

三维可视化技术在雷达三维组网产品显示中的运用

张志强 刘黎平 王红艳

(中国气象科学研究院, 国家灾害天气重点实验室, 北京 100081)

摘要 采用三维可视化技术, 将三维面重建算法和体重建算法引入气象雷达回波图像的分析中, 同时与中国气象科学研究院国家灾害天气重点实验室开发的新一代 3D 组网拼图产品相结合, 对 2007 年 9 号台风“圣帕”进行了三维显示。结果表明: 对于单部雷达体扫产品, 三维组网拼图产品能更全面地掌握更大范围内雷达回波的演变过程; 相对于单一的二维平面的分析显示, 三维可视化技术在构建回波的空间分布状况, 尤其是回波的空间结构上有更大的优势, 三维可视化技术结合雷达三维组网拼图产品为雷达回波的分析提供了一种更为全面的方式。

关键词 三维可视化技术 移动立方体算法 光线投影算法 雷达三维组网

引言

科学计算三维可视化指的是运用计算机图形学和图像处理技术, 将科学计算过程中及计算结果的数据转换为三维图形及图像在屏幕上显示出来并进行交互处理的理论、方法和技术。随着科学技术的发展, 科学计算三维可视化在医学、地质勘探、气象学、分子模型构造、计算流体力学和有限元分析等领域获得了广泛的应用。针对气象雷达数据空间分布的特点, 三维可视化技术可以极大地提高气象数据科学计算的速度和质量, 通过一定的三维可视化算法将其显示方式从二维转化为三维, 使其更为立体化, 最大限度挖掘气象雷达数据的潜力, 从而为气象科学研究工作提供一种更直观的方式^[1-3]。在气象科学领域, 20 世纪 70 年代由美国 Wisconsin 大学空间科学工程中心完成了 McIDAS 多维动态气象资料可视化系统, 之后的 Vis5D^[4] 和 VisAD 是在 McIDAS 基础上发展起来的 Unix 操作系统下的气象信息科学视算环境。Vis5D 主要侧重于数值预报产品的多维动态显示, VisAD 来自于面向对象的思想, 是跨平台的气象资料处理、分析和可视化系统。北京大学在 Vis5D 基础上建立起来的基于 Windows 平台的气象信息科学视算环境 PC-Vis5D^[5-7], 是基于数值模式产品的气象三维可视化分析工具。但由于其功能的复杂性, 它提供了许多难以被业务预报人员掌握并在预报准备阶段实

时应用的交互操作和运行参数选择, 不便于被业务预报人员接受。

中国气象科学研究院国家灾害性天气重点实验室开始的新一代天气雷达 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^[8], 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。通过实时运行自行研制的三维雷达组网软件, 可以把相邻几个站的资料进行组网拼图, 生成组网产品, 从而为新一代天气雷达资料的深度和广度应用以及和其他观测资料的融合提供了强有力的平台^[9-10]。

本文采用三维可视化技术, 针对国家灾害天气重点实验室开发的三维组网产品, 研制出了雷达三维组网产品显示系统。此显示系统采用体绘制算法和面绘制算法, 实现了气象回波的三维体重建和面重建, 并对 2007 年 9 号台风“圣帕”过程进行了三维分析显示。通过分析表明, 三维组网产品相对于单部雷达体扫产品, 能更全面地掌握更大范围内气象回波的演变过程。通过三维可视化技术, 可以很好地分析出整个回波的轮廓和云内部回波分布情况, 对于把握强回波的演变状况很有意义。三维可视化技术与三维组网产品相结合可以更全面的分析整个强对流过程的演变情况, 从而为更细致地分析过程

