

# 数码城市空间数据模型与可视化研究

熊汉江<sup>1</sup> 龚健雅<sup>1</sup> 朱 庆<sup>1</sup>

(1 武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室,武汉市珞喻路 129 号 430079)

**摘 要** 提出了一种新的基于三维矢量图形、数字地面模型与数字地面正射影像相结合的数码城市空间数据模型,介绍了基于这一模型的软件平台原型——CCGIS,并对未来数码城市构建技术进行了分析与展望。

**关键词** 数码城市;数字地球;地理信息系统;虚拟现实

中图法分类号:P208

计算机及其网络技术的发展促进了全球互联网的发展,极大地缩小了人们在时间和空间上的距离。Internet 为人们创造了一个全新的生活空间——CyberSpace(Couclelis H,1996)。

CyberSpace 具有无边界、无拓扑、无方向等特点(Holt,1994;Leeder,1997),明显区别于现实世界,人们凭借生活中的经验容易迷失在这个空间中(Girardin,1995;Meyrowitz,1985)。能否使 CyberSpace 中存在类似现实的环境,从而能让人们像生活在现实生活中一样呢?数字地球的提出与建设给我们提供了这样的机会与条件(李德仁,1999)。由于城市是一个国家经济发展和社会结构的核心,城市的管理、建设和发展相对于乡村更受到重视;同时,数码城市的建设将给城市的有效规划与管理、城市的经济发展等带来更大机遇和美好前景,因此数码城市的建设自然成为数字地球与城市信息化建设的关键<sup>[1]</sup>。

数码城市的关键支撑技术是 GIS。GIS 提供给数码城市基本的城市空间信息,包括地图与城市模型;同时 GIS 也为海量的城市数据提供了高效率的管理、存储、维护与应用手段。计算机图形技术已经广泛应用到 GIS 中,而虚拟现实技术的发展,促使数码城市快速地向三维方向发展。数码城市的可视化也成为系统的关键,尤其是虚拟现实技术(VR)与 GIS 技术的有机结合。

传统的 2D GIS 提供给用户的是二维平面图形,作为数码城市的技术支撑显然不能满足视觉要求,将被目前受到广泛关注的 3D GIS 技术所

替代,三维空间数据模型一直是当前 3D GIS 的研究热点(龚健雅,1997;Pilout M,1994)。

虚拟现实技术(VR)是当前计算机图形学的热点,广泛应用于模拟仿真等领域,是三维可视化的主要应用技术,也将成为 3D GIS 与数码城市的可视化核心。为了解决大场景的问题,VR 技术提供了 LOD 方法,但是目前 3D GIS 空间数据模型对于与 VR 技术的结合考虑非常少,因此,构建既能够满足 GIS 分析应用要求,又能够满足高效率 VR 可视化要求的空间数据模型与管理体系是当前数码城市建设中迫切需要解决的问题。

## 1 面向对象的数码城市空间数据模型

面向对象技术已经广泛用于 GIS 的概念模型、逻辑模型、系统设计和系统实现,C++ 作为一种面向对象语言已经成为软件设计的主流语言,面向对象数据库管理系统和面向对象的 GIS 已经开始走向市场(龚健雅,1997,2000),因此数码城市空间数据模型的设计秉承了这一思想。

### 1.1 数码城市主要空间地物要素与对象定义

现实生活中,城市是非常复杂的,为了满足建设需要,数码城市中主要包括以下几个大类空间地物信息:①城市的建筑物;②城市的道路交通;③城市管网系统;④城市的地形地貌。以这些城市地理信息为基础,加上其他的如金融、通讯、旅游、房地产以及一些常规的商品信息等,可以在

CyberSpace 中构建类似真实的现代城市——CyberCity。

1.2 面向对象的数码城市空间数据模型

3D GIS 的空间数据模型总体上分为两大类：基于面描述的模型和基于体元的模型<sup>[1]</sup>。对于数码城市来说，基于面描述的模型能更好地描述城市建筑物等城市信息。文献[3]比较全面地描述了 GIS 中的空间对象及其定义，但对于数码城市来说，其数据模型与矿山三维模型相比相对简单，因此可以根据数码城市的实际，简化模型，有利于软件与系统的实现。其模型简介如下。

◆点对象：主要描述独立的点状地物，例如树、公路界碑等。

◆线对象：分为二维线对象和三维线对象，分别描述二维与三维空间的线状地物。数码城市中的电力线、通讯线等简单设施等都作为三维线对象描述，在二维空间中可以转化为二维线对象进行拓扑分析。

