

文章编号: 1007-4619(2006)03-0397-12

用路途全景图增强地理信息系统的可视性

郑 绛 宇

(印地安那 普渡大学印地城分校, 美国)

摘 要: 介绍了用路途全景图(Route panoram a)组成道路网并融入地理信息系统的研究成果。为提供比道路地图更为详尽的景观信息,本文用路途全景图建立了一个可漫步的虚拟城市。路途全景图具有数据量小,形式连续,街道覆盖完全,高效采集和易于扩充等特色,可作为一个沿街建筑物和设施的图像索引。研究了获取街道景观的扫描系统,对一市区街道进行完全扫描,并对路途全景图进行信息检索。与利用 3 维图形建立城市模型相比,路途全景图能在因特网上实时传送,并在大区域内作连续的可视导航。其结果可应用于虚拟旅行、城市导引、历史研究、古迹保护、风土和生活方式记录以及灾害应急控制等。

关键词: 路途全景图; 地理信息系统; 城市虚拟漫游; 网络流媒体

中图分类号: P208

文献标识码: A

Enhance Visualization in GIS with Route Panoramas

ZHENG Jiang-yu

(Indiana University Purdue University Indianapolis(IUPUI), USA)

Abstract This paper explores the route panorama and its integration with geographic information system for a visual indexing of a route and city. A more detailed layer than a road map in GIS systems associated with real cityscapes is introduced and implemented. Sequential route panoramas with small amount of data, continuous coverage of route scenes are acquired along all streets in an urban area. We construct an Internet based virtual city for free navigation in the area. Different visualization approaches realize fast streaming of visual data over the Internet and dynamic rendering of scenes in respond to viewer's interaction. The integration of the route panorama with the GIS provides a visual index for discovery and retrieval of the information related to cities and geographic spaces. The applications of the route panorama are applied to city navigation, scene archiving, virtual tour, modeling and simulation, georeferencing, etc.

Key words route panorama; GIS; city navigation; Internet media

1 引 言

当今广泛应用的地理信息系统能够提供城市道路的信息。然而,要显示更为详细的景观仍有很大困难。尤其要在因特网上建立一个可视的、交互自

由的虚拟城市,并在车内显示屏、便携终端甚至手机上提供连续的漫游,这仍然是一个挑战^[1]。它会遇到如网络带宽、终端性能、软件不一、存储容量不足等的困难^[2]。为此必须寻求一种新的思路。路途全景图^[3]是可以达到这个目标的一种流媒体。它连续采集街道侧面的景物,以提供沿街连续伸展

收稿日期: 2005-04-08; 修订日期: 2005-06-20

作者简介: 郑绛宇,男,1983年复旦大学计算机系毕业并获学士学位。1987年和1990年在日本大阪大学基础工学院系统和控制专业分别获得硕士和博士学位。1990—1993年在日本 ATR 通信研究所(Advanced Telecommunication Research Institute)工作,1994—2001年在日本九州工业大学信息工程学院任副教授。现任美国印地安那 普渡大学印地城分校(Indiana University Purdue University Indianapolis)计算机科学系副教授。已发表论文 80 篇。曾因发明数字全方位图像获 1991 年日本信息处理学会(Japan Information Processing Society)研究奖。现在研究领域包括图像处理、计算机视觉、多媒体、计算机图形学、虚拟现实和数字图书馆。E-mail: jzheng@cs.iupui.edu

的视图^[4,5]。由于路途全景图的数据紧凑,采集和描述的范围可大大扩展,用作虚拟导航会比 3 维几何模型更具真实性^[6]。

本项目对一个市区中的街道进行扫描。车载的摄像机摄取侧面的连续图像,经过图像处理,从中抽取高度压缩的路途全景图,它提供了航空图像所不能包括的地面视角^[7,8]。从投影的角度而论,它是一种既有别于照片的透视投影,也有别于航空摄影所采用的正交投影,称为平行透视投影的特殊投影^[9]。它并非通过镜头瞬间成像,而是由移动瞬间的细小的图像线连结而成。因此,路途全景图和摄像机的移动轨迹高度相关。车辆位置由 GPS 记录,完成图像与地图的一一对应。

