

数码城市: 概念、技术支撑和典型应用^{*}

李德仁¹ 朱 庆² 李霞飞²

(1 武汉测绘科技大学校长办公室, 武汉市珞喻路 129 号, 430079)

(2 武汉测绘科技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 首次系统全面地介绍了有关数码城市(CyberCity)的概念、技术支撑和典型应用, 并结合 CCGIS 软件的研究开发及其在深圳和上海两个城市的示范应用, 讨论了建设数码城市所面临的若干关键技术问题。

关键词 赛博空间; 数码城市; GIS; 虚拟现实

分类号 P208 文献标识码 A

1 赛博空间

赛博空间(CyberSpace)的概念是美国小说家 William Ginson 最早提出的。他在 1984 年出版的著名科幻小说《精神人》中, 将赛博空间定义为由计算机生成的景观, 是连接世界上所有人、计算机和各种信息源的全球计算机网络的虚拟空间。

赛博空间尚未有一个明确、统一的定义, 但是可以这样理解: 赛博空间是一个虚拟空间, 它的数据信息存储在计算机网络上, 任何一个虚拟空间的产生都依赖于存储在因特网内的电子数据。尽管赛博空间存在的历史还不到 20 年, 但是它以惊人的速度发展, 很快就遍及因特网。如今它每年仍以成倍的速度继续向前发展, 预计将是下个世纪网络科学发展的又一个新范例。

赛博空间有其独特的空间特性。在这里, 物理距离已无意义, 我们必须设想一个新的方法来表达距离。第一个是有效距离, 这是一种功能距离, 如用时间或成本来表达的距离; 第二种是心理距离, 即人们从认知上感到与对象多么靠近的主观度量; 第三种是整体距离, 在此, 每条链有单位长度。另外, 大多数赛博空间不考虑地球引力。事实上, 地球引力的方向和大小或时间因果关系可以任意定义, 比较容易修改。再有, 描述赛博空间的三维矢量的单位长度和方向随位置变换而变化。从这种意义上来说, 单个建筑物和街道的大小或形状不受空间条件的约束。保持空间形状的

惟一要素是拓扑关系。用自己心理的缩放比例来替换原始的地球引力、系统时间、颜色配置和空间尺寸的设置, 不仅能创建自己喜欢的空间, 而且能与其他用户分享有感知的、给人以美感的空间。

很明显, 赛博空间不是人类生存的空间, 它是一个庞大的、充满各种各样信息的数据集合体, 是一个全新的计算机空间。用户可以对其进行访问和修改; 可以在这个空间里“自由翱翔”; 可以设计自己风格的社会生活; 可以创建梦中的理想生活环境。只要拥有一台跟服务器连接的计算机, 不出家门就可以实现漫游世界的梦想。处在不同区域、不同国度的人们不再受时间和空间的限制, 可以在这个空间里相遇和相互交换意见。赛博空间不仅提供了听觉信息, 同时也提供了视觉信息。在这里, 用户能享受到自己设计环境的乐趣, 每个人都能设计和创建梦中的城市, 最主要的是这里的相遇不受实际空间约束。尽管赛博空间不可能给出关于生存环境问题的最终答案, 但它提供更多的机会用不同的手段去探测和沟通。

2 数码城市

数码城市(CyberCity)由电子信息数据组成并保存在因特网上, 它不像真实的城市。描述地球表面、建筑物的纹理和拓扑关系的信息通过当地的服务器上载到网络上。数码城市除了城市模型以外还包括其他一些信息, 如金融信息、通讯信息、旅游信息和一些常规商品信息等等, 它们与

用户一起组成了一个新的有用空间。可以这样理解数码城市:它是城市地理信息和其他城市信息结合并存储在计算机网络上的能供远程用户访问的一个新的城市空间。在空间描述语言(如虚拟现实模型语言 VRML)和软件的帮助下,能访问到网络的人都能创建自己的空间。即使对非专业人员来说,维护和更新内容也并非难事。另一方面,通过连接 IP 地址,不同的城市可以连接在一块。

