

数字地球系统及其在疟疾疫情演变中的应用^{*}

曾晓瑜 李琦 殷崎栋

(北京大学遥感与地理信息系统研究所 北京 100871)

摘要 本文通过研究大量国内外数字地球系统,探讨了数字地球理论和关键技术,着重研究了三维数字地球全球海量影像数据组织管理和三维可视化等技术问题。作者所在课题组基于 World Wind 开源软件开发了一个三维数字地球原型系统,并基于此系统进行了安徽省疟疾疫情动态演变的实验研究。实验结果显示了本文理论和技术的正确性和可行性。

关键词 数字地球,数据组织,三维可视化

Digital Earth and its Application in Malaria Disease Dynamic Evolvement

ZENG Xiao-yu LI Qi YIN Qi-dong

(Institute of Remote Sensing and GIS, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract By analyzing various digital earth systems, this paper discussed key theories and techniques of digital earth. It emphasized on global large image data organization and 3D digital earth visualization. Based on the world wind open source software, the group developed a 3D digital earth prototype and performed an experiment on dynamic evolvement of malaria disease in Anhui province. The experimental result showed the validity of the theories and techniques.

Keywords Digital earth, Data organization, 3D visualization

1 引言

1998年,美国副总统戈尔提出“数字地球”这一概念,认为数字地球是一种能嵌入海量地理数据、多分辨率和三维的地球描述方式,其基本思想是将高分辨率的遥感影像覆盖全球,并通过建立覆盖全球的数字高程模型,建立地球景观模型,形成虚拟地球。

随着计算机科学、通讯技术、地球科学、空间科学、环境科学等学科的发展,数字摄影测量技术、自动制图技术的进步,我们已经能够(准)实时地获取反映地球表面动态变化的、多时相、多波段、多分辨率的对地观测数据。国防军事、民用的需求,为数字地球的构建创造了必要条件。

2 国内外现状

2005年6月,Google公司收购了KeyHole公司,并发布Google Earth,其推出后不久便立刻吸引了数百万用户。它利用Digital Globe, Earthsat公司提供的卫星图片和Bluesky, Sanborn公司提供的航空照片,制作全新电子地图向网民提供服务,可呈现出地球表面的二维和三维实景。Google Earth支持开放的OGC WMS,并推出了一种基于标签(名称和属性)的语法格式来描述地里标注信息;Google KML(Keyhole Marku PLanguage)数据。

NASA World Wind 由美国国家航空暨太空总署(NASA)于2004年8月推出,它通过将遥感影像与SRTM高程叠加生成三维地形。由于软件源代码公开,可扩展性强,因此可以由第三方编制插件,对软件功能进行加强。

2006年9月,ESRI推出了ArcGIS Explorer。它提供了

免费而快速的、易于使用的浏览二维和三维空间信息的途径,同时它集成了基于服务器的GIS数据集空间处理应用。

微软公司也继上述公司后,发布了一款名为Virtual Earth 3D的软件服务,该软件可呈现完整交互式的三维图片,通过一个可下载的插件,使用者目前可以浏览美国15个主要城市的全方位3D图片。

以上这四款三维地球软件功能相似,但各有侧重点。Google Earth推出早,投资巨大,结合后台强大的搜索引擎,提供各种用户服务;ArcGIS Explorer侧重GIS空间分析;World Wind是开源代码,可扩展性强;Virtual Earth则主要侧重3D。

国内的数字地球原型系统有中科院遥感所的GeoBeans,国遥新天地的EV-Globe,东方泰坦的Titan Earth,中测新图的PhotoVR等。

3 数字地球原型系统关键技术

3.1 全球海量影像数据组织管理

为了能够实时调度、显示海量影像数据,通常须采用分块技术,即将影像数据切割成相同大小的正方形,一般大小为2的整数次幂,按照行列编号索引,在数据显示时,实时查询浏览窗口所包含的数据块,并进行无缝拼接。

数字地球原型系统需要提供全球尺度到局部细微的无级缩放视觉效果。在这个过程中,需要显示多数据源、多分辨率的遥感影像,这就需要原始影像进行重采样。一般来说,分辨率最高的原始影像在最底层,经过重采样的影像随层数的增加分辨率逐渐降低,中间插入相应分辨率的不同数据源的遥感影像,构成整个金字塔结^[1],如图1所示。

