

# “虚拟—现实”一体化的三维 CyberGIS 系统设计

修文群 李晓明 张宝运

(中国科学院深圳先进技术研究院 深圳 518055)

**摘要** 针对当前网络空间与现实空间研究分离之不足,通过 IP 定位及相关网络属性采集,建立互联网资源及用户空间数据库,分层分区投影到三维数字地球复合坐标系中,实现三维 CyberGIS “虚拟—现实”一体化定位、查询和分析功能,有效拓展了地理信息服务(Geographic Information System, GIS)对虚拟空间要素的集成管理能力。

**关键词** 3D CyberGIS; 虚拟属性; 分层分区; “虚拟—现实”一体化  
**中图分类号** P 208 **文献标志码** A

## The Design of 3D CyberGIS System Based on “Virtual-Reality” Integration

XIU Wenqun LI Xiaoming ZHANG Baoyun

(Shenzhen Institutes of Advanced Technology, Chinese Academy of Sciences, Shenzhen 518055, China)

**Abstract** By the IP locating associated with network attributes acquisition, an internet “resource and object” spatial database was established in this paper in order to combine the cyberspace and realspace together. Then it was layered and partitioned, and projected into the three-dimensional coordinate system of digital earth. Functions such as positioning, query, analysis and visualization for 3D CyberGIS virtual-reality integration were implemented, which could effectively expand the GIS management capabilities to the virtual space elements.

**Keywords** 3D CyberGIS; virtual property; hierarchical partitioning; virtual-reality integration

## 1 引言

当前有关互联网对象现实空间及虚拟空间的研究,分别在地理信息服务(Geographic Information Service, GIS)与社会网络服务(Social Networking Services, SNS)两领域内开展。其

中, GIS 侧重分析网络资源的时空分布、网民行为空间规律及与环境相关性等,不涉及网络对象及行为的虚拟空间结构与关系;而 SNS 不考虑网络要素现实空间位置、距离和方向等,专门研究网络节点间拓扑关系,探讨网络结构统计规律与几何学特征等,包括中心—边缘、幂律、介

收稿日期: 2013-9-22

基金项目: 国家自然科学基金(41301439)。

作者简介: 修文群(通讯作者), 博士, 高工, 研究方向为地理信息系统、大数据与智慧城市等, E-mail: wq.xiu@siat.ac.cn; 李晓明, 博士, 研究方向为三维地理信息系统和土地立体化利用等; 张宝运, 硕士, 研究方向为地理信息系统与计算机应用等。

数、集聚度和连通度等<sup>[1-4]</sup>。

两者间存在形式上的结合—网络拓扑地图, 如图 1 所示。图 1 左侧为网络对象的拓扑关系图, 通过地理属性字段, 将目标动态投影到右侧二维地图上。由于互联网虚拟要素与其现实空间范围并非建立在统一坐标系及数据库之上(分别