因特网上的数码城市大致可分为 3 种:①以文本形式提供的信息源。与数码城市相关的文档数据是一个 HTML 主页或者是一个站点。由于难以领会行踪和连接的结构,不能提供给用户一个城市的概念,这种数码城市更像是一个目录。②二维站点。它包括城市地图和风景画。大部分的站点采用了整个城市的地图作为主页,用户通过单击相应部分就能进入特定的站点。地图和风景画一起提供了城市空间次序很好的浏览,但在可见影像的数量和访问的速度上却大打折扣。随着影像的增多和细节的增加,找到这些影像将很费时。再有,城市的内容和连接是设计者预先给定的,不管用户喜欢与否,都必须接受。③三维数码城市空间。在这个三维世界里,空间次序的视觉理解变得非常容易。通常用像 VRML 的空间描述语言来介绍这些空间。三维数码城市意在模拟现实世界,减少处理速度,提供一个生动的城市空间。

三维数码城市的产生可以追溯到 20 世纪 80 年代初。Skidmore Owens 和 Merrill(SOM)在三维城市模拟上有所表现。SOM 的芝加哥电信结构模型激发了这个领域的早期工作,这家咨询公司使用虚拟技术建立了电信线框模型,从而赢得了更多的工程;另外一个典型的例子是利用建筑绘图和野外调查数据构建的几何模型——更加精细的数字墨尔本已用于墨尔本大学虚拟创作室的教学工作;1990 年, Bath 大学的 CASA 研究组利用测量信息创建了细节更加丰富的英格兰 Bath 城市模型;多伦多城市规划部门将城市 CAD 组合模型用于决策也已经有了十几年的历史。随着万维网技术、虚拟技术及空间信息技术的发展,三维数码城市将会得到很快的发展。

3 建设数码城市所需的关键技术

数码城市是在计算机网络上实现的,需要有多种学科支持,特别是信息学的技术支持。建设

数码城市所需的关键技术主要包括以下几个方面:信息高速公路和计算机网络、遥感技术、地理信息系统、数据库管理技术、虚拟现实技术等等。

3.1 信息高速公路和计算机网络

因特网的前身是 1969 年美国用在军事上的 ARPA 网。在发展前期,这个网络并没有得到广泛的应用。直到 20 世纪 80 年代,分散在世界各个国家的学院局域网一个接一个地与 ARPA 网相连,从而发展到今天的因特网。其实,因特网的真正发展应归功于 1991 年网络的商业化和提供 WWW 服务,随后因特网便以飞快的速度向前发展。

万维网的扩展速度是其他任何技术所无法比拟的。1997 年 1 月份的调查数据表明,因特网拥有的主机已超过 1 600 万台,HTML 主页有 8 000 万个,网页的上载仍然以成倍速度增长。另有一个调查数据表明,万维网上的 Web 服务器从 1993 年的 130 台增加到 1997 年的 66 万台,到 1998 年底已超过 350 万。

万维网使得与它相连的每一用户都能访问到各种各样的数据。万维网是一个信息发布系统,用来浏览和搜索世界范围的因特网网页上的数字信息。通过万维网,公众可以使用网页上能访问到的数据,如数码城市和三维影像。如果影像数据和城市数据可以在网页上访问,各种各样的查询将变得更加灵活生动:穿过城市街道,参观虚拟旅馆房间,用自行车在高山上旅行,在计算机帮助下设计花园等等。

为了使远程用户能访问到城市数据,城市数据通过本地的城市服务器上到因特网上;为了保证用户得到实时的数据,必须运行在信息高速公路上。在因特网流量爆发性增长的驱动下,远程通信载体已经尝试使用 10G/s 的网络, 10^{15} byte/s 的因特网正在研究中。Internet 第二代已在美国的研究机构和大学间进行实验运行。