^{*} 973课题资助:网格环境下空间信息智能服务及应用示范(2006CB701304)。曾晓瑜 硕士研究生,主要研究方向为数字地球、空间数据库;李琦 博士生导师,主要研究方向为数字地球与数字城市;殷崎栋 博士研究生,主要研究方向为空间数据库。

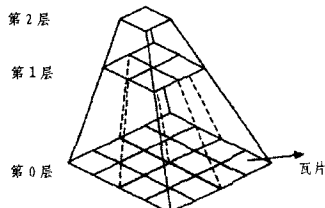


图1 金字塔结构

World Wind 采用 Plate Carree 投影,在此投影基础上对全球进行水平分块、垂直分级来构造影像金字塔。World Wind 将世界平均分为 50 个小块(水平方向上 10 等分,竖直方向上 5 等分),每一个小块跨越 36 度,规定每个分块的大小为 512×512,作为整个影像序列的第 0 级;第 1 级将整个世界平均分成 200 个小块(水平方向上 20 等分,竖直方向上 10 等分),每个小块跨越 18 度,大小为 512×512;依次类推,第 n 级将整个世界平均分成 $50 \times 2^{n+1}$ 个小块(水平方向 $10 \times (n+1)$ 等分,竖直方向 $5 \times (n+1)$ 等分),每个小块跨越 $36 / (n+1)$ 度^[2],如表 1 所示。

表 1 World Wind 金字塔结构

层级	单块影像覆盖的经纬度	全球总分块数
0 级	36 度	50 块
1 级	18 度	200 块
2 级	9 度	800 块
3 级	4.5 度	3200 块
n 级	$(36 / (n + 1))$ 度	$50 \times 2^{n+1}$

World Wind 以 0 度经线为基准,西经为负,东经为正,以 (-180 经度, -90 纬度) 作为坐标原点,每一个分块按照行列号编号,每个分块可以由 (row(行号), col(列号), level(级数)) 确定,其中:

$$\text{row} = (\text{分块西南角纬度} + 90) / (36 / (\text{level} + 1))$$

$$\text{col} = ((\text{分块西南角经度} + 180) / (36 / (\text{level} + 1)))$$

3.2 三维可视化技术

数字地球原型系统中的三维可视化技术主要体现为三维地形建模及其可视化技术。

数字地形模型从数据结构上可以划分为规则网格 (GRID)、不规则三角网 (TIN)、混合网 (GRID-TIN)。在实际应用中,GRID 和 TIN 采用比较多,两者各有优缺点。考虑大规模地形分块、多分辨率表达以及网络环境下数据传输等实际情况,且 SRTM 系统提供的全球 DEM 数据获取方便,数字地球原型系统采用地形网格 DEM(数字高度模型)^[3,5]。

LOD (Level of Detail, 层次细节) 技术由 Clark 在 1976 年提出。LOD 模型是指在同一场景中,依据视觉上的特性,远离视点的物体仅需较粗的细节,而离得很近的物体需要详细的细节,这样才能通过不同细节描绘出一组模型。LOD 技术有两种策略,预先生成或实时简化^[4]。由于数字地球原型系统地理景观的极端复杂性和数据量巨大的特点,主要采取以预先简化生成一系列 LOD 模型的方法为主,辅以实时简化的方法。

World Wind 使用 SRTM 地形数据, SRTM 数据每经纬度方格提供一个文件,精度有 1 arc-second 和 3 arc-seconds 两种,称作 SRTM1 和 SRTM3,或者称作 30M 和 90M 数据, SRTM1 文件里包含 3601×3601 个采样点的高度数据, SRTM3 文件里包含 1201×1201 个采样点的高度数据^[2]。目

前能够免费获取中国境内的 RTM3 文件是 90 米的数据,每个 90 米的数据点是由 9 个 30 米的数据点算术平均得来的。地形数据的分块和索引方式与影像数据的分块和索引方式相同。

在进行三维地形可视化建模之后,需要将二维平面的影像块以纹理方式贴在三维球面上。按照 3.3 节的转换公式将二维影像块的经纬度坐标转换为地心坐标,即可顺利地以纹理方式贴在球面上,形成数字地球的雏形,如图 2 所示。