存于 IP 地址库与拓扑关系表中), 故现有 TOPO + MAP 图只是双方关系的一个简单映射与象征性组合。

图 2 是另一种“虚拟—现实”空间性的集成显示<sup>[5,6]</sup>。通过对互联网对象及行为的拓扑测量与聚类分析, 将形成的节点(簇)投影到地球表

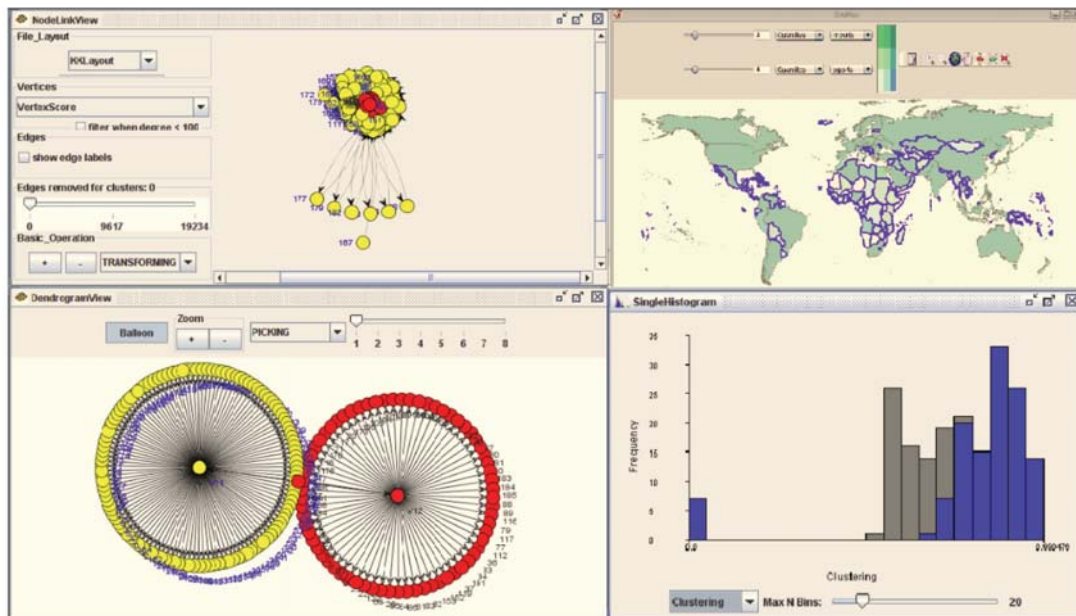


图 1 GIS 与 SNS 的联合显示

Fig. 1. Universal display of GIS and SNS

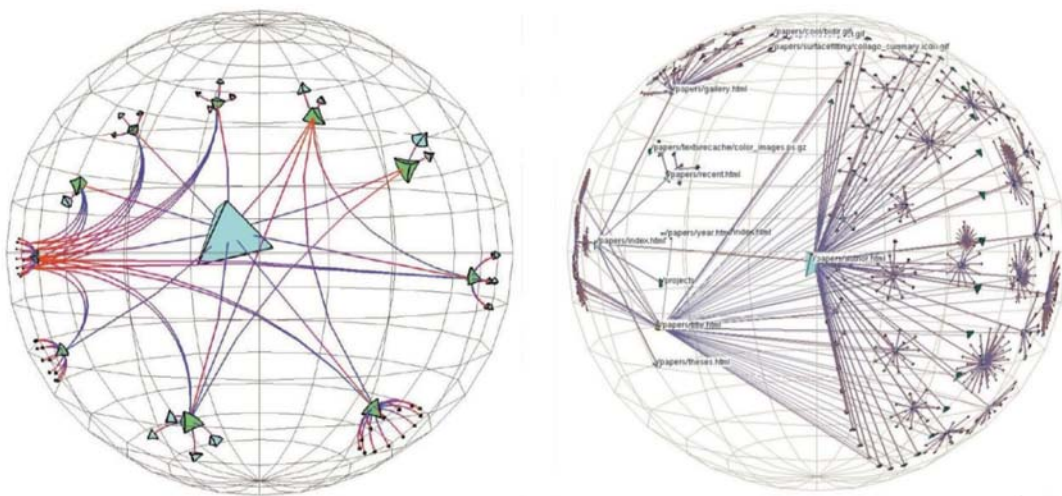


图 2 互联网资源的拓扑研究(Cadia.com)

Fig. 2. Topology research of internet resource(Cadia.com)

面。由于节点缺乏空间坐标,其空间位置难以精确定位,仅具示意性。

上述两方案解决了部分“虚拟—现实”空间互动关系,但存在以下问题:首先无法实现双重空间的一体化表达,未能将双方要素及关系置于同一坐标系内,缺少空间结构真实感,无法显示其相关性及其复杂性;其次,缺少互联网对象的现实空间坐标,无法实现精确定位;最后,二维地图显示效果不佳,相互遮挡,信息量有限。