◆面对象：分为二维面对象和三维面对象。二维面对象主要描述数码城市中位于地面的地物，例如建筑物的底面、湖泊等要素；三维面对象主要描述三维空间中的实体，如广告牌、建筑物的墙面等。

◆体对象：描述一些有形状的实体，例如建筑物等。另外，像复杂地下管网等可以作为简单的体对象描述。

◆组对象：也称为复杂对象，是描述若干个不同的对象组合成的实体对象。例如一个学校，它有众多的点对象——树，面对象——湖泊，线对象——道路，体对象——建筑物等。这些对象组合的一个大实体就是学校，可以用组对象来定义它，便于对学校这样一个整体进行查询和分析。

◆注记对象：描述数码城市中的一些文字描述信息，例如道路名称、单位名称等。

◆纹理对象：是数码城市中单个三维面状地物的纹理影像，例如建筑物的表面影像等。

◆数字地面模型对象：描述城市的地形，包括格网模型、不规则三角网模型和两者的混合模型。

◆数字地面影像对象：描述数码城市的地面概貌图像，主要用来表达遥感、航空摄影测量或扫描地图的得到数字影像。数字地面影像实际上也是数码城市中的一个比较特别的纹理对象，由于其独有的特点和数据组织方式，通常将其作为单独的对象。

1.3 数码城市空间对象体系

OpenGIS 规范作为一种 GIS 标准，详细定义

了传统 GIS 的空间对象模型<sup>[7]</sup>，为了更好地与现有的数据资源和系统共享数据信息，保持良好的兼容性，在吸收 OpenGIS 标准的基础上，笔者进行三维空间数据模型的扩展。具体的模型结构如图 1 所示。

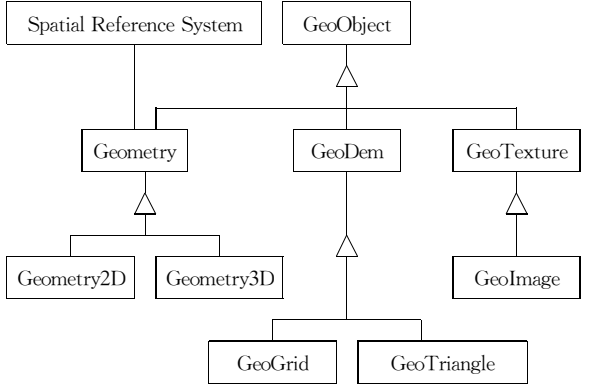


图 1 数码城市中的空间对象体系

Fig. 1 The Architecture of Spatial Data Objects in CyberCity System

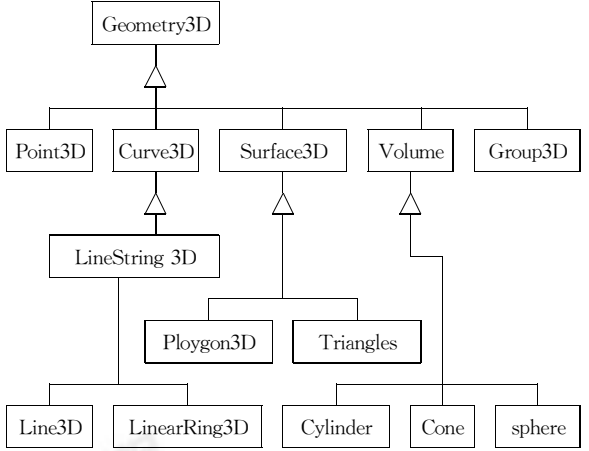


图 2 数码城市的三维空间对象

Fig. 2 The Architecture of Spatial Data 3D Objects in CyberCity System

其中，Geometry 2D 的定义类似于 OpenGIS 中的 Geometry 的定义，详细的内容可以进一步参考相关的 OpenGIS 规范<sup>[7]</sup>。

1.4 数码城市空间对象数据结构

为了能够融合传统的 2D GIS 模型与数据结构，数码城市中有关二维部分空间对象的数据结构与传统的 2D GIS 数据结构一致，同时增加了三维空间对象以及数字地面模型和数字正射影像等栅格数据对象。CyberCity 中主要三维空间对象的数据结构简单说明如下。