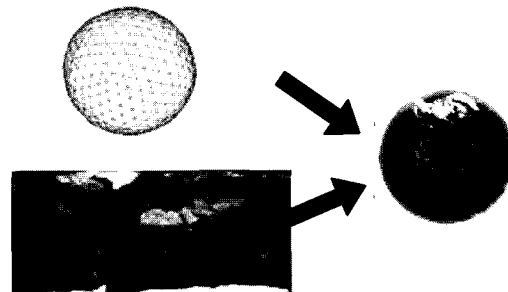


图 2 二维影像与地形数据的叠加

3.3 地心坐标系

地心坐标系是指以地球质心为原点建立的空间直角坐标系,或以球心与地球质心重合的地球椭球面为基准所建立的大地坐标系。使用地心坐标系,在国际上已成为一种明显的趋势。

数字地球原型系统参照 WGS84 世界大地坐标系,属于地心坐标系。坐标系的原点位于地球质心,z 轴指向国际时间局 (BIH) 1984.0 定义的协议地球极 (CTP) 方向,x 轴指向 BIH 1984.0 的零度子午面和 CTP 赤道的交点,y 轴通过右手规则确定^[2]。这是一个国际协议地球参考系统 (ITRS),是目前国际上统一采用的大地坐标系。

计算机实现三维对象的函数操作均针对三维直角坐标,因此在编程实现三维地球之前须首先建立地球的球面数学模型并且结合半径找到经纬度和三维球面坐标的映射关系,即找到大地坐标系与相应的空间直角坐标系的转换关系。

设经度的值域为 $\text{lon} [-90, 90]$, 纬度的值域为 $\text{lat} [-180, 180]$ 。Pos \rightarrow x, pos \rightarrow y, pos \rightarrow z 分别表示直角坐标系中的三维空间点,angX 和 angY 分别表示经纬度的弧度值。坐标转换对应的关系式为^[5]:

$$\text{X 坐标} = \text{半径} \times \text{Cos}(\text{经度}) \times \text{Sin}(\text{纬度})$$

$$\text{Y 坐标} = \text{半径} \times \text{Sin}(\text{经度})$$

$$\text{Z 坐标} = \text{半径} \times \text{Cos}(\text{经度}) \times \text{Sin}(\text{纬度})$$

4 基于 World Wind 的安徽省疟疾疫情动态演变过程研究

4.1 项目背景及研究内容

本实验系统以国家自然科学基金项目“我国重要传染病流行病学数据的收集与整合及其共享分析技术平台的建立”作为项目背景,研究安徽省疟疾疫情动态演变的过程。

疟疾是一种由疟原虫引起的、经按蚊叮咬而传播的重要的寄生虫病。疟疾流行历史悠久,传播范围广。20 世纪 70 年代以后,安徽省疟疾发病已快速下降。然而进入 2000 年后,安徽疟疾发病回升明显,尤其是自 2004 年以来安徽疟疾发病逐年递增。病例主要分布于淮河以北地区且流行范围不断扩大。

本研究以安徽淮北及沿淮疟疾高发区作为研究现场,基于安徽省 2004-2006 年传染病网络直报系统中监测的疟疾个案病例数据进行研究。根据病例“现住址”信息(最小单元到村庄),对每例病例进行空间定位。利用 World Wind 进行空间表达,对 2004-2006 年的疟疾病例个案进行动态演示,以清晰认识安徽疟疾发病地区近年来的空间演变。

4.2 实验系统

本实验系统基于实验室自主研发的 Cyber SIG 平台,在 World Wind 1.5 Java 版本开源软件基础上独立研发。考虑开放性和互操作性,大多数数字地球原型系统软件都提供了符合 OGC 规范的 WMS 服务,可以很方便地将第三方的基于 WMS 服务的地图、影像加载到数字地球原型系统中。所以,本实验系统以 World Wind 作为前台进行渲染和三维表达,后台 GIS Server 提供数据发布和可视化服务(WMS, WFS, WCS),同时对空间分析和其他专业模型服务予以支持。