本文给出了二维路途全景图与地图位置连动的各种显示方式。例如,局部景色的滚动显示和包含两侧景观的宽屏动态显示。这些伪三维方式的显示可简洁快速地实现景观的查询、观察,并随之移动、漫游城市。由于路途全景图是道路景观完整的线性概括,它非常适合作为空间位置的索引。有关景观和设施的文字信息也随景物动态地显示,起到虚拟城市的信息展示功能^[10]。在此基础上,嵌入景物和设施的相关网页的链接,让访问者进一步探索。这样便能形成以视觉为基础的信息检索系统。此系统易于扩容,具有开放的软件框架,可用于汽车导航、地址查询、实地考察、商业介绍、网上游戏、房产、虚拟训练和电子游戏,它有益于教育、旅游、文化和历史的传播。

第二节描述沿街获取路途全景图的过程。第三节设计了一个在因特网上能有效地显示巡视道路的显示算法。第四节说明如何从路途全景图到城市空间,以及连接道路形成城市的可视检索系统。

2 路途全景图的连续获取

2.1 道路景观扫描机制

在构建可视虚拟城市中,本文创造了一种叫作路途全景图的媒体。路途全景图是用一个摄像机沿着一条道路移动时拍摄景物所获得的一条二维图像带。当车辆行驶在道路上时(图 1),侧向安装的摄像机获取沿街景观。在图像框架中选取一固定的采样线,计算机在输入的每一帧图像中动态拷贝采样线,并将其连续排列到另一图像内存中,便形成了像图 2 那样的路途全景图^[11]。

为了固定图像的获取方式,四轮的车辆必须行驶在水平面上,形成一平滑的轨迹。在采样方向决定后,摄像机的方向没有必要绝对水平或垂直于摄像机路径,它可以大致地安置,这就给景物扫描带来了方便。精确的扫描方向是通过校正或标定图像中的采样线来达到的,也就是图像中的采样线固定在一三维空间垂直线的投影上,以保证所有三维空间中的垂直线特征投影到路途全景图中后也是垂直的。

我们在图像中选择一条适当的采样线,保证三维空间中的垂线(例如建筑物的边缘)投影到路途全景图中仍为垂直。这意味着通过这条采样线和摄像机焦点的扫描平面在三维空间中必须是直立的。由于摄像机的光轴不能保证完全水平,导致所要的采样线在图像帧中可能是倾斜的,但这不妨碍采样满足垂直扫描的要求。在计算采样线位置时,先将车辆停在水平的路面上,然后拍摄一幅带有垂直线的图像。垂直线最好选在较为高大的建筑上。在图像中抽取垂直线的投影作为采样线即可。如果这样