即便如此,要将数码城市的海量影像、纹理、几何和属性数据在网上快速传输,仍需要解决数据压缩、传输和解压等问题。

3.2 遥感技术

在数码城市中,建筑物是最重要的部分。因此,在三维数码城市中,建筑物的三维重建是一项很重要的工作。航空影像是建筑物重建的主要数据源,特别是数字摄影测量技术为三维城市数据的获取提供了最经济快捷的方法。在三维城市模型中,航空摄影测量提供了下列重要数据:建筑物的三维重建模型、数字高程模型和数字正射影像。

多光谱影像还可用来区分数码城市中的植被和人造景观等。

直接使用激光扫描仪来量测表面几何关系,特别是在城市密集区域,它是获取高精度数字表面模型的最佳选择。有些激光扫描仪可用来测量表面反射比,从而提供了密集区域数据,易于获取地物。精确的地形获取受到激光扫描仪横向分辨率的限制,通常的激光扫描仪每平方米只有一个采样,然而,基于直升飞机的激光扫描仪达到每平方米5个甚至更多的采样,已经用在建筑物场景的获取中。使用航空影像和激光扫描,屋顶的结构(通常也就是建筑物的结构)能进行自动或半自动的三维重建。激光扫描仪对获取建筑物正面也是一种强有力的工具。

为了提供更详细的建筑物正面信息以供重建,可以采用地形测量获取正面结构,但是在大多数情况下,摄影测量(特别是数码相机的应用)和使用地形测量中的控制点定位相结合是一种有效的方法。数字近景摄影测量软件包越来越完善并能得到精确纹理绘制的三维模型。车载3S集成系统也可以用来进行这项工作。

3.3 GIS技术

GIS数据是数码城市空间信息的基础。GIS提供了二维数码城市中的地图和三维城市模型的信息,同时,GIS为庞大的城市数据提供了管理、存储和维护的有效手段。

在数码城市中,三维建筑物形状的重建和绘制、表面性质的描述和材质参数都已成为数据库的一部分。一个成熟的三维数据库包括几何关系数据、照片纹理和其他附加信息数据,加起来将达到几千亿byte。比如,深圳的数码城市模型数据至少有100Gbyte。

庞大的数据库需要使用有效的空间数据结构来组织。数据结构的设计必须符合用户的需求。传统的地理信息系统(二维GIS)采用关系数据库管理系统RDBMS,这对数据的维护、更新、空间分析和数据快速恢复是很有效的。然而,现代的城市数据管理要求处理更复杂的请求和维持更复杂的数据,这需要新的数据管理方式代替旧的管理方式。面向对象的数据数据库管理系统OODBMS或对象关系型数据库管理系统ORDBMS正在取代旧的管理模式。为了达到三维GIS数据的可视化目的,Kofler(1998)设计并实现了一种数据结构,他的思想就是结合R-树的概念和细节层次的概念于一体,并用OODBMS来组织。分层的、面向对象的三维数据库模型可以快速访问空间数

据,支持多用户访问,以重要的绘图格式输入输出,支持传统的查询特别是对GIS和CAD等等。为了提高速度,应该减少从数据库到虚拟程序转换的数据量。因此,数据库需要具有一些“绘图智能”。它必须只在当前的视线范围内采集物体(金字塔或圆锥内),非标准的查询语言不能用在这里。因此,应该开发一种用在快速“透视查询”中的新算法。分层的边界框、R-树和类似的技术用来支持快速的索引和搜索,需要精心的纹理处理。纹理存储为多分辨率的位图(位图金字塔)。为了减少存储量,提高速度,纹理必须进行压缩(可使用JPEG)。这种技术能在所有的数据转换之前给出图像的轮廓。因此,先在视点附近获取物体和先在较低的细节获取大的物体显得很重要,假如数据库的访问运行在低速的网络中,这种选择显得更重要。