作者简介: 张志强, 男, 1982 年生, 博士研究生, 研究方向雷达气象, Email: zhiqiang82@cma. gov. cn

收稿日期: 2009 年 9 月 3 日; 定稿日期: 2010 年 1 月 19 日

的细节提供强有力的支持,其二维和三维交互显示功能更为直观和方便,更便于被预报人员接受。

1 三维可视化算法

三维可视化通俗的讲是一系列的转换,这种转换将原始模拟数据转换成可显示的三维图形图像,这种转换的目的在于将信息转换成可被人类感应系统所领悟的格式。可视化成为一种技术和方法,开始于利用计算机图形来加强信息的传递和理解。随后,计算机图像处理技术和计算机视觉成功地用来处理各种医学数据和气象数据,以帮助人们理解和利用各类图像数据。对于三维数据场,根据图像表达的方式,其成像方法通常可分为面绘制方法(Surface Fiting)、直接体绘制方法(Direct Volume Rendering)和混合绘制法三大类。

1.1 MC 算法

MC(Marching Cubes)算法,即移动立方体算法,是常见的三维面重建算法。MC 算法用于抽取体数据中的等值面,基本思想是逐个处理数据场的体元,分类出与等值面相交的体元,采用线性插值计算出与等值面相交的体元的棱边上的交点,根据体元 8 个顶点与等值面的相对位置,将这些交点按一定方式连接成等值面,作为等值面在体元内的逼近表示。

本文根据气象雷达数据的特点,通过设定一定的回波强度阈值,即可绘制该阈值范围内回波的轮廓情况,通过 MC 算法,重建出回波的空间形状,即雷达扫描到的云的形状,从而可以定性地分析出不同云团的位置关系及演变状况。

1.2 光线投影算法

光线投影算法^[1]是常见的三维体重建算法,其思想是从像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。

根据气象雷达反射率数据的特点,为不同强度的回波点赋予不同的体素颜色和阻光度值,通过光线投影算法实现雷达三维组网数据的三维体重建显示,通过重建的回波,可以看到不同强度的雷达反射率值在空间的整体分布状况,从空间的角度,为整体

地把握回波块的强度分布状况提供可见的依据。

2 雷达组网资料的可视化

2.1 雷达三维组网产品数据

中国气象科学研究院国家灾害天气重点实验室开发的三维组网拼图系统已经在北京投入业务运行,并为奥运气象保障提供了良好的气象服务。同时,2008 年 973 南方暴雨野外科学实验的 4 个试验区(华中、江淮流域、长三角、华南试验区)都采用了三维组网拼图系统。相对于单部雷达的径向数据资料,通过三维组网拼图系统生成的三维组网格点资料,能反映更大范围内整个降水过程的发展演变情况,同时其高时空分辨率也能满足降水过程细节分析的要求。所生成的三维组网拼图产品包括反射率、组合反射率、回波顶高等三维格点资料。此次采用的三维格点资料的水平和垂直分辨率都为 0.01° ,其中水平格点数为 1200,垂直格点数为 1000。反射率三维格点资料垂直方向共有 21 层,分别是 0.5 km、1 km、1.5 km、2 km、2.5 km、3 km、3.5 km、4 km、4.5 km、5 km、5.5 km、6 km、7 km、8 km、9 km、10 km、12 km、14 km、16 km、18 km、20 km。

2.2 雷达三维组网产品的三维显示

2.2.1 MC 算法回波面重建显示

所谓的面重建就是重建出回波的表面轮廓,将三维组网的反射率数据作为输入,通过移动立方体算法,构建出回波的外部形状,回波的外轮廓也可以理解成雷达所扫描到的云的形状。通过重建出的回波外表面可以观察到云的厚度和云顶的分布状况,对分析研究回波的演变有一定的意义。