对于互联网拓扑研究而言,由于拓扑表缺乏准确空间位置、网络资源和网络用户的属性信息,因而无法进行复杂条件查询,其结构分析也无法与现实空间相对应<sup>[7]</sup>。互联网资源的空间定位,主要采用 IP 注册表地址映射方式,如 GeoIP 和 IP Locating 等,实现 IP 地址及其所处国家、城市和注册地等信息的动态反馈,在地图上可进行近似标注,但无法获得 IP 节点的精确空间坐标<sup>[8]</sup>。

传统 GIS 对网络资源、用户和事件等进行基于 IP 地址表的间接、近似定位及二维显示,用于揭示其现实空间分布及变化趋势,制作网络资源图、网民分布图和社交关系图等。同时,探索地理要素对互联网分布的影响,如网络设施地理相关性、网民现实空间活动规律及影响因子,研究手段多为统计分析而非实时在线监控。上述研究,多关注互联网要素的某一类别、某一局部特征,无法涉及全要素、全方位和系统化的互联网整体。同时由于缺乏精确的 IP 坐标、网络虚拟属性和三维显示方法,无法对虚拟空间对象行为进行动态管理,难以具备复杂查询及分析预测功能<sup>[8,9]</sup>。

本文以 IP 空间定位为手段,将网络空间与现实空间统一集成于三维数字地球坐标系中,增加网络对象的虚拟属性,分层分区建立“虚拟—现实”一体化的三维赛博地图系统(3D CyberGIS),在此基础上实现网络空间与现实空间的双向查

询、分析预测及可视化。

## 2 互联网的全局测绘与信息采集

以 IP 作为网络维度,通过 IP 空间定位及网络属性采集,建立互联网对象的“虚拟—现实”空间数据库。具体方法如下:通过全局测绘,获得互联网 IP 节点精确空间坐标与虚拟属性(包括服务器、路由器、交换机和网络等硬件设备;网站和数据库等数据资源;用户名、ID、邮件、微博、QQ、微信、网卡、主板、CPU 和硬盘号等用户信息),从而将“虚拟—现实”空间的各类对象置入 GIS 进行统一管理。

### 2.1 互联网资源的空间测绘—室内外一体化定位

通过室外 GPS 获得准确位置信息,以之为基点,通过激光测距测角,获得与室内目标间距离与方位,再通过坐标转换,获得被测量点位置。

### 2.2 互联网资源的空间测绘—计算机位置信息及网络属性自动采集

采用室内增强式手机基站定位方法(A-GPS),实地测量网络节点的空间坐标。开发嵌入式程序,通过系统接口获取并绑定该设备网络标识(主板、网卡、CPU 及 IP 地址),将上述信息存贮于采集工具内,进一步汇集于网络服务器,实现网络资源的统一定位管理。

### 2.3 基于扩展 IP 协议的互联网空间定位方法

扩充 IP 协议以支持互联网资源及对象的空间定位。在 IP 协议数据报头选项字段里,增加网络通信的源头、目标及中转各设备的实际地理位置信息(通过实测获得经纬度坐标),同时建立地址服务系统,用于解析地名位置,从而形成一套以 IP 坐标为基础的互联网地理定位体系。

对互联网静态要素进行以 IP 为标识的全局测绘,具有超前性、必要性以及可操作性。一旦从网络基础设施到网络资源和从网络用户到网络行为均被准确、实时锁定于现实空间,不仅带来



网络安全质变, 同时也可以大幅提升网络管理效率, 成为打击防范网络犯罪的根本解决之道。鉴于目前各种互联网通讯及空间定位工具的普及程度较高, 采用统一标准进行互联网要素空间测绘工程成本低廉(与运营商网络用户注册申报检查等工作捆绑进行)、时机成熟。

### 3 互联网对象关系的 GIS 化

传统 GIS 数据结构源于真实空间与有形实体, 虽结合复杂地理事物类型加以扩充, 但针对网络空间及对象缺乏有效管理机制, 无法实现网络事件的现实定位、基于“虚拟—现实”属性的条件查询以及分析预测。