3.4 虚拟现实技术

可视化是人机交互的基础,它为用户设计自己的生活环境提供了窗口和工具。有了可视化技术,用户才能改变初始设置,从而实现梦想。

虚拟现实(VR)技术首先应用在军事和航空领域,在技术产业化后,才被广泛应用到各个领域。虚拟现实技术的发展速度可以与电脑技术的发展速度相比拟。

早在1989年, Van Driel就认识到虚拟现实技术的优点在于了解信息的方式。人类大约50%的大脑神经是关于视觉方面的,还有人认为三维显示能刺激更多的神经细胞,在处理问题的过程中涉及到更多的大脑。如在二维等高线地图里,在进行分析之前,先在大脑里形成地貌的概念模型,加之一些地形的绘制复杂性,即使对一个反应极灵敏的人来说,理解二维地图也并非易事。然而,三维显示模拟了现实空间,从而使观测者能更快地认识和领会高程上的变化。

虚拟现实技术的应用很广泛,如建筑物视觉效果的评价、城镇设计和城市信息系统、气候、环境和电磁波传播的模拟等。虚拟现实和三维模拟是数码城市表现的主要形式。在虚拟技术的支持下,赛博空间代替了传统的抽象地图以及用来解释、分析和讨论设计思想及城市进展的描述性文件,而以生动的图片展现在用户眼前。设计者展示在人们面前的是设计结果明确的照片纹理信息,在此可以看到设计后的城市面貌。照片纹理的三维城市模型更便于理解,使人们能识别特定的元素并能根据空间位置和比例尺的大小来调整视线。虚拟技术使得展现在人们面前的是栩栩如

生的三维城市模型,克服了设计者和观测者之间的空间文化差异,并为人类观察自然、欣赏景观、了解实体提供了身临其境的感觉。

4 数码城市的应用

数码城市的一个主要应用就是在城市规划和设计中。数码城市与城市规划主要有两方面的联系,一方面就是利用万维网 WWW 描绘城市规划。假如大多数公民能访问因特网,他们就可以提供城市规划设计图信息,从而可参与城市规划的公共讨论。事实上,许多政府和市政当局已经把设计信息和相关标准公布在网上。利用数码城市,城市规划者可以根据自己的视觉习惯来创建城市。计算机的模拟使用户能自由“幻想”空间。虚拟技术使城市规划变得灵活,在规划的不同阶段可以对其进行调整。利用它可以很方便地对各类空间信息进行分析,短时间内就可知道城市的密度和分布情况,城市园林的空间分析并研究其与建筑物的关系和城市生态环境的影响,模拟城市的环境污染,分析建筑物之间的间隔等。另一方面,可以把数码城市当作城市空间的新形式及对它的设计和创建过程的贡献。数码城市由电子信息数据组成,在计算机网络里组织和保存这些数据。描述表面和拓扑信息的结构通过服务器上载到网络上,不像真实城市那样,变换以后就没有信息保留下来,数码城市的数据可以永远被保存着,而且容易更新和维护,便于设计者比较不同设计阶段的模型,从而为设计者提供了一个更加灵活可靠的工具。

数码城市为用户提供了各种各样的信息。旅游者可以通过计算机访问自己感兴趣的城市,点击主页上的地名进入相关站点,可以了解城市的名胜古迹、旅游路线、交通信息等。更详细的数码城市允许用户“参观”旅馆的房间。总之,数码城市为用户提供了身临其境的感觉。图 1 至图 3 为数码城市应用的一个范例(网上的二维站点提供了不同层次的图片资料)。图 2 中,点击“Residential Dstret”可进入赛博空间的居民区,点击相应名称可继续进入。

三维城市模型最先用在电话公司的规划设计中,现在已经扩展到了军事、微气候研究、空气污染分析、无线电公司的定位设计、无线电信号传播、噪音传播分析和社会生态研究等领域。在深圳,数码城市正在与房地产信息系统结合。