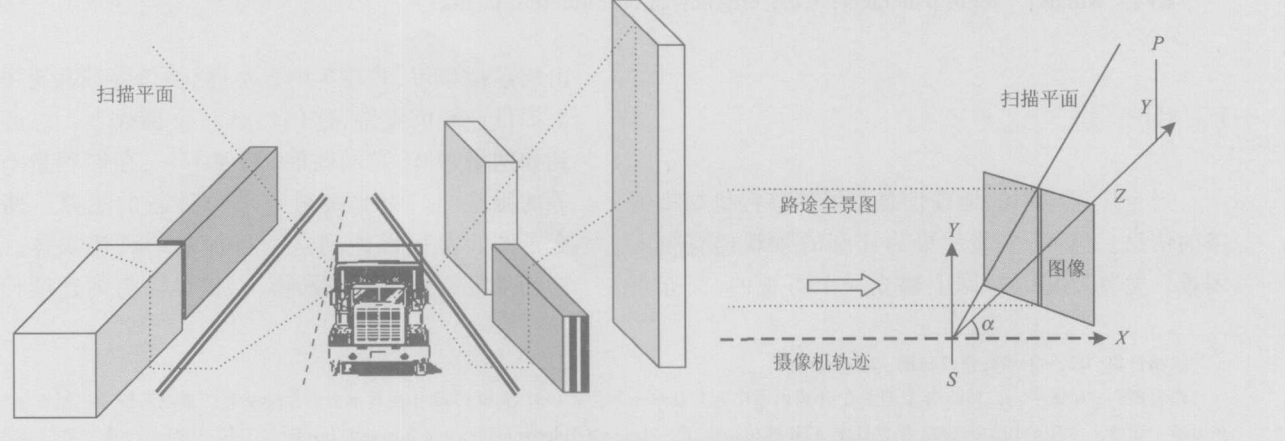


图 1 用一图像中的采样线扫描沿街景观,由视线形成的扫描平面扫过侧面的景物

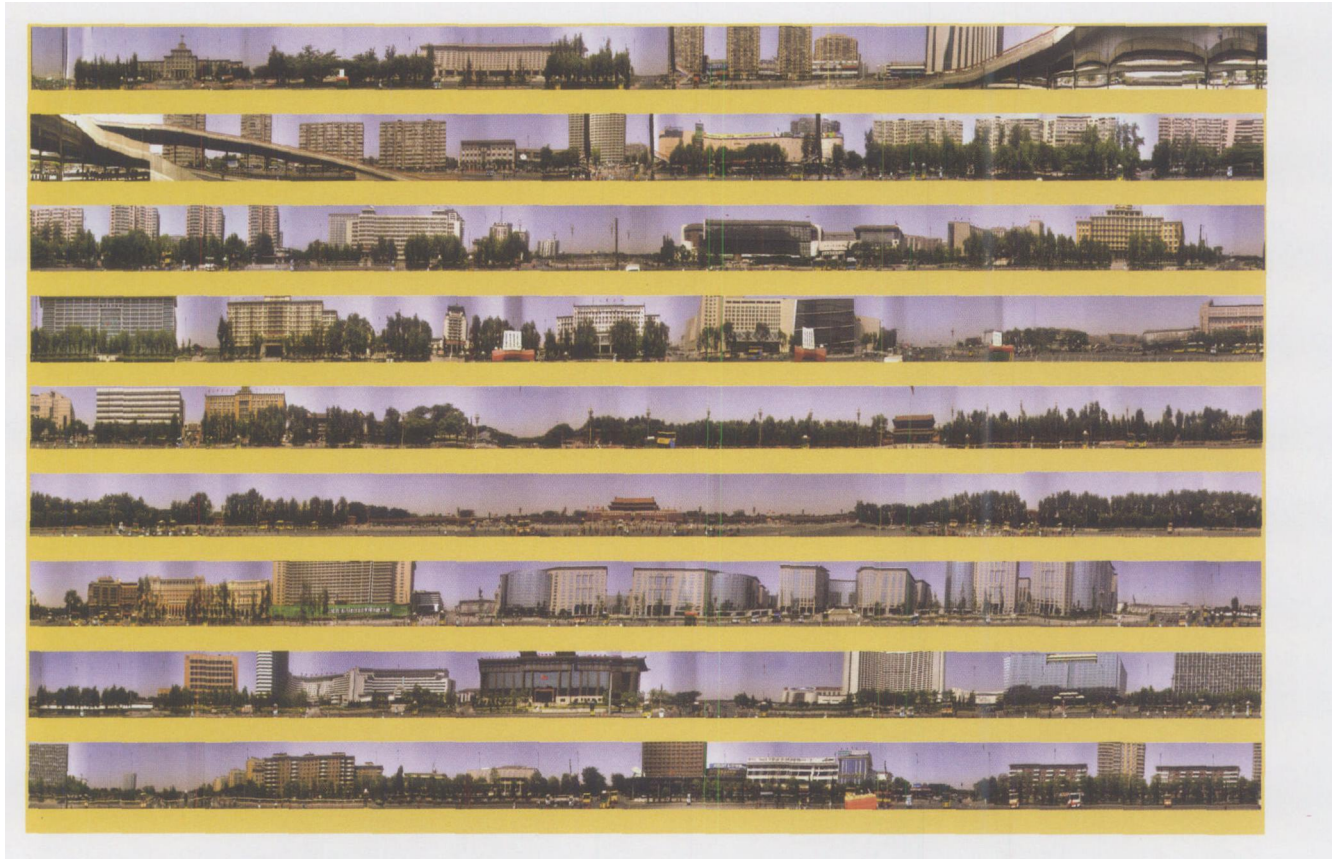


图 2 长安街北侧的路途全景图

Fig 2 North side of Chang An Blvd in route panorama

的过程由于误差在测试的录像中(路途中)的路途全景图中未能取得大量垂直线,那么根据斜线的方向微调采样线的方向便能得到理想的建筑垂直线。

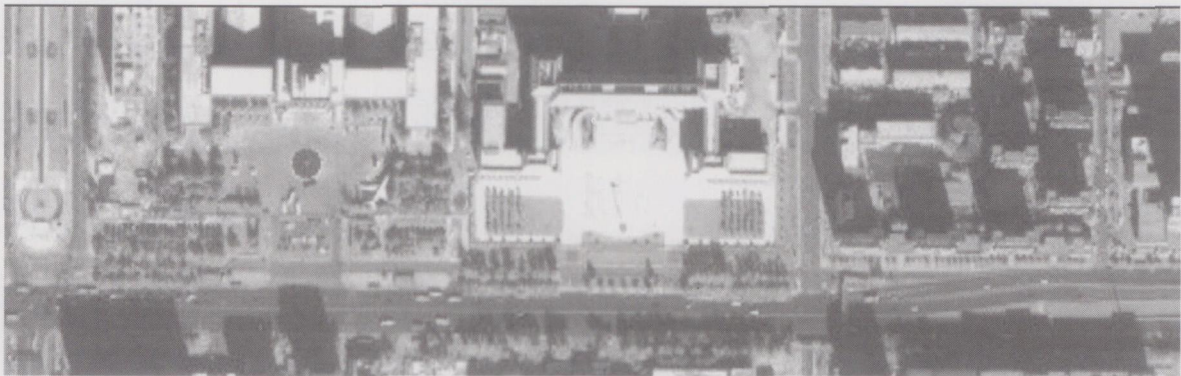
除了对采样线有方位要求外,采样线的位置是根据所期望的景物方位来决定的。例如,如果垂直的扫描平面还垂直于道路,那么它很可能与沿街的建筑物的正面直交,扫描出的路途全景图中只包含正面街景。如果扫描平面非垂直于道路,它的平行移动能扫描到建筑物的正面和某一侧面。如是则称其为侧面路途全景图。扫描平面和摄像机运动矢量之间的角度用 α 表示。图 1 说明了产生路途全景图的原理。

一旦采样线固定好,摄像机沿着道路水平面上的平滑曲线移动,在采样线上的时变图像数据即连续地被复制到另外一个内存空间中,产生二维的路途全景图。它以时间为水平轴,沿着采样线的坐标为垂直轴。产生路途全景图的过程不需要连续图像匹配,只要对车辆轨迹有较好的控制,就能得到较好质量的路途全景图。本文已经采集好几公里道路长的两侧路途全景图,它提供了沿路连续完整的景象。图 2 是长安街北侧的路途全景图像,它摄于双层公

交车,车辆行驶轨迹和车速未考虑摄像的要求,每一像素列来自不同的图像帧。和构建同样长度的三维街道模型相比,这种方法要做的工作少得多,并易于累加新的道路。

采样线上像点的采样率固定在 60—200Hz 之间。路途全景图的数据量大约是摄取同样景物的视频数据的 1/300。因为从每个视频帧只收集一根像素线。所以有可能在因特网上作为连续的流媒体传送。它的分辨率则至少是卫星图像的 10—20 倍。如果采样率低,可选用慢车速,以保持路途全景图的高分辨率。