面对互联网“虚拟—现实”空间相互交织结合的态势, 需要对传统 GIS 数据功能进行虚拟化扩展, 解决网络对象及行为在现实空间的映射。IP 是一切网络对象与行为的基本维度(网络坐标), 将 IP 地址准确记录于现实空间, 从而在虚拟空间与现实空间建立了相互对应的桥梁。本文在 GIS 传统数据结构上进行扩展<sup>[10]</sup>, 将现实

空间((X、Y)、网络空间(IP)及其虚拟属性置于统一管理框架内, 实现网络空间对象及现实位置的完整表达。在此基础上, 对互联网要素进行逻辑特征分类来作为高程(Z 值), 然后根据其 IP 经纬度, 垂直投影到三维地球表面, 形成三维“虚拟—现实”空间坐标系。

#### 3.1 互联网要素属性分层

首先, 根据属性特征对互联网对象进行分类, 一级类别包括: 物理层( $Z_1$ )、网站层( $Z_2$ )及用户层( $Z_3$ )等。之后再细分为二级、三级等类别, 分别进行编码( $Z_1-Z_{11}-Z_{111}---$ ;  $Z_2-Z_{22}-Z_{222}---$ ), 以此作为其“逻辑高程”。

其次, 在三维数字地球坐标系中, 以互联网对象的 IP 经纬度为坐标, 垂直投影到地球表面, 以其网络类别(Z)为高程值, 确定网络对象的地理空间位置。

再次, 根据网络对象类别确定其图标, 根据 IP 地址逻辑关系, 确定 IP 节点间连接结构。

最后, 将上述网络对象及其结构, 按照其【经度+纬度+逻辑高程】三维坐标以及类别图标, 显示在三维 GIS 系统中, 如图 3 所示。

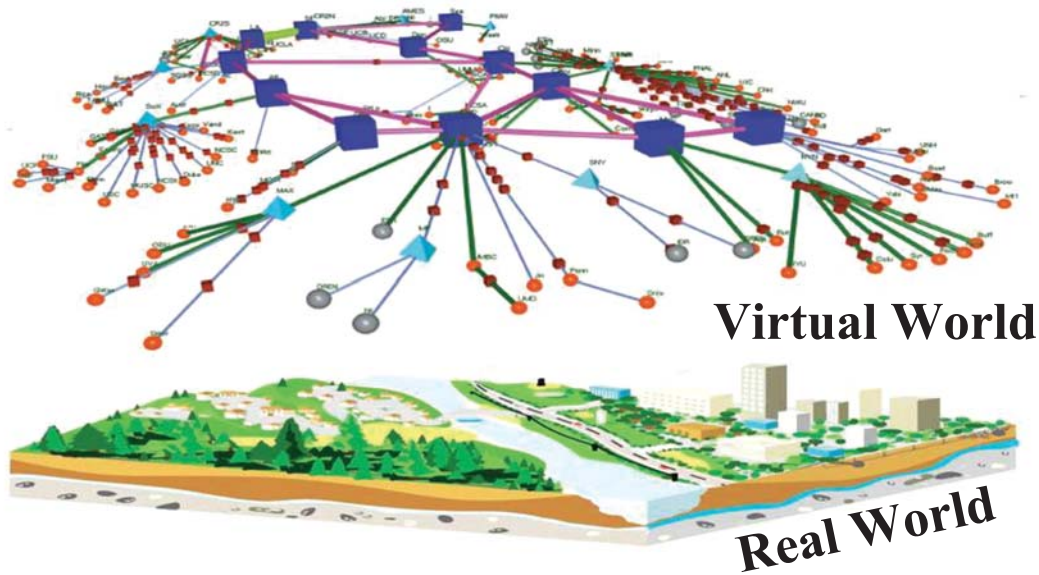


图3 “虚拟—现实”一体化的 CyberGIS 空间逻辑

Fig. 3. Spatial logic of CyberGIS based on virtual-reality integration

### 3.2 虚拟空间对象数据模型

本文对现实世界和网络空间进行面向对象的建模与数据管理，对其几何、语义、拓扑以及属性等数据进行统一管理<sup>[11,12]</sup>。如图4所示，该CyberGIS数据库由多工程组成，每个工程根据范围划分为多个分区，由多个数据集组成，包括遥感图像数据集、三维矢量数据集、语义拓扑数据集和虚拟要素数据集等。

