)、CR(组合反射率)、VIL(垂直累计液态水含量)等基本组网产品的二维显示,还包括基本的放大缩小和保存功能,而且还提供动画功能,可以很方便地观察回波强度随时间的变化过程。

2.2.2 产品三维显示

三维产品的显示包括三维切面显示功

能,三维重建显示功能以及二维和三维的交互功能。三维切面显示功能可以很直观的显示空间内任意切面的状况,三维重建显示功能可以对雷达回波的整体分布状况有一个宏观的认识。二维和三维的交互功能,可以使操作者方便的由二维过渡到三维。

(1) 三维重建显示

基于光线投影算法的雷达回波三维重建显示,可以使操作者对雷达回波的空间形状及分布有个整体的认识,同时结合旋转、放大、鼠标拖拽等基本功能,让使用者的操作更为直观和方便。

(2) 三维切面显示

三维切面显示功能实现了空间内任一 X,Y,Z 平面的切面显示,通过鼠标,可以方便实现翻转、拖拽、放大等基本功能,同时任一水平剖面 and 垂直剖面也可以进行方便的旋转和任意方位角的改变,几乎涵盖了所选定空间的任意平面,通过 3 个可控平面的操作,可以很清楚地观察到空间平面的任一局部特征。通过鼠标的移动,可以显示对应点的空间坐标及回波强度值,使显示的结果更为准确和直观。同时,颜色表的自由变换,使操作更加方便。

(3) 二维三维的交互

在二维显示中,通过鼠标的线选,即可显示两点所确定的空间切面;通过鼠标框选,即可显示选定空间区域的任意切面和整体回波强度。可通过光标获取回波的空间位置(经度、纬度、海拔高度)和回波强度值。三维显示窗口实时跳出,便于观察者对二维和三维的对比观察,其三维显示依然包括缩放、旋转及任一切面的交互操作。通过这种交互,可以使操作员很方便地在二维平面准确定位,从而获得局部的三维特征。

2.3 显示结果的保存

为了方便对不同显示数据的分析对比,本软件还提供基本的保存功能,可以在基本的二维和三维产品上进行标注,并可保存为常见的 BMP、JPG 等基本格式的图片。

3 结果及应用

3.1 具体个例的显示效果

以福建省区域福州、厦门、建阳、龙岩 4 部雷达进行组网的个例资料,分析显示的效果。拼图的范围起始经度为 114.18°E ,中心经度为 118.35°E ,起始纬度为 21.48°N ,中心纬度为 25.91°N ,经纬分辨率为 0.01° ,在垂直方向上共 21 层,最大分辨率为 0.5km ,可显示 $1\sim 21\text{km}$ 的范围。

由于采用 256 色级差显示,所以显示的图像更为连续,图 3(见彩页)所示的是 2006 年 7 月 14 日 0 时 10 分的基本产品的显示。

图 4(见彩页)给出的是 2006 年 7 月 14 日 10 时,资料的整体三维显示。图 4a 给出的是初始显示的状态,其中上面 3 个小视图分别对应垂直于 Y, Z, X 轴的三个截面上的产品显示,下面的大视图是整个三维切面。整个实体可以旋转放大,任意切面可以旋转移动,可通过光标可获取回波的空间位置(经度、纬度、海拔高度)和回波强度值,并显示在

左下角。图 4b 给出的是通过三维重建后整体显示的效果。

图 5(见彩页)所示的针对 2006 年 7 月 14 日 0 时 10 分的回波强度拼图产品,二维和三维的交互显示功能。当选中三维切面显示功能,在二维显示界面任意框选一块区域,即可实时显示出所选区域的三维切面,如图 5a、b 所示。当选中三维重建功能,在二维显示界面中任意框选一块区域,即可实时显示出所选区域的三维重建效果,如图 5c、d 所示。当选中任意切面显示功能,在二维显示界面中任意画线,即可实时显示出所选切线的切面显示效果,如图 5e、f 所示。

3.2 应用方向

三维组网系统已经在国家气象中心、北京市气象局、温州市气象局和安徽省气象局雷达业务或研究中应用。本显示系统随后也将作为该系统的子系统之一,投入科研或业务使用。

4 小结

本显示平台是针对三维组网产品,根据三维组网拼图数据的特点和业务的需要所开发的。它大体有下面 3 个特点:

(1) 实用性。本显示平台是一个三维组网拼图数据的综合显示平台,它所提供的实时显示模式和事后分析显示模式,在充分考虑到业务实时需求的基础上,兼顾具体数据的分析显示功能。它通过与三维组网数据的实时接口能显示包括回波强度、回波顶高、组合反射率在内的三维组网拼图的基本产品,还包括基本的缩放及动画功能。在二维显示的基础上,为了充分发挥三维组网拼图的优势,它还有非常强大的三维显示功能,包括三维切面显示功能、三维重建显示功能、空间任意切面显示功能。

(2) 方便性。为了方便用户的操作,其三维显示窗口和二维显示窗口是独立的,这使其二维和三维显示既彼此交互,又相对独立。在三维切面显示功能中,给用户提供了 3 个可操纵平面,通过 X, Y, Z 三个平面的操作,可以使用户更方便地得到回波内部任意局部的分布状况。此外通过鼠标的点选,可以得到相应点的空间位置及对应回波值。

(3) 准确性。通过在二维显示平面上进行框选或线选,来定位三维显示的区域,能够更准确地得到局部的三维特征。同时以 256 色级差显示,提高了显示的连续性和精度。

参考文献

- [1] 张培昌,杜秉玉,戴铁丕. 雷达气象学[M]. 北京:气象出版社,2001:280-334.
- [2] Atlas D. Radar in Meteorology[M]. Amer Meteor Soc, 1990:806.
- [3] Serafin R J, Wilson J W. Operational weather radar in the United States: Progress and opportunity[J]. Bull Amer Meteor Soc, 2000, 81:501-518.
- [4] 肖艳姣,刘黎平. 新一代天气雷达网资料的三维格点化及拼图方法研究[J]. 气象学报,2006,64(5): 647-657.
- [5] Will Schroeder, Ken Martin, Bill Lorensen. The Visualization Toolkit An Object - Oriented Approach To 3D Graphics[M]. 4th Edition, 1998: 230-245.
- [6] The Visualization Toolkit User's Guide[M]. Kitware, Inc. publishers,2004:84-120.
- [7] Jorgensen D P, Hildebrand P H, Frush C L. Feasibility test of an airborne pulse-Doppler meteorological radar[J]. J Appl Meteor, 1983, 22:744-757.
- [8] Fulton R. WSR-88D polar to HRAP mapping[M]. Tech Memo, Hydrology Research Laboratory, Office of Hydrology, National Weather Service, Silver Spring, MD, 1998:33.
- [9] Mohr C G, Vaughn R L, An economical procedure for Cartesian interpolation and display of reflectivity factor data in three-dimensional space [J]. J Appl Meteor, 1979, 18: 661-670.
- [10] Miller L J, Mohr C G, Weinheimer A J. The simple rectification to Cartesian space of folded radial velocities from Doppler radar sampling[J], J Atmos Oceanic Technol, 1986.3:162-174.
- [11] 石教英,蔡文立. 科学计算可视化算法与系统[M], 北京:科学出版社,1996:200-220.

张志强等：CINRAD三维拼图产品显示系统

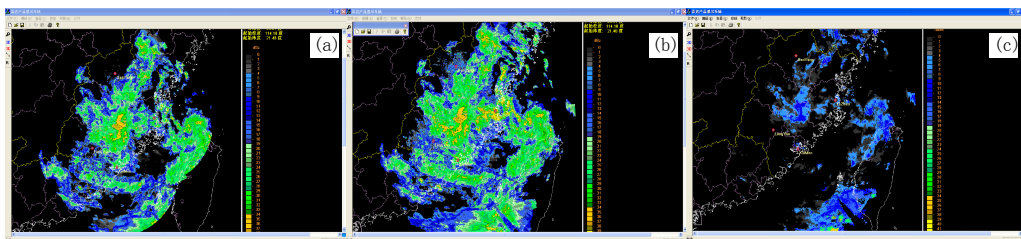


图3 2006年7月14日0时10分福建省区域福州, 厦门, 建阳, 龙岩四部雷达三维组网数据回波强度二维显示
(a) 2006年7月14日0时10分5km高度上雷达回波强度; (b) 2006年7月14日0时10分组合反射率;
(c) 2006年7月14日0时10分回波顶高