图 1 WWW 上的一个数码城市主页
Fig. 1 A CyberCity Homepage in the WWW

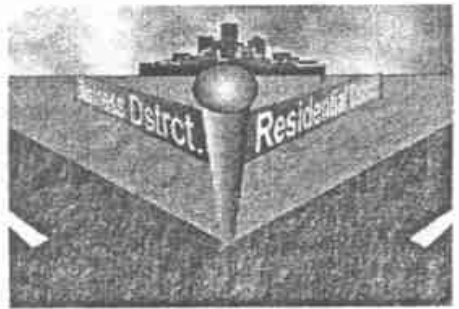


图 2 点击“Business Dstret”进入图 3 所示的商业区
Fig. 2 Click the BD to Enter the Business District Shown in Fig. 3



图 3 赛博空间的商业区,点击相应名称可继续深入
Fig. 3 The Business District in CyberSpace, Click the Name and Enter It

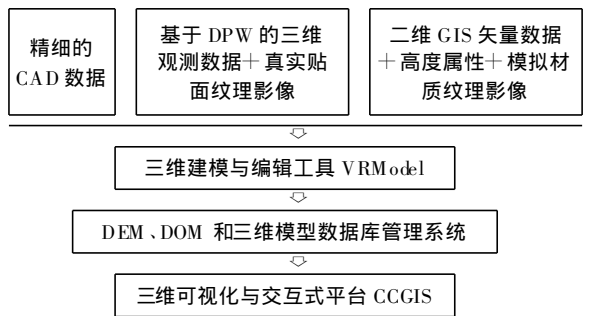
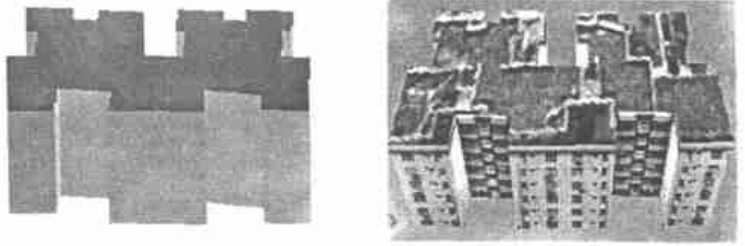


图 4 CCGIS 的数据流程
Fig. 4 The Data Flow Chart of CCGIS

5 CCGIS 软件及其应用

CCGIS 是 GeoStar 自主版权基础地理信息系统软件的后继新产品, 专门为数码城市建设而研究开发。该软件的主要特点是基于数字摄影测量工作站 DPW 采集的城市三维编码数据、GIS 数据、CAD 数据等自动建立的三维城市模型, 具有大范围海量城市数据三库 (DEM + DOM + DLG) 一体化管理和无缝三维实时漫游功能, 并包容和拓展了常规 GIS 独具特色的空间多媒体信息查询、表示、分析和决策等功能。图 4 所示为 CCGIS 的数据流程, 图 5 至图 7 为用该系统建设数字上海和数字深圳示范小区的部分图示。图 5 中, 图 5(a)为自动重建的三维几何模型; 图 5(b)为关联并精确配准各侧面纹理属性后的三维建筑物模型。图 8 为“种植了树”后的虚拟武测校园景观。

如图 5 所示, 为了描述一个建筑物各部分细微的几何形状, 往往需要采集若干数据点并生成几十甚至上百个基本面。这些数据的采集特别是顶部数据的获取往往通过航空摄影测量或遥感的方式。要进一步表达各个表面的材质或纹理特征, 还需要补充大量的影像数据。这些材质纹理数据除了用一定算法自动模拟外, 大量的还要从影像特别是地面摄影资料中获取, 以使得真实感更强, 这将大大增加数据量。如图 6 所示的一个标准物业小区, 共有 187 栋大小形状各异的建筑物, 含有 5 000 多个多边形表面。利用 JX-4A 数字摄影测量工作站采集 1m 精度(能够表达阳台这样的特征)的几何编码数据只要半个人天的工作量(根据三维重建的需要和 DPW 工作特点, 专门设计了恰当的分类编码规则, 把各种复杂的建筑设施分解为 4 大体元如平顶、特殊顶、房中房和球, 保证了数据采集的效率和建模的完整性及准确性), 根据这些测量数据可以在几秒内自动建立如图 5(a)所示的三维几何模型。通过野外实拍建筑物侧面的纹理影像和进一步的编辑处理, 最终便可以得到逼真的