对于虚拟要素对象数据集的管理，建立“要素对象层→对象类→对象基本数据+属性数据+拓扑关系”的数据表结构。其中，虚拟对象层可以划分为管理层、物理层、网站层和用户层等，由多个虚拟要素对象类聚合而成。虚拟要素对象

包括虚拟要素几何数据、属性数据和语义拓扑数据，这些数据通过虚拟网络空间对象的IP进行关联。虚拟对象数据表记录其IP、经纬度、高程和形状等信息；虚拟属性表记录每个虚拟要素对象所有字段的属性数据；虚拟对象语义拓扑关系表则记录同一层次要素对象的拓扑关系，包括关联关系和连接关系等。

### 3.3 复合空间数据表设计

在“虚拟—现实”一体化数据模型基础上，结合对象关系特性进行数据逻辑结构的设计。CyberGIS数据库包括“现实要素类”和“虚拟要素类”，以“几何+语义+拓扑+属性”的结构，实现复合空间的数据组织。

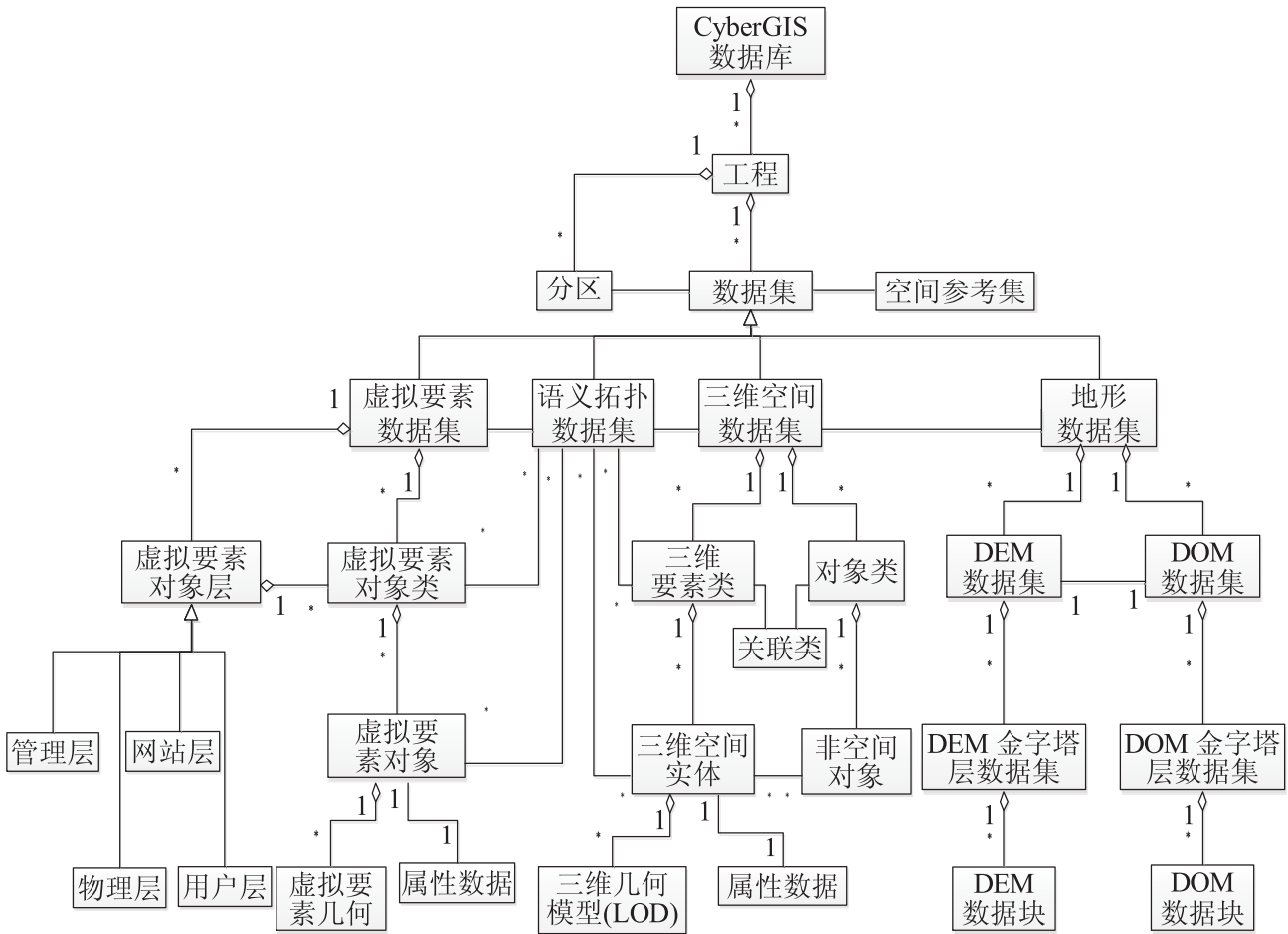


图4 “虚拟—现实”一体化的 CyberGIS 数据模型

Fig. 4. CyberGIS data model based on virtual-reality integration

复合空间 CyberGIS 数据结构, 包括【 $X,Y$ 】+【IP】+【现实属性】+【虚拟属性】+【虚拟高程】, 以 IP 为标识。

其中网络对象包括物理层(设备、网络、终端、服务器和存储)、管理层、用户及网站应用层。其中, 网站层再分为通信、新闻、社交、商务、政务、通讯、发布和娱乐等子层。

网络对象属性表结构:

Latitude, longitude	IP	现实 拓扑	现实 属性	网络 拓扑	网络 属性
------------------------	----	----------	----------	----------	----------