通常汽车(摄像机)要保持恒速。对于变化的汽车速度,可根据 GPS 输出的位置信息对路途全景图进行局部地归一化处理以保持标准的尺度。在没有 GPS 帮助的情况下,可借助卫星图或较详细的地图进行伸长收缩的调节处理。具体地,可以选择卫星图中高楼的边缘、路口、屋顶、天桥等和路途全景图中的同样景物对应,然后根据卫星图中景物的长度确定路途全景图中景物的长度,最终调节了路途全景图中整个的长度。图 3 是将路途全景图和长安街的卫星图并列在一起后的比较。可以看出卫星图

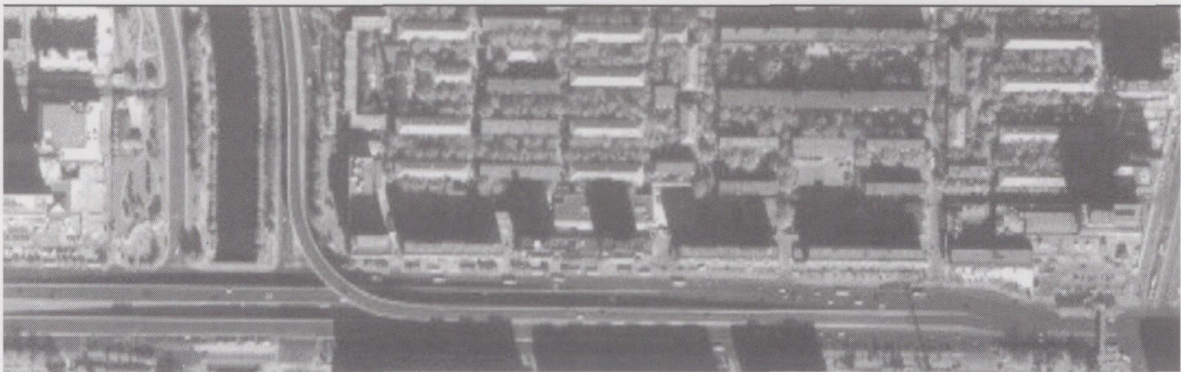


世纪坛

军事博物馆

总参

木樨地



科技会堂

复兴门桥



长庆商场



西二环