2.2.2 光线投影算法体重建显示

采用三维体重建算法光线投影算法,可以用类似散射点的效果重建出三维回波块,回波块内不同的强度值对应不同的颜色和透明度,为了很好地突出强回波值,其透明度值的大小和回波强度大小是一一对应的,从而可以很清楚地反映回波内部的强度分布情况。采用三维体拾取技术在空间放置一个长方体,如图 1c(见图版)所示蓝色长方体,它有 6 个操作轴,通过 6 个操作轴可以控制长方体的 6 个面,从而可以对体重建回波进行切割,通过这种方式,可以看到强回波中心任意断面的情况,同时长方体是可以旋转的,它可以拾取任意需要分析的回波

块区域。相对于MC算法重建的回波体表面,光线投影算法可以定量从空间中重建出回波强度,对分析空间回波的强度分布和演变有一定意义。

2.2.3 三维切面显示

三维面重建算法和三维体重建算法重建出的三维回波体,关注的是强回波空间整体的分布状况。而三维空间切面显示可以关注回波的细节。由于三维组网产品在高度层上的限制,需要在三维显示前对数据在垂直方向进行插值加密,由于数据在垂直方向上是不等间隔分布的,在插值算法上采用了最邻近插值^[12]和双线性插值^[13-14]结合的方法,对于上下平面邻近距离相差较小的层次,采用双线性插值,对于上下平面邻近距离较大的层次,采用最邻近插值。在空间放置3个切面,3个切面分别对应和X、Y、Z轴垂直的平面,3个切面可以沿坐标轴随意拖动,整个视图可以放大缩小,通过拖动切面可以看到强回波中心的情况,其坐标轴的标注可以随着拖动而变化,始终正对主视图。可通过鼠标点选可获取回波的空间位置(经度、纬度、海拔高度)和回波强度值。3个切面可以旋转,可以看到以强风暴为中心的任意一个强断面。

2.2.4 个例显示效果

以2007年“圣帕”台风过程为例,通过三维可视化算法,编程实现了雷达三维组网数据的三维显示。

台风“圣帕”是2007年对我国危害比较大的一次台风,2007年19日02:00在福建惠安登陆,登陆后继续西北移动,横穿泉州,强度迅速减弱,19日03:00减弱为强热带风暴,19日08:00减弱为热带风暴,19日20:00减弱为热带低压。“圣帕”及其减弱为低压后环流形成的强降雨,对福建、江西、湖南等地造成严重的洪涝灾害。

针对2008年8月19日06:00减弱为强热带风暴的“圣帕”台风回波资料,选取福州、厦门、建阳、龙岩、梅州、汕头和赣州7部S波段雷达进行三维组网拼图(图1,见图版),对生成的三维组网拼图产品采用三维可视化算法,对其进行三维面重建、三维体重建、三维切面显示,从整体和局部上共同把握此热带风暴回波的空间分布特征,图1a是2008年8月19日06:00 5 km高度反射率显示。

首先,采用三维面重建算法MC算法,用三维组网反射率数据重建出云的外部轮廓。选取热带风暴中心(图1a所示框选区域),重建出中心的轮廓

(图1c),进而可以观察到中心云厚度和云顶的分布状况,由于雷达资料在垂直方向上分辨率较低,重建出的云表面在下部有一定的缺失。

采用三维可视化技术对2008年8月19日06:00强风暴的三维组网反射率资料进行三维切面绘制,拾取强风暴中心,重建出风暴中心的三维切面(图1b)。图1b中下方为主视图,可以进行三维交互,其中3个切面分别对应与X、Y、Z轴垂直的平面,3个切面可以沿坐标轴随意拖动,通过拖动切面可以看到回波沿切面的变化情况。

采用三维体重建算法光线投影算法,同样拾取强风暴中心,进行回波强度的三维空间显示(图1d)。从通过体重建算法显示的三维空间回波强度可以看出,其在极大风圈上回波强度的空间分布。

3 结论

本文将三维可视化技术与雷达三维组网产品数据相结合,对2007年9号台风“圣帕”过程进行了三维分析显示,相对于单部雷达体扫资料和单一的二维显示方式,此种分析方式有如下特点:

(1)单部雷达的体扫资料其覆盖范围是有限的,不足以反映整个暴雨过程的演变和发展,而三维组网资料,其覆盖的范围更大,更为灵活,可以全面地反映整个过程的发展情况,同时三维组网资料相对于径向数据资料,更利于后续的产品开发和分析使用。

(2)对于雷达回波的分析,单一的二维显示方式,只能反映某一层次的回波分布状况,需要预报员和研究人员在脑中重建回波的整体分布状况,而三维可视化技术,可以将脑中的影像重建在显示屏幕上。三维可视化技术可以更大程度上挖掘雷达回波数据的有效信息,为雷达回波的分析提供了一种新的方式。

(3)三维可视化技术与雷达三维组网产品数据相结合,弥补了常规雷达回波分析中其空间范围有限和二维显示单一的缺陷,无论从宏观和微观上都更能全面地把握回波分布情况和发展状况,为更细致地分析强对流过程演变提供了依据和保障。

参考文献

- [1] 张顺谦. 遥感影像三维可视化研究[J]. 气象科技, 2004, 32(4): 233-236.

- [2] Hardjono T, Tsudik G. IP Multicast Security: Issues and Directions [J]. *Annales de Telecom*, 2000, 6:324-340.
- [3] Wong C, Gouda M, Lam S. Secure Group Communications Using Key Graphs [J]. *IEEE/ACM Transactions on networking*, 1999, 8(1):16-30.
- [4] 孙向明, 何会中. 地图边界提取的递归算法[J]. *气象科技*, 2006, 34(2):237-239.
- [5] Wang Hongqing, Lau Kaihon, Chan Waiman, et al. A PC-based visualization system for coastal ocean and atmospheric modeling [C]. *Proceedings of 6th International Estuarine and Coastal Modeling Conference*, New Orleans USA/ 1999:1233-1243.
- [6] 王洪庆, 张焱, 陶祖钊, 等. 五维大型复杂数据集计算机可视化[J]. *自然科学进展*, 1998, 8(6):742-747.
- [7] 王洪庆, 张焱, 陶祖钊. 黄海气旋数值模拟的可视化[J]. *应用气象学报*, 2000, 11(3):280-286.
- [8] 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):645-657.
- [9] 张志强, 刘黎平, 谢明元, 等. CINRAD 三维拼图产品显示系统[J]. *气象*, 2007, 33(9):19-24.
- [10] 高梅, 张文华. 基于气象信息共享系统的雷达资料网络数据库[J]. *气象科技*, 2002, 30(1):32-36.
- [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.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 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.

Application of 3D Visualization Technology to Display of Doppler Radar Networking Products

Zhang Zhiqiang Liu Liping Wang Hongyan

(State Key Laboratory of Severe Weather, Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081)

Abstract : By means of 3D visualization technology, the 3D surface reconstruction algorithm and the 3D body reconstruction algorithm are introduced into the analysis of weather radar echo images, and in combination with the weather radar 3D networking mosaic products developed by the State Key Laboratory of Severe Weather, Chinese Academy of Meteorological Science, the 3D display of the typhoon “Sepat” is realized. The results indicate that compared with single radar products, the 3D mosaic products have wider coverage in time and space; compared with 2D display, 3D Visualization has greater advantages in analyzing the spatial distribution of radar echoes, especially in analyzing the structure of radar echoes. The 3D visualization technology combined with 3D mosaic products provides a more comprehensive way for radar echo analysis.