OGC WFS 服务返回的 GML 文件不包含样式信息,客户端渲染困难,而 SVG 格式是基于二维的矢量图形和动画的 XML 格式,不能表示三维空间信息。针对此问题,Google 提出了 KML(Keyhole Markup Language)标准,既满足了三维地球平台的数据交换需求,又很好地描述了空间要素的样式。一经推出就很快成为事实上的三维地球系统的数据交换标准。本系统采用 KML 文件作为三维地球系统平台客户端与 GIS Server 的“桥梁”,GIS Server 将分析结果以 KML 格式将带有样式信息的数据返回客户端进行渲染。

4.3 实验数据

4.3.1 遥感影像

World Wind 集成了众多 DEM 数据和影像数据,可通过连接远程数据库获得数据并在客户端显示。其中 DEM 数据包括 SRTM30Plus, SRTM 3-arc/sec v2, USGS NED 1-arc/sec;数字影像包括 Blue Marble (500m/pixel), Landsat 7 系列 (15,30m/pixel), Geocover 1990, Geocover 2000 (15m/pixel), USGS Digital Ortho (1m/pixel), USGS Urban Area Ortho (15cm-1cm/pixel), 以及 USGS Topographic Maps。

此外,系统还需集成面向应用的影像数据,而影像数据往往存在数据量大、格式异构、加载需人工预处理等特点。针对此问题,实验室开发了针对遥感影像数据的自主加载工具 Auto Upload 1.0,通过该工具,可以自动批量加载影像数据,大大简化加载过程,对数据文件进行格式转换、标准化,影像分块、重采样建立金字塔等操作,并按照 World Wind 的数据组织方式进行组织、命名。

4.3.2 矢量数据

矢量数据主要来自两个方面:一方面基于 World Wind 平台上开发的 WMS 接口获取第三方数据,另一方面在平台上开发了常用矢量格式的支持模块。

矢量数据目前采用 Oracle 10G 数据库进行统一管理。本实验将中国省界、县界、地级市、主要村庄、河流湖泊数据由 GIS Server 发布成 WMS 服务,生成图片并按照请求返回 512 * 512 大小的图片在客户端 World Wind 上显示。

针对各种常见矢量数据格式,本系统亦开发了数据格式读取模块,目前可支持 shape file 文件, MIF 文件及 KML 文件。基于安徽省疟疾疫情数据生成的 KML 文件,可通过系统的 KML 支持模块进行读取,并按照其样式信息在客户端进行渲染。

4.3.3 疫情数据

本实验采用安徽 2004-2006 年疟疾数据,其数据内容包括卡片 ID、报告医院所在地区国标编码、患者姓名、性别、患者联系电话、出生日期、年龄、工作单位、现住详细地址、现住地址国标编码、现住地址、人群分类代码、发病日期、病例分类、填卡医生、医生填卡日期、审核状态、报告单位等。

4.4 实验结果

通过对基于 World Wind 平台的三维数字地球系统的开发实践,验证了其理论和技术的正确性和可行性,图 3 为全国范围影像数据叠加中国面地区界。

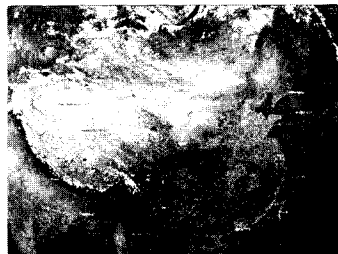


图 3 从 World Wind 中俯瞰中国(叠加县城区划矢量)

图 4 为安徽 2006 年 4 至 10 月疟疾疫情动态演变的过程,图中用编有不同数字的符号代表疟疾数据在不同月份的发病分布情况,可以以动画形式表示其动态演变,并可按照时间(年,月)、空间(县、村)查询发病情况。所有患病病人的姓名、年龄等具体信息均在系统中统一管理,为进一步分析影响因素打下基础。