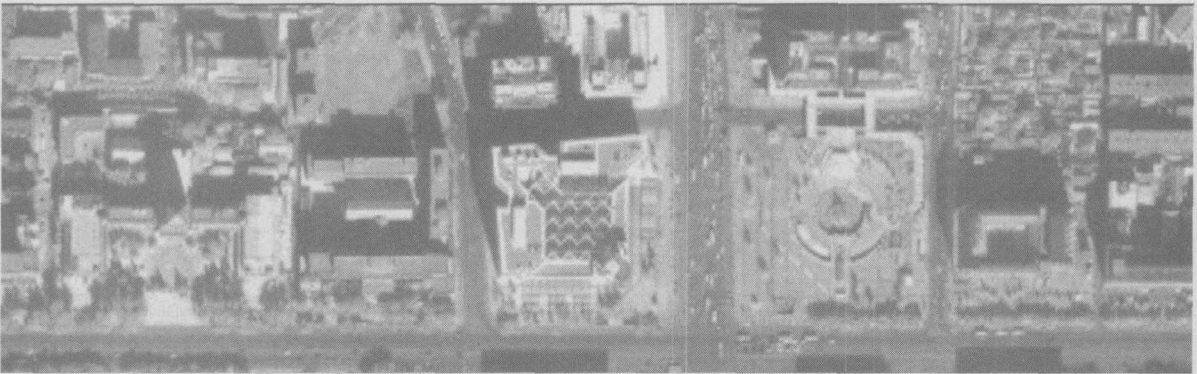
工艺美术馆

中国人民银行

北京通信公司

工商银行

民族饭店



民族文化宫

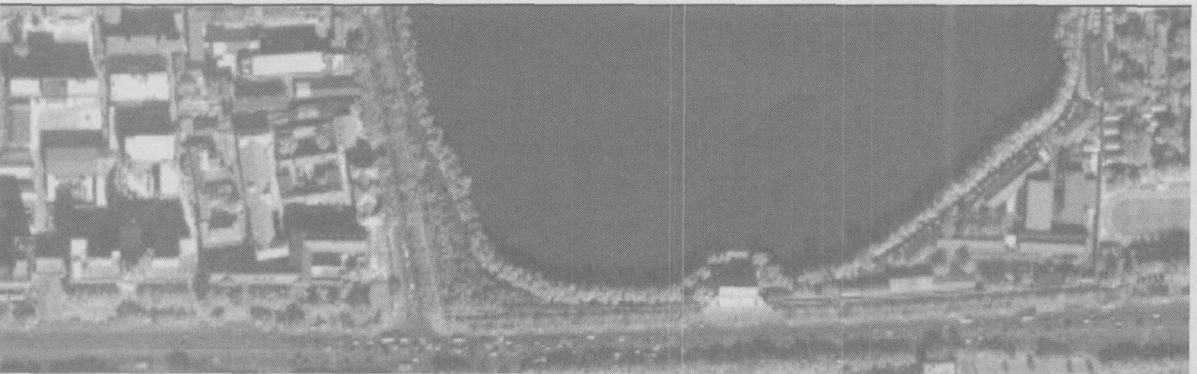
国家粮食局

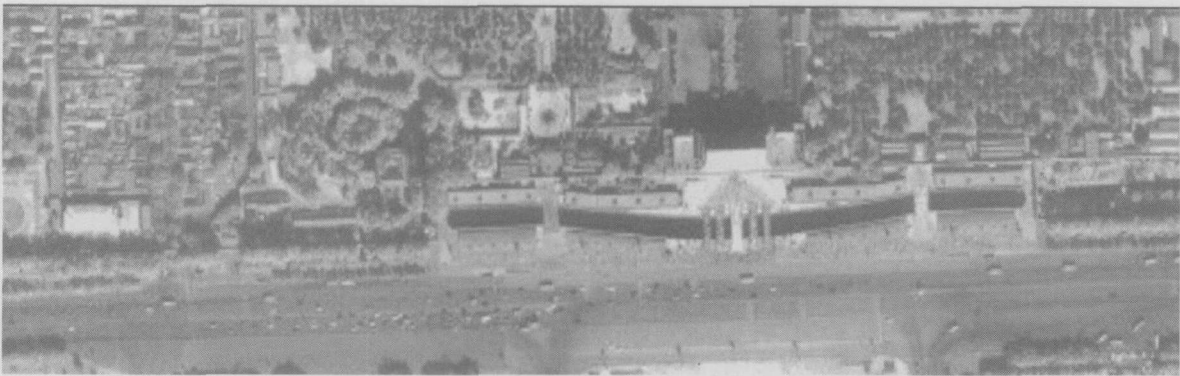
中国银行

西单

图书大厦

民航大楼





长安中学 中山公园 天安门



贵宾楼饭店 北京饭店 王府井





图 3 长安街北侧由西向东连续的路途全景图和卫星图的对比

Fig 3 Continuous route panoramas and satellite images of the Chang An Blvd in Beijing China