◆三维点对象(Point3D)：是三维空间中的零维对象，其坐标由{X,Y,Z}构成。

◆三维线对象(Line3D)：类似于 2D GIS 中

的线,其坐标也是由一组点坐标串构成,不同的是点坐标是三维的。Line 3D 对象的坐标串为  $\{\{X_1, Y_1, Z_1\}, \{X_2, Y_2, Z_2\}, \{X_3, Y_3, Z_3\}, \dots, \{X_n, Y_n, Z_n\}\}$

◆三维多边形对象(Polygon 3D):不同于 2D GIS 中的多边形对象, Polygon3D 对象的数据包括:

```
Object Polygon3D-Sample
{
    对象标识
    空间坐标数据
    纹理对象 ID
}
```

Polygon3D 对象的坐标组成为两个集合:边界点集合 Boundary  $\{\{X_1, Y_1, Z_1\}, \{X_2, Y_2, Z_2\}, \dots, \{X_n, Y_n, Z_n\}, \{X_1, Y_1, Z_1\}\}$ ;内部点集合 InnerPoint  $\{\{X_{i_1}, Y_{i_1}, Z_{i_1}\}, \{X_{i_2}, Y_{i_2}, Z_{i_2}\}, \dots, \{X_{i_n}, Y_{i_n}, Z_{i_n}\}\}$ 。边界点集合描述的就是 Polygon 3D 对象的外部边界,它们都在三维坐标空间的一个平面上,而内部点集合描述的就是在 Polygon3D 外部边界所定义的空间面投影都在其区域内的 Polygon3D 特征点。

图 3 描述的是一个普通房屋顶的简单几何图形,在数码城市中可以将它描述为 4 个三维多边形:面 *aed*, 面 *bfc*, 面 *cdef* 和面 *abfe*。但是我们在利用 DPW(数字摄影测量工作站)采集房屋的屋顶纹理时,往往直接从正射影像上挖取。整个屋顶作为一个整体只有一个纹理,因此 CyberCity 将整个屋顶作为一个 Polygon 3D 对象,描述为:

```
Object Roof-1{\{外部边界点: \{a, b, c, d\}内部边界点: \{e, f\}\}
```

◆体对象(Volume)描述的是三维坐标空间中的一个简单几何物体,如单个房屋。数码城市中的 Volume 对象分为两种:简单 Volume 对象和复杂的 Volume 对象。简单的 Volume 对象包括正(长)方体、柱体、椎体等;复杂的 Volume 对象则一般由若干个子对象组合而成,如简单的房屋可以由屋顶、若干个墙面和底面组成。

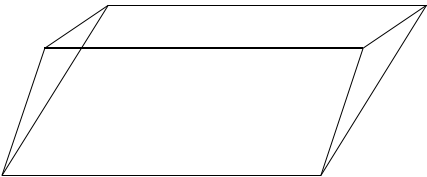


图 3 屋顶的几何描述

Fig. 3 The Geometric Defination of the Roof

◆三维注记对象(Annotation3D):描述的是空间标注信息,如房屋名称、道路、河流的名称等,它的坐标具有相对的准确性,同时定位点坐标也是由  $\{x, y, z\}$  构成的。

◆三维组对象(Group3D):描述的是具有某些相同特性的若干个几何对象的集合,它的空间数据由各个子对象的 ID 组成:  $\{\text{ObjectID}_1, \text{ObjectID}_2, \dots, \text{ObjectID}_n\}$

◆纹理对象(GeoTexture):记录的是空间面对象的贴面,其数据是抽样点的 RGB 值。

◆数字地面模型对象:数码城市中定义了两种基本的数字地面模型对象:①格网模型对象(CGeoGrid)。格网模型比较简单,一般用来描述范围比较大的地面地形。②不规则三角网模型(CGeoTin)。不规则三角网模型是对于精度要求比较高的特殊地形如山体、公路网等,根据其特征点建立不规则三角网来模拟该物体的外表面形状的, CGeoTin 对象记录的是特征点的坐标,可以在实际应用中适时建立 TIN 模型。

◆数字地面正射影像:是一种特别的纹理对象,一般是地面的卫星照片或者航空数字正射影像。它可以作为数字地面模型的纹理,同时也可以在实际应用中作为场景 LOD(level of detail)的第一层来显示。