用户属性表包括: 用户名、经纬度(静态)、姓名、身份证号、住址、电话、机器名、网卡号、E-mail、QQ、微信、微博和网名等。

设备属性表包括: 名称、型号、出厂号、CPU 号、主板号、网卡号、所有人、地址、身份证、电话、放置地和经纬度等。

网站属性表包括: 单位、地址、注册号、身份证、上级单位及投资者名、网站、IP 地址、域名、负责人、电话、E-mail、栏目、编号、名称、首页和域名等。

## 4 复合空间三维可视化

在进行分类分层后, 以其 IP 对应的空间坐标进行垂直投影, 将网络资源、关系、行为和用户等虚拟空间要素全方位扩展至三维地球坐标系中, 对空间复杂拓扑关系统一表达, 在数据库中统一管理, 完成“虚拟—现实”空间的一体化存储与显示。

### 4.1 三维复合数字地球

采用 3D 地理信息 osgEarth 搭建三维数字地球平台, 其作为基于 OSG 开发的实时地形模型加载和渲染工具, 支持 WMS、WCS 和 TMS 等多种地图数据服务器, 包括 shp、jpg 和 tif 等数据格式等<sup>[13]</sup>。通过 osgEarth 对“虚拟—现实”复

合空间对象进行多层次三维可视化开发。

### 4.2 虚拟空间对象多层次分类表达

将虚拟空间分为网络资源、对象和用户等, 对不同类别分别表达; 三维绘制时, 不同类别对象通过不同的层次进行可视化, 每层次采用不同特征加以区别, 包括形状、大小、材质和颜色等。

### 4.3 虚拟网络空间对象三维动态绘制

首先确定网络对象的经纬度坐标信息, 定义唯一 64 位 ID。为区分不同层次类型, 分别采用不同形状、颜色和大小三维立方体、球体和椎体等形状表达。通过不同高度分别绘制不同层次的虚拟空间对象, 如离地表最近距离为网络用户表达层, 中间为服务器硬件设备层, 最上层为互联网网站层。每层可再分为若干亚层, 对应一定高度空间, 采用透明平面分隔, 增加层次显示清晰性。