提供了很好的景物位置、尺度和分布,但却没有从地面上所见的直观的印象。建筑物的高度只能凭投下的阴影的长短来判断。

2 2 路途全景图的图像和形状特性

透视投影中水平和垂直尺寸都跟纵深距离有关,平行投影在两个方向上的尺寸都是绝对的,即和纵深距离无关。路途全景图包含道路一侧的景象,却使用了一种平行透视投影。在水平方向上,扫描平面之间互相平行,而扫描面内则是透视投影。路途全景图给出了景观的绝对宽度;物体在图中的水平尺寸正比于它们实际的三维宽度,和物体的纵深距离无关。而在垂直方向上,透视投影使物体的尺寸和纵深有关。由此,一个远距离的物体比同样高度的近的物体在路途全景图中成的像要低,远处物体要比透视投影中的像,在水平方向上拉得更长。这个拉长造成远处物体在路途全景图中水平方向上的模糊,称为静态模糊。静态模糊是相对于一般照相机移动时,近处物体造成图像的运动模糊来说的。路途全景图与视频图像相比,几乎很少或没有运动模糊。

汽车在不平的道路上摇晃会扰乱场景扫描。摄像机会产生不必要的旋转运动,包括前倾后仰和左右摇摆。左右摇晃可通过使用较长的车辆来减轻,因为轮距长时前后轮单边的上下震动造成的车辆旋转较小。而摄像机的前后颠簸源于车辆的左右摇

晃,它使路途全景图中的结构线呈之字形震荡或平缓的波动。震荡来源于车辆的振动,波动是路面倾斜所致。文献 [12]开发了一种算法,可在一定程度上校正路途全景图中的结构线,使它笔直光滑。这个算法提取出路途全景图中的非垂直边缘,并用中值滤波器滤出它平滑的垂直位置。但此算法只能解决行驶比较平稳的车辆所获得的路途全景图。如果车辆偏转厉害,震动剧烈,而景观中又无明显的可作参考的水平结构线,那么路途全景图的质量就难以保证。长安街的图像可为此例,尽管本文的算法已将楼房拉平,但下部的路面部分则无法完整的恢复。相反,若有了一个稳定的摄像机安置装置和稳定的驾驶,图像的质量会有相当的改观。图 4 显示了一幅较完好的图像的片段。

3 路途全景图的动态显示

路途全景图因为数据紧凑,可以在屏幕上实时滚动,并给观看者提供许多交互功能。虽然路途全景图的显示没有纵深感,也没有运动视差,但是观看者可观察沿路的景物。当景物的位置和观察方向被同步地显示在相邻的地图上时。观看者的空间感知能力会大大增强。

路途全景图本身可被截成图像片段,存在图像数据库中,路途全景图可以建成图像和街道两部分的索引。观看者位置前方的部分图像通过网络被传

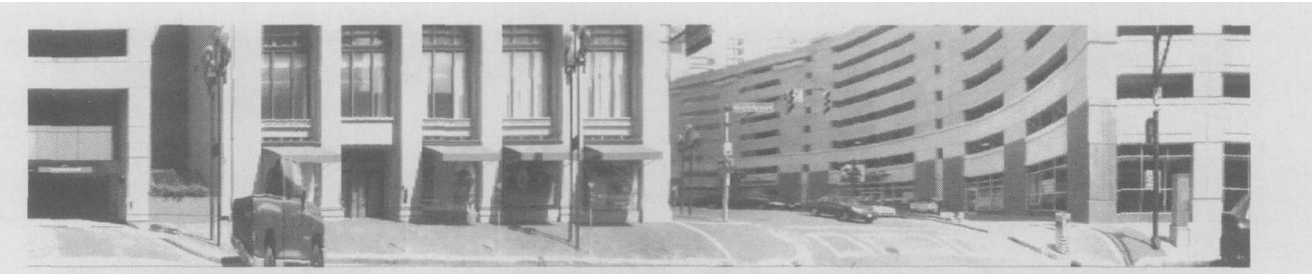


图 4 平稳地扫描所获得的较高质量的路途全景图

Fig 4 High quality route panorama obtained by a smooth move of the vehicle

送至缓存中。任何时刻,缓存中至少有 3 段道路的图像,作为一种流媒体在网上边传输边显示。当观看者选择向左或右(向前或后)移动后,除当今显示的图像外,后续的图像片段随之被传送至显示终端,和当今图像无缝拼接,完成动态移动。这样的过程不断地将图像片段实时传输,从而实现在因特网上的流媒体方式的显示。当路途全景图被分割成 JPG 图像段后,本文测试的最高互联网络传输速度为 500 线 /s 能够飞快地更新图像,显示时的速度是车辆行驶时的感觉。一般网络也能达到一个新的水平,200 线 /s 无线网也能达到这一速度。如果网络传送速度不够,观看者可以将速度降至更低的步行速度。这样的速度对未来的手机和掌上电脑来说也是可能的。于是,路途全景图还能成为随身携带的指路仪,根据掌上电脑所带的 GPS 装置显示当地的景观。