## 2 基于数码城市空间数据模型的 CCGIS 平台及 VR 可视化技术的应用

CCGIS 是 GeoStar 自主版权基础地理信息系统软件的后续产品,是专门针对数码城市的建设而研发的软件开发平台,它在吸收传统 GIS 软件技术的基础上,采用上述面向对象的数码城市空间数据模型,集数字地面模型(DEM)、数字地面正射影像(DOM)和真三维矢量图形数据为一体,采取了能够满足 3D GIS 应用与大场景可视化要求的数据组织与管理体系,同时兼顾传统 GIS 的优势。数码城市中的空间数据一般有两大大应用方式:GIS 应用与城市场景的可视化。传统的 GIS 在空间数据组织方面有非常成熟的经验,因此当前数码城市面临的最大问题在于城市大场景可视化的同时需要保持 GIS 应用的高效率。CCGIS 在这种思想指导下进行了尝试。

### 2.1 CCGIS 空间数据组织体系

早期的 GIS 采用分图幅来管理空间数据,随着关系数据库技术的发展,传统的关系数据库被

改造为对象数据库或者对象-关系型数据库,使大型无缝 GIS 空间数据库的建立成为可能。但是数码城市的一个重要应用是与当前发展迅速的虚拟现实技术相结合,发展真三维应用。由于受到物理设备和当前技术的制约,海量无缝空间数据库的浏览依然存在困难,考虑到现实的需求,CCGIS 对矢量图形采用了传统的分幅(也可以称为场景)管理机制,同时在分幅基础上建立图幅间的逻辑联系,形成一个完整的数码城市空间图形数据库,对于数字地面影像和数字地面模型则一般采用传统的金字塔结构组织体系。下面主要探讨数码城市图形数据的组织与管理。

图 4 模拟的是根据城市的主要交通干道网将一个城市模拟划分为多个分区(也叫场景),同时建立一个城市道路场景,构成了整个城市的空间分幅体系,如图 5 所示。

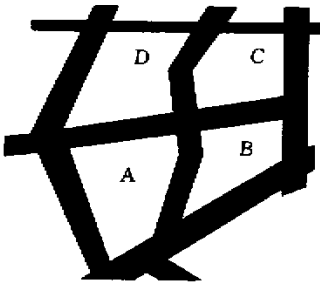


图 4 城市街区模拟图形  
Fig. 4 The Simulated Map of a City

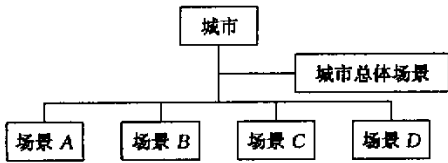


图 5 模拟城市的空间数据组织层次  
Fig. 5 All the Scene Graph of a City

对于每一个场景来说,它代表了城市的一个分区,空间地物被分为若干层,例如道路层、水系层、管线层等;同时层中也可以分为很多的地物类,例如管网层可以包括供给管道、雨水管道、污水管道、电力线等,不同的对象归属到不同的地物类,而不同的地物类归属到不同的层,如图 6 所示。

2.2 数码城市的 LOD 模型与可视化

CCGIS 的空间数据组织方法继承了传统 GIS 的许多优势, GIS 数据的许多管理方法可以非常容易地移植到 CCGIS 的空间数据管理中来,使得数码城市能够充分满足 GIS 应用需要,但是在场

景的三维可视化方面,这样的组织显然是不够的。然而,CCGIS 将 DEM 和数字影像作为空间对象的一部分,融合到了空间数据的管理中来,为大场景 LOD 模型的构造和应用提供了良好的数据基础。可以优化飞行漫游速度,充分利用数字地面影像与建筑物体的 LOD 模型,加快复杂场景的三维显示。

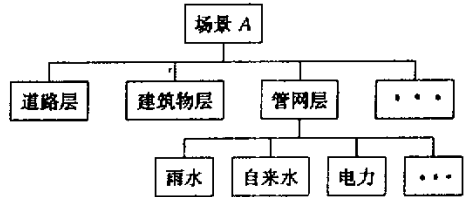


图 6 场景数据组织  
Fig. 6 The Content of a Scene

场景的 LOD 模型为:

LOD<sub>1</sub>: 直接利用数字地面影像作为整个场景的第一个 LOD 层。

LOD<sub>2</sub>: 可以利用数字地面模型,以数字地面影像作为纹理,作为整个场景的第二个 LOD 层。

LOD<sub>3</sub>: 可以直接利用场景内的空间对象(一般是体对象和组对象)的 LOD<sub>1</sub> 层作为场景的第三个 LOD 层。

建筑物的 LOD 模型为:

LOD<sub>1</sub>: 以建筑物的简单外形(例如 Box)作为建筑物的第一个 LOD 层。

LOD<sub>2</sub>: 以建筑物的详细外形作为建筑物的第二个 LOD 层。

2.3 数码城市中建筑物数据模型与可视化

数码城市中的建筑物用 Volume 对象描述。一般来说, Volume 对象描述了单个建筑物体的外部形状,但是人们往往希望象现实生活中一样去了解建筑物的内部结构,因此简单的 Volume 对象描述不能完全满足实际的需要,有必要对建筑物内部场景作详细的描述,并且建立建筑物与场景的联系。描述建筑物与内部场景的数据结构如表 1 所示。

从表 1 可以看出,一个建筑物(Volume 对象)包含有许多个场景转换面,用来描述场景间的转换物如门、窗户等。而房间等可以作为一个单独的场景对象,也可以作为一个 Group 3D 对象,如果在场景浏览中穿越场景转换面,新的场景就会产生。通过场景转换方式可以实现建筑物内部的全范围浏览。



2.4 CCGIS 的实验与应用

CCGIS 从实践上检验了面向对象 CyberCity 空间数据模型的可行性,检验了矢量图形、DEM、数字地面影像一体化组织与 VR 技术结合的优势,为数码城市的数据采集和建设提供了一种思路,也为数字地球的建设提供了一种方法,目前已经应用于深圳、上海数字小区等项目。

表 1 建筑物与内部场景间的关联数据结构

Tab.1 The Interior Data Structure of a Complex Building

Volume 对象 (建筑物)	Surface3D 对象 (场景转换面)	Group3D 对象 (建筑物内部场景)
Building A	大门	大厅—外
Building A	房门 A	房间 A—走廊
Building A	房门 A <sub>1</sub>	房间 A <sub>1</sub> —房间 A
Building B	后门	大厅—屋外
...	...	...

3 未来数码城市的技术发展研究方向

目前 GIS 由传统的二维向三维甚至多维方向发展,数据存储方式从文件系统向对象-关系数据库、对象数据库系统移植,从集中式空间数据库向空间数据仓库、联邦数据库发展。分布式虚拟现实技术也发展迅速,构建分布式虚拟环境成为研究热点。因此,未来的数码城市主要要解决好分布式环境下的空间数据发掘与应用问题,结合高效率的索引机制,尤其是空间索引(如 R/R\* 树)和 VR 管理中的索引(如 BSP)等的有机结合,实现数码城市的分布式管理与应用。

致谢:衷心感谢李德仁院士、龚健雅教授两位导师的精心指导和深切关怀。感谢朱庆教授的大力合作,感谢 GIS 中心全体老师和同仁的帮助!

参 考 文 献

1 Shi W Z. Statistical Modeling Uncertainties of Three-dimensional GIS Feature. Cartography and Geographic Information Systems ,1997 24( 1 ) 21~26

2 Amr A Q ,Papacostas C S. Construction Applications of Relational Databases in Three-dimensional GIS. Journal of Computing in Civil Engineering ,1992 4( 1 ) 465

3 龚健雅 夏宗国. 矢量与栅格集成的三维数据模型. 武汉测绘科技大学学报 ,1997 22( 1 ) 7~15

4 李德仁. 信息高速公路、空间数据基础设施与数字地

球. 测绘学报 ,1999 28( 1 ) :1~5

5 龚健雅 朱欣焰 朱 庆 ,等. 面向对象集成化空间数据库管理系统的设计与实现. 武汉测绘科技大学学报 2000 25( 4 ) 289~293

6 李德仁 朱 庆 李霞飞. 数码城市 :概念、技术支撑和典型应用. 武汉测绘科技大学学报 2000 25( 4 ) 283~288

7 Adams P C. CyberSpace and Virtual Places. Geographical Review 87 ,1997 ,155~171

8 Dodge M. Accessibility to Information within the Internet :How Can be Measured and Mapped ? In :Janelle D , Hodge D. eds. Information ,Place and CyberSpace :Issues in Accessibility. Amsterdam :Elsevier ,1999

9 Girardin L. CyberSpace Geography Visualization :Mapping the Word-Wide Web to Help People Find Their Way in CyberSpace ,1995. <http://heiwwww.unige.ch/girardin/cgv/>

10 Jiang B ,Ormeling F J. Cybermap :the Map for CyberSpace. Cartographic Journal ,1997 34( 2 ) :111~116

11 Jones S G. The Internet and Its Social Landscape. In : Jones S J. eds. Virtual Culture :Identity and Communication in Cybersociety. Sage :London ,1997. 7~35