虚拟空间对象绘制时, 将每个对象都作为一个节点(Node), 采用 osgEarth 的 ObjectPlacer 方法, 先定义 ObjectLocatorNode 节点对象, 设置经纬度坐标以及位置、方位等参数信息, 然后将设置存于偏移矩阵对象(MatrixTransform)中, 根据所属层次确定该对象绘制的高度。采用 LOD 技术建立多细节层次, 设置不同 LOD 节点的可见距离, 进行网络对象的动态加载与多细节层次可视化, 以此提高网络对象在三维数字地球上的可视化效率<sup>[14]</sup>。

根据网络拓扑关系, 将虚拟对象采用三维线段加以连接, 对不同关系类型以及关系强弱等采用不同的线型、粗细和颜色等区分表达。

### 4.4 采用 OpenSceneGraph 开源图形库绘制“虚拟—现实”三维空间步骤

(1) 建立正方体、正四棱锥、正八面体和球体, 作为虚拟空间节点的三维元模型, 分别采用 OpenSceneGraph 的相关库函数绘制<sup>[14]</sup>:

```
osg::Box(const osg::Vec3& center,float width); //绘制正方体函数
```



```
osg::Pyramid (const osg::Vec3& center,float
height) ;//绘制正四棱锥体函数
```

```
osg::Octahedron(const osg::Vec3& center,float
height) ;//绘制正方体函数
```

```
osg::Sphere (const osg::Vec3& center,float
radius) ;//绘制球体函数
```

空间逻辑关系采用圆柱体作为三维元模型, 通过函数: `osg::Cylinder (const osg::Vec3& center,float radius,float height)` 绘制。

(2) 为各类三维元模型添加材质, 三维场景灯光默认为白色,

```
osg::ref_ptr<osg::Material> material=new
osg::Material;
```

```
material->setDiffuse (osg::Material::FRONT,osg::Vec4f(0.0,1.0,0.0,1.0));//设置材质颜色
```

```
node->getOrCreateStateSet ()->setAttributeAndModes (material,osg::StateAttribute::Protected);
```

(3) 根据虚拟节点和结构在现实环境的位置, 利用三维元模型绘制其空间逻辑。根据相邻节点位置计算平移、旋转矩阵, 据此对原始位置的逻辑关系模型(圆柱)进行旋转和平移变换, 实现逻辑关系的绘制; 根据节点的类型和空间位置计算平移矩阵, 对原始位置节点模型进行旋转和平移变换; 逻辑关系三维模型变换代码如下:

```
rotation_matrix.makeRotate (osg::Vec3 (0,0,1),
end-start) ;//计算旋转矩阵
```

```
translate_matrix.makeTranslate (osg::Vec3f
((end.x ()+start.x ()) /2.0, (end.y ()+start.y ()) /2.0, (end.z ()+start.z ()) /2.0));//计算平移矩阵
```

```
mt->setMatrix (rotation_matrix*translate_matrix);//实现三维模型变换
```

根据数字高程模型数据、文件对象模型和三维建筑物模型数据, 建立三维虚拟地理环境。将所述三维空间逻辑模型加载到三维虚拟地理环境中, 实现虚拟和现实的对应, 如图 5 所示。图 5 显示在现实三维地球坐标系上, 按照 IP 所在位

置和区域, 垂直分布各类网络虚拟要素, 分为网络层、网站层以及用户层(按形状、大小和拓扑关系)加以区分显示, 以颜色及标号对其属性加以细分, 从而形成“虚拟—现实”一体化的三维赛博地图系统。