Key words : 3D visualization, marching cube algorithm, ray-casting algorithm, 3D radar mosaic

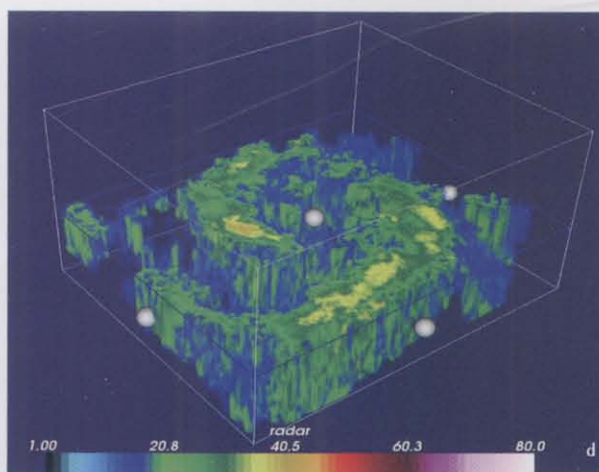
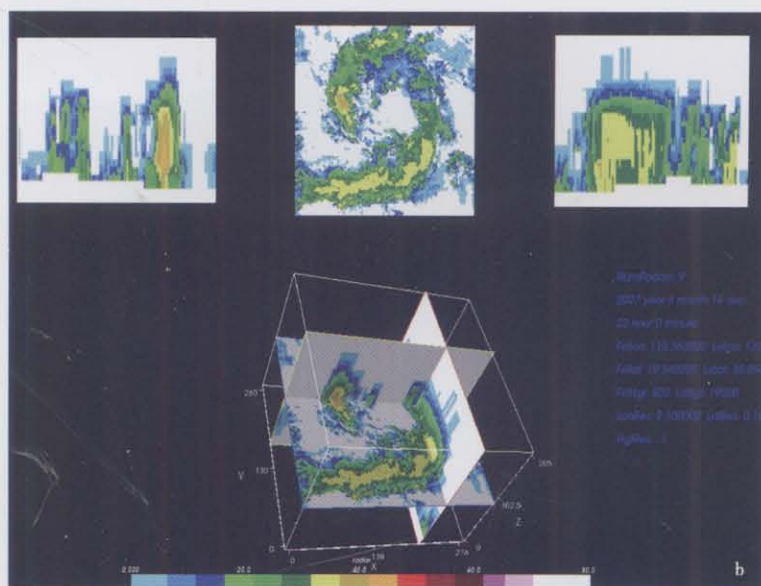
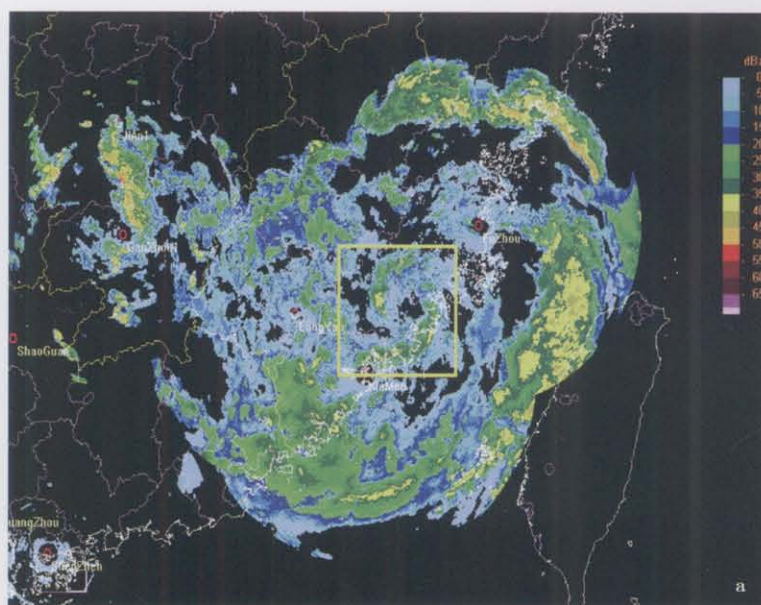


图1 2007年8月19日06:00三维组网数据三维显示效果:

(a) 5 km 高度反射率, (b) 中心区域三维剖面显示, (c) MC算法重建出的中心云轮廓, (d) 光线投影算法重建出的中心回波强度