(a) (b)
图 5 建筑物三维建模与属性关联

Fig. 5 The 3D Modeling and Texture Mapping of Buildings



图 6 深圳数码小区

Fig. 6 The Pilot District of CyberShenzhen



图 7 数码上海与三维电子地图

Fig. 7 The Pilot District of CyberShanghai and Its Application



图 8 场景布置

Fig. 8 The Campus Virtual Roadscape after Laying Some Trees

城市模型。

特别地, 根据不同细节层次 LOD 的需要, CCGIS 可以分别采用不同的数据源和建模策略重建三维建筑物模型。比如, 根据 DEM 重建逼真的地形表面形态, 通过叠加正射影像数据生成真实感很强的虚拟景观。形状复杂且有重大意义的建筑物直接使用数字摄影测量工作站如 JX-4A 采集的三维编码数据自动建立三维模型; 建筑物表面纹理特征则利用数码相机实地拍摄影像获

得;一般形状和普通建筑物则可以根据传统二维线划数据如GIS中的DLG和相应的高度属性进行三维重建;表面纹理则可以采用纹理材质数据库中的简单数据直接生成。CCGIS的三维建模和编辑工具不仅能完成上述建筑物三维模型的自动重建,还能对任意三维目标进行各种编辑操作,如改变几何形状、关联不同的属性与纹理、增加和删除不同类型(点、线、面、体)的实体等。特别是基于TIN的方法对复杂建筑物顶部(如凹型、球型)的自动处理,该系统具有独特优势。为了增强整个虚拟场景的真实感,系统采用简化方法进行实体(如树木、路标、广告牌等)布设,数据结构简单,操作简便,处理迅捷,而且图形视觉效果也不错,这为逼真模拟其他各种场景提供了很好的思路。

建立具有真实感的建筑物模型只是完成了数码城市建设中的重要一步。如此复杂、庞大的数据还必须进行有效的组织和管理,并提供各种有益的应用。CCGIS在GeoStar管理二维数据的技术基础上发展了处理真三维数据的能力,在空间索引、透视空间的数据选取与裁剪、数据分段处理、动态装载、多线程技术应用和实时动画等方面进行了有效的探索,并提出了初步的解决方案,已经能够实现三维电子地图的快速浏览和多媒体信息查询。CCGIS正在海量数据管理、多维动态可视化和分析决策支持等方面继续深入地研究。

参 考 文 献

- 1 Shiode N. An Outlook for Urban Planning in CyberSpace; Toward the Construction of CyberCities with

the Application of Unique Characteristics of CyberSpace. <http://www.caca.ucl.ac.uk/planning/articles/urban.htm>

- 2 Chesher C. Colonizing Virtual Reality: Construction of the Discourse of Virtual Reality, 1984 ~ 1992. <http://english-server.hss.cmu.edu/cultronix/chester>
- 3 Kofler M, Rehatschek H, Gruber M. Institute for Computer Graphics Graz Technical University Austria. <http://www.hyperwave.de/o0x811bc92d-0x0000a0ee>
- 4 Wolf M. Photogrammetric Data Capture and Calculation for 3D City Model. 47th Photogrammetric Week, Stuttgart, 1999
- 5 Danahy J. Visualization Data Needs in Urban Environmental Planning and Design. 47th Photogrammetric Week, Stuttgart, 1999
- 6 Gruber M. Managing Large 3D Urban Databases. 47th Photogrammetric Week, Stuttgart, 1997
- 7 Brenner C. Interactive Modelling Tools for 3D Building Reconstruction. 47th Photogrammetric Week, Stuttgart, 1999
- 8 李德仁, 关泽群. 空间信息系统的集成与实现. 武汉: 武汉测绘科技大学出版社, 2000
- 9 李志林, 朱 庆. 数字高程模型. 武汉: 武汉测绘科技大学出版社, 2000