为了增强临场感,本文设计了一种在同一平面上同时显示两侧图像全景图的方法。这是一种 360°的全景显示,如果投影在环形的大屏幕上会更为合适。即使在普通的平面屏幕上,也能让观看者眼观八方(图 5)。具体步骤如下:

(1) 360°的全方位的背景图:如图 6 所示,这种

显示包含一个 360°的全方位的背景图 (panoramic view),它可以是天空的图像或从某一高处拍摄的 360°全方位图,这样的背景中会包括一些高地标。因为这些高地标是在远处,当一个观看者沿着街道行进时,它比近处的道路景物移动得少,在前后行进时不必象近处路途全景图那样不断变化。即使这样,远处的地标和路途全景图中显示的近景相比,仍为较小的尺寸。

(2) 路途全景图的移动:每个瞬时都要在背景图像之上呈现路途全景图。所有路途全景图的天空部分都被切除或被设为透明,将两侧的道路全景图变形后覆盖在背景图上,背景就能透过较低的景观显露出来。路途全景图的变形原理上遵从以下的变换:先将观察者周围一定长度的路途全景图像投射到一定宽度的垂直高墙上,然后将高墙的景色映射到圆柱形的屏幕上,图 7 是其展开后的样子。全方位图像和路途全景图的地平线对准后重叠显示。街道的虚拟宽度一经选定,路途全景图中的水平线条(原本在三维空间中和道路平行的建筑或道路结构线)映射成了以方位角为自变量的正弦曲线,而路途全景图中的三维垂线仍然映射成垂直的线段。

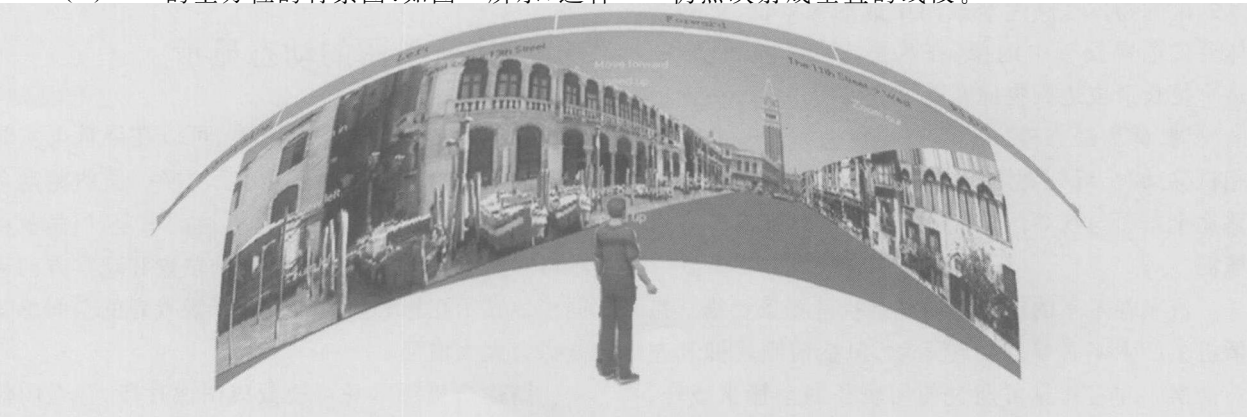


图 5 融合全方位背景和路途全景图的半边方位显示

Fig 5 Panoramic traversing window