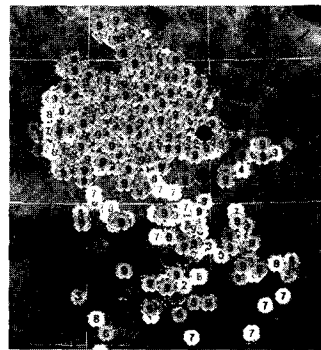


图 4 安徽 2006 年 4 至 10 月疟疾疫情动态演变过程

通过系统统计分析,可知近几年疟疾在安徽省发病持上升趋势,疟疾高发地集中在淮河以北河流附近,高发期集中在每年 8-10 月份雨水季节,8-10 月也是蚊虫传播、泛滥的季节。2005 和 2006 年报告病例主要集中在淮北及沿淮的 6 个地市,即蚌埠市、宿州市、亳州市、阜阳市、淮南市和淮北市,占全省病例总数的 98.5% 和 97.1%,成为全省疟疾防治工作的重点地区。

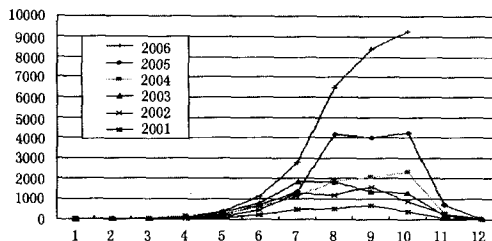


图 5 2001-2006 年读安徽疟疾发展演变统计图

实验下一步将根据传染源指标、传播媒介、人蚊接触机率

指标及影响流行的因素指标确定疟疾疫情影响因素,建立统计学模型,研究各影响因素与疟疾发病水平间的关系,将 World Wind 客户端作为专题应用模型运行的载体,对疟疾高发原因进行空间化表达,生成病例分布图、人蚊接触机率图、土地利用图、NDVI 图、地形地貌图、气温、气湿、降雨量分布图,以及干预控制图。最终目的为综合利用流行病学、统计学、3S(GIS,GPS,RS)等技术建立风险预测模型,分析评价疟疾高发的主要危险因素,为当地疟疾防控工作的提供科学决策依据。

结束语 数字地球原型系统中的三维表现和虚拟现实技术,需要与业务系统结合才体现出其价值和生命力,既能够作为吸引眼球的手段,又能成为模型运行的载体,具有强大的分析、计算功能。为此,将强大的 GIS 服务器与三维数字地球原型系统相结合是很好的选择,数字地球原型系统不仅具有良好的三维展示能力,将 GIS Server 作为服务内容的后台支撑,又