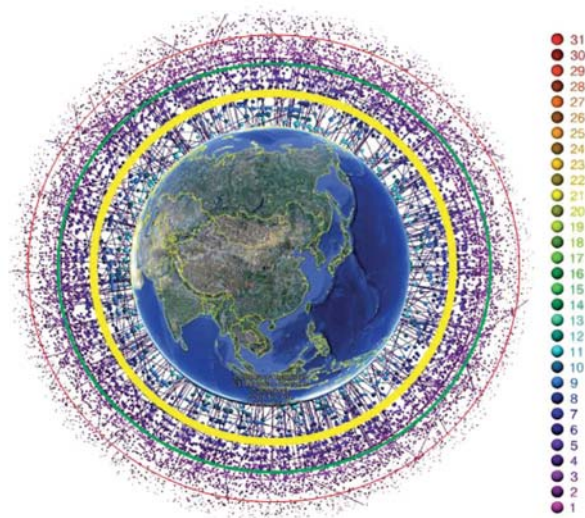


图 5 基于逻辑分层的互联网“虚拟—现实”一体化三维可视化

Fig. 5. Virtual-reality integrative 3D visualization of internet resource based on logical layering

## 5 结论

通过增加网络对象的现实坐标, 将网络空间与现实空间要素置于统一坐标系中, 实现了双重空间的一体化表达, 通过增加其虚拟属性及三维结构, 实现了 CyberGIS “虚拟—现实”一体化的定位、查询、分析及可视化功能, 有效拓展了 GIS 对虚拟空间的管理。

## 参考文献

- [1] Haklay M, Singleton A, Parker C. Web mapping 2.0: the neogeography of the GeoWeb [J]. *Geography Compass*, 2008, 2(6): 2011-2039.
- [2] Goodchild MF. Citizens as voluntary sensors:

- spatial data infrastructure in the world of web 2.0 [J]. *International Journal of Spatial Data Infrastructures Research*, 2007, 2: 24-32.
- [3] Churchill EF, Halverson CA. Social Networks and Social Networking [J]. *IEEE Internet Computing*, 2005, 9(5): 14-19.
- [4] 王林, 张书廷. Internet AS 层网络的演化分析 [J]. *系统工程学报*, 2010, 25(2): 1-5.
- [5] Shaw SL, Yu HB. A GIS-based time-geographic approach of studying individual activities and interactions in a hybrid physical-virtual space [J]. *Journal of Transport Geography*, 2009, 17(2): 141-149.
- [6] 谢红漫, 钱德沛, 栾钟治, 等. 基于分层的网络拓扑结构可视化方法研究 [J]. *北京航空航天大学学报*, 2004, 30(6): 529-533.
- [7] 张国清. 互联网拓扑结构知识发现及其应用 [J]. *通信学报*, 2010, 31(10): 18-25.
- [8] 修文群. 基于 GIS 的网络犯罪空间管理系统设计 [J]. *地理研究*, 2006, 25(5): 939-948.
- [9] 修文群. 基于 IP 测绘与 GIS 拓展的互联网空间定位系统 [J]. *集成技术*, 2013, 3: 67-74.
- [10] Wang SW. A CyberGIS framework for the synthesis of cyberinfrastructure, GIS, and spatial analysis [J]. *Annals of the Association of American Geographers*, 2010, 100(3): 535-557.
- [11] Breunig M, Zlatanova S. 3D geo-database research: retrospective and future directions [J]. *Computers & Geosciences*, 2011, 37(7): 791-803.
- [12] 朱庆, 李晓明, 张叶廷, 等. 一种高效的三维 GIS 数据库引擎设计与实现 [J]. *武汉大学学报(信息科学版)*, 2011, 36(2): 127-132.
- [13] Pelican Mapping. osgEarth documentation [OL]. <http://osgearth.readthedocs.org/en/latest/>.
- [14] 高宇, 吴玲达, 魏迎梅. 海量模型实时交互可视化技术综述 [J]. *中国图象图形学报*, 2008, 13(9): 1633-1640.
- [15] Wang R, Qian XL. *OpenSceneGraph 3.0: Beginner's Guide* [M]. Berminhham: Packt Publishing Ltd., 2010.