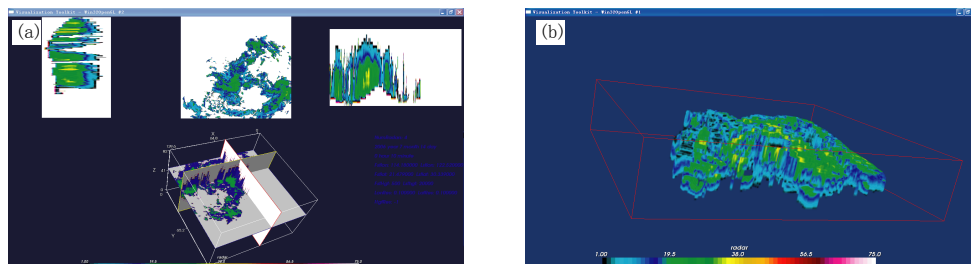


图4 2006年7月14日0时10分福建省区域福州、厦门、建阳、龙岩四部雷达三维组网数据回波强度整体三维显示

(a) 初始切面显示(上面三个平面分别对应垂直于Y, Z, X轴的三个截面);
(b) 三维重建显示的效果(整体回波的体重建, 通过剖面可以看到回波内部结构)

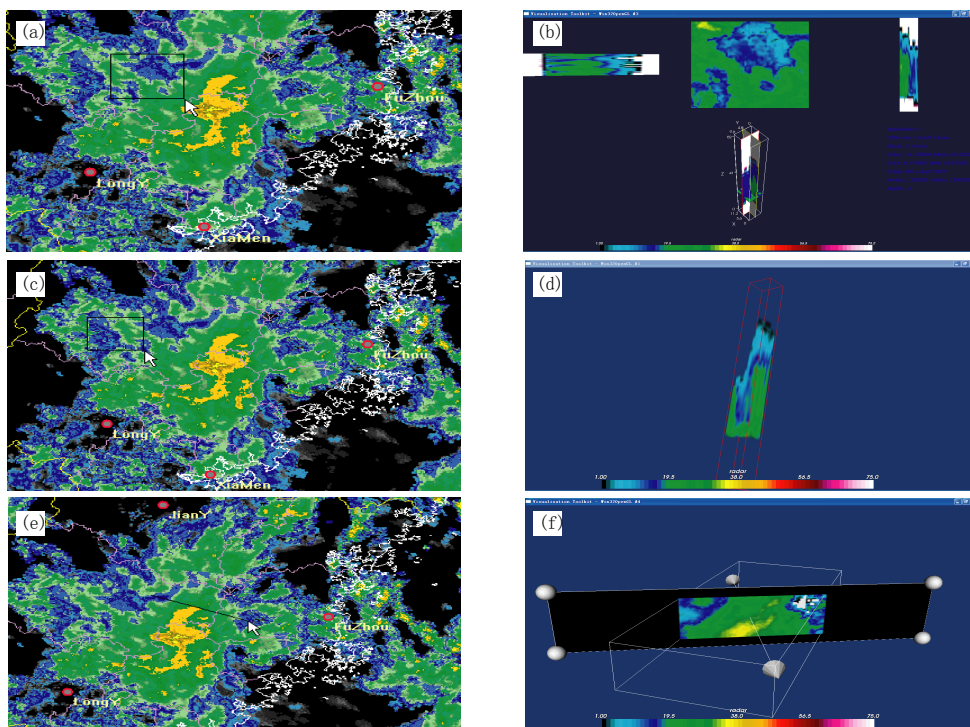


图5 2006年7月14日0时10分福建省区域福州, 厦门, 建阳, 龙岩四部雷达三维组网数据回波强度二维和三维交互显示

(a) 空间切面截取; (b) 空间切面显示; (c) 整体重建截取; (d) 整体重建显示; (e) 任意平面截取; (f) 任意平面显示