李德仁, 男, 60岁, 教授, 博士生导师, 中国科学院院士, 中国工程院院士, 欧亚科学院院士。主要从事以遥感、全球定位系统和地理信息系统为代表的空间信息科学与技术的科研和教学工作。代表成果: 高精度摄影测量定位理论与方法, GPS空中三角测量, SPOT卫星像片解析处理, 数学形态学及其在测量数据库中的应用, 面向对象的GIS理论与技术, 影像理解及像片自动解译以及多媒体通信等。已发表论文220余篇。

E-mail: dli@wtusm.edu.cn

CyberCity: Concepts, Technique Support and Typical Applications

LI Deren¹ ZHU Qing² LI Xiafei²

(1 Presidential Secretariat, WTUSM, 129 Luoyu Road, Wuhan, China, 430079)

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

Abstract The need for 3D city reconstruction is obvious, so there is a big demand for this very special data coming from city planners, architects, electrical engineers and telecommunication people, and last not least from tourists. With the invention of the World Wide Web (WWW) data of all kind are made accessible to everybody who is linked to a WWW Server. The WWW is an information discovery system for browsing and searching the Internet WWW of digital information. At

(下转第311页)

done on the GIS data directly. The data are stored hierarchically according to the precision of distinguishing. Simple objects are aggregated into complex objects. The index tree depicts the relationship of aggregation, and the index pictures using 2D strings depict the topology structure of the objects. The concepts of surrounding and region are expressed clearly, so the semantic content of the landscape can be depicted well. All the factors that affect the recognition of the objects are depicted in the factor space. The factor space provides a uniform knowledge node and index node are integrated into one node. This feature enhances the ability of system in knowledge expressing, intelligent inference and association. The database structure benefits using the information of GIS for the interpretation of remotely sensed image.

Key words integration of RS with GIS; database structure for integration of RS with GIS; object-oriented; semantic-oriented; expert system; spatial data mining

YU Nenghai male, 35, Ph. D candidate, associate professor. His current research interests include remote sensing image processing and pattern recognition the integration on RS with GIS, and multimedia technology. His typical achievement is GIS on geophysical exploring.

Email: yrh@ustc.edu.cn

(上接第 288 页)

the mean time, there are many comments about the needed evolution of current day tools like GIS that are used to integrate the collection, storage, retrieval, manipulation and display of spatial data.

In this paper, the concepts about the CyberCity and the corresponding technique supports and typical applications are introduced. CCGIS, the GIS for CyberCity, is developed by WTUSM in China. By means of CCGIS, the 3D city model based on DPW, CAD or GIS data can be created semi-automatically, and the multitypes databases can also be seamlessly integrated. CCGIS includes not only most of the traditional GIS functions like spatial query, multimedia expression, but also the real-time 3D animation, and so on. As the pilot projects, the applications of CCGIS softw are in CyberShenzhen and CyberShanghai are also presented. At last, some of key technologies such as the reconstruction of 3D city model, vast amount of data integration and its real-time application of 3D animation are discussed.

Key words CyberSpace; CyberCity; GIS; virtual reality

LI Deren male, 60, professor, Ph. D supervisor, member of the Chinese Academy of Sciences, member of the Chinese Academy of Engineering, member of the Euro-Asia International Academy of Sciences. He is concentrated on the research and education in spatial information science and technology represented by remote sensing (RS), global positioning system (GPS) and geographic information system (GIS). He has made unique and original contribution in the areas of theories and methods for high precision photogrammetric positioning, GPS aerotriangulation, analysis and processing of SPOT imagery, mathematical morphology and its application in spatial databases, theories of object-oriented GIS image understanding and automatic photointerpretation, multi-media communication and mobile mapping systems etc. The research findings have promoted the progress of the technology directly and are being turned into products. His published papers are more than 220.

Email: dli@wtusm.edu.cn