12 Kitchin R M. Social Transformation Through Spatial Transformation :from GeoSpace to CyberSpace ? In : Behar J E. eds. Mapping CyberSpace :Social Research on the Electronic Frontier. New York :Dowling College Press ,1997. 149~173

13 Couclelis H. Editorial :the Death of Distance. Environment and Planning B. Planning and Design ,1996 ,23 : 387~389

14 Holt C. Web :Mapping out Communal CyberSpace , 1994. <http://vag.vrml.org/www-vrml/arch/1170.html>

15 Leeder D. Mapping CyberSpace. 1997. <http://business.netcom.co.uk/-dawn/project/index.html>

16 Meyrowitz J. No Sense of Place :The Impact of Electronic Media on Social Behavior. New York :Oxford University Press ,1985

17 Pilout M ,Tempfli K ,Molenaar M. A Tetrahedron-based 3D Vector Data Modelling. Netherlands Geodetic Commission. Publications on Geodesy ,1994( 40 ) :129~140

作者简介:熊汉江, 博士生。现主要从事联邦空间数据库、3D GIS 空间数据模型、空间数据库与虚拟现实的研究。代表成果: GeoStar 空间数据管理的设计与开发, CCGIS 空间数据管理平台的设计与开发《基于三级客户/服务器模式的 GIS 软件平台设计与实现》等。

E-mail :xhj@rcgis.wtusm.edu.cn

# Spatial Data Model and Visualization for Digital City

XIONG Hanjiang<sup>1</sup> GONG Jianya<sup>1</sup> ZHU Qing<sup>1</sup>

(1 National Laboratory for Information Engineering in Surveying Mapping and Remote Sensing ,  
Wuhan University ,129 Luoyu Road ,Wuhan ,China 430079 )

**Abstract** With the development of computer technique and Internet ,the concept of CyberSpace is formed. But different from our real world ,the CyberSpace is structureless and chaotic ,with no fixed topology ,centers or boundaries. What can change the CyberSpace as our real world is the digital earth and city based on the 3D GIS and virtual reality technique. However ,the 3D GIS spatial data model is not mature and difficult to be applied in practice ,with less cooperation with the virtual reality. Thus it is necessary to design a new spatial data model to meet the demand the application and visualization of digital city.

In this paper an Object-oriented 3D spatial data model for digital city is introduced. In this model ,the 3D vector spatial data ,digital elevation model and digital ground image data are integrated ,which will provide more advantage for the visualization of digital city with virtual reality technique. As a new component of Geostar software ,the CCGIS software is build on this spatial data model and will be introduced and how to issue the spatial data issue of a digital city.

In Section 1 ,the lack of current 3D GIS model is pointed out ,mainly is the more complex data model and huge data. The Visualization of digital city with VR is too difficult. The photogrammetry and remote sense provide us more digital ground images ,This images can give us a overview of the city. With the digital elevation which can be gained by photogrammetry ,we can get the the airspace. This will fit the level of detail concept in the VR field.

In Section 2 ,we introduces the objected-oriented spatial data model ,which integrates the vector data ,digital ground image and digital elevation model data. Section 3 introduces the CCGIS software and the detail about how to organized the city 's data with the software.

Section 4 discusses the application of level of detail in the visualization of the city 's scene and the visnalizativn of the interior of 3D building. In the first filed ,the digital ground image is directly looked as the first LOD level ;The visualization of DEM which take advantage of digital ground image as texture is looked as the second LOD level. The last LOD level is the geometric data of spatial object ,DEM and digital images. In the later field. In the visualization of spatial object ,there are two LOD levels. The first is the object 's exterior boundary ,such as box ,and the second level is the detail of object 's outline. In more situation ,we want to visit the interior of a building ,this paper provide a way to solve the problem :we can build many 3D surfaces for the door and windows of the building . each surface will be related two scenes. With the switch related to the entries ,different scene will be displayed.

At last ,the author analyzes the development of digital city in the future ,and points out that the cooperation with the distributed GIS and distributed virtual reality technique is the main goal of the information system.

**Key words** CyberCity ;digital earth ;GIS ;virtual reality

**About the author** XIONG Hanjiang ,Ph. D candidate. He work at the federated spatial database ,3D GIS ,geospatial database and virtual reality application. His major achievements are spatial data management module of the GeoStar and CCGIS software “ Design and Implementation of GIS Platform Based on the Three-tiered Client/Server Pattern ” ,etc.  
E-mail :xhj@rcgis.whu.edu.cn