可以很好地解决三维数字地球系统 GIS 分析不足的问题。

参考文献

- [1] 王慧,申家双,陈冬阳.一种高性能的大区域遥感影像管理模型[J].海洋测绘,2006,26(3):71-74
- [2] Bell D G, Kuehnel F, Maxwell C. NASA World Wind; Open-source GIS for Mission Operations. IEEEAC paper # 1048, Version 2, Updated October 2006
- [3] Tooth S. Virtual globes; A catalyst for the re-enchantment of geomorphology [J]. Earth Surface Processes and Landforms 2006, 31:92-94
- [4] 张慧杰,孙吉贵,刘雪洁.大规模三维地形可视化算法研究进展[J].计算机科学,2007,34(3):10-16
- [5] 张立强.构建三维数字地球的关键技术研究.博士学位论文[D].北京:中国科学院遥感应用研究所,2004
- [6] mantic matching in RDBMS[A]//Proc. of VLDB[C]. Toronto, Canada, August 2004; 1054-1065
- [7] DAML-ONT. <http://www.daml.org/2000/10/damlont.html>
- [8] DAML+OIL(March 2001)Reference Description. <http://www.w3.org/TR/daml+oil-reference,2003-06-10>
- [9] Smith M K, Welty M, McGuinness D. Web Ontology Language (OWL) Guide. W3C Working Draft, Mar 2003. <http://www.w3.org/TR/2003/WD-owl-guide-20030331/>
- [10] Bechhofer S, van Harmelen F, Hendler J, et al. OWL Web Ontology Language Reference, W3C Recommendation. <http://www.w3.org/TR/owl-ref/>
- [11] McGuinness D L, Harmelen F V. OWL Web Ontology Language Overview (W3C Recommendation). <http://www.w3.org/TR/2004/REC-owl-features-20040210/>. February 2004
- [12] The protege ontology editor and knowledge acquisition system. <http://protege.stanford.edu/>
- [13] OTK tool repository: Ontoedit. <http://www.ontoknowledge.org/tools/ontoedit.shtml>
- [14] Ontology Middleware System Documentation. <http://www.ontotext.com/omm>
- [15] Wood D, Gearon P, Adams T, Kowari. A Platform for Semantic Web Storage and Analysis//Proc. of WWW 2005. Chiba, Japan, May 2005
- [16] 萨师焯,王珊.数据库系统概论.第三版.北京:高等教育出版社,2004
- [17] Broekstra J, Kampman A, Harmelen F. Sesame: A Generic Architecture for Storing and Querying RDF and RDF Schema[A]//Proc. of the 1st International Semantic Web Conference[C]. Sardinia, Italy, June 2002; 54-68
- [18] Ma Li, Su Zhong, Pan Yue, et al. RStar: An RDF Storage and Query System for Enterprise Resource Management[A]//Proc. of CIKM 2004[C]. New York, NY, USA, 2004; 484-491
- [19] Carroll J J, Reynolds D, Dickinson I, et al. Jena: Implementing the Semantic Web Recommendations[A]//Proc. of WWW 2004 [C]. May 2004; 17-22
- [20] Harris S, Gibbins N. 3store: Efficient Bulk RDF Storage[A]//Proc. of the 1st International Workshop on Practical and Scalable Semantic Systems[C]. Sanibel Island, Florida, USA, 2003; 1-15
- [21] Wang E, Kim Y, et al. Ontology Modeling and Storage System for Robot Context Understanding. KES, 2005(3): 922-929
- [22] Zhou Jian, Ma Li, et al. Minerva: A Scalable OWL Ontology Storage and Inference System. ASWC, 2006; 429-443
- [23] Das S, Chong E I, Eadon G, et al. Supporting ontology-based se-
- [24] Roldan-Garcia M M, Montes J F A. A Tool for Storing OWL Using Database Technology. <http://www.mindsw.ap.org/2005/OWLWo rkshop/sub1.pdf>
- [25] McBride B. Jena: implementing the RDF model and syntax specification [R]. Technical Report. Hewlett Packard Laboratories, Bristol, 2000
- [26] Agrawal R, Somani A, Xu Y. Storage and querying of e-commerce data [A]//Peter M G A, Paolo A, eds. Proc. of the 27th VLDB[C]. Roma: Morgan Kaufman Publishers Inc, 2001; 149-158
- [27] Alexaki S, Christophides V, Karvounarakis G, et al. On storing voluminous RDF description; the case of Web portal catalogs [A]//Mecca G, Simeon J, eds. Proc. of the 4th WebDB in conjunction with ACM SIGMOD'01 [C]. Bristol; Hewlett Packard Laboratories, 2001; 43-48
- [28] 许卓明,黄永菁.从 OWL 本体到关系数据库模式的转换[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2006, 34(1): 95-99
- [29] 李曼,王琰,赵益宇,等.基于关系数据库的大规模本体的存储模式研究.华中科技大学学报(自然科学版), 2005, 33(12.增刊): 217-220
- [30] 周扬.基于关系数据库的本体映射方法研究[M]. 长春: 吉林大学, 2006; 31-35
- [31] Biron P V, Permalente K, Malhotra A. XML Schema Part 2: Datatypes Second Edition (W3C Recommendation). <http://www.w3.org/TR/xmlschema22/>, 28 October 2004
- [32] 王能斌.数据库系统教程:上册[M].北京:电子工业出版社, 2002; 220-238
- [33] XU Zhuoming, CAO Xiao, et al. Formal approach and automated tool for translating ER schemata into OWL ontologies [C]//Dai H, Srikant R, Zhang C, eds. Advances in Knowledge Discovery and Data Mining (PAKDD2004 Proceedings, LNAI Vol. 3056). Berlin; Springer, 2004; 464-475
- [34] Carroll J, McBride B. The Jena Semantic Web Toolkit. Public api, HP-Labs, Bristol, 2001. Available at: <http://www.hpl.hp.com/semweb/jena-top.html>
- [35] Object Technology International, Inc. Eclipse Platform Technical Overview [EB/OL]. <http://www.eclipse.org/whitepapers/eclipse-overview.pdf>, February 2003
- [36] 赵勇. Eclipse 简介和插件开发[EB/OL]. <http://www-900.ibm.com/developerWorks/cn/java/I-eclipse-plugin,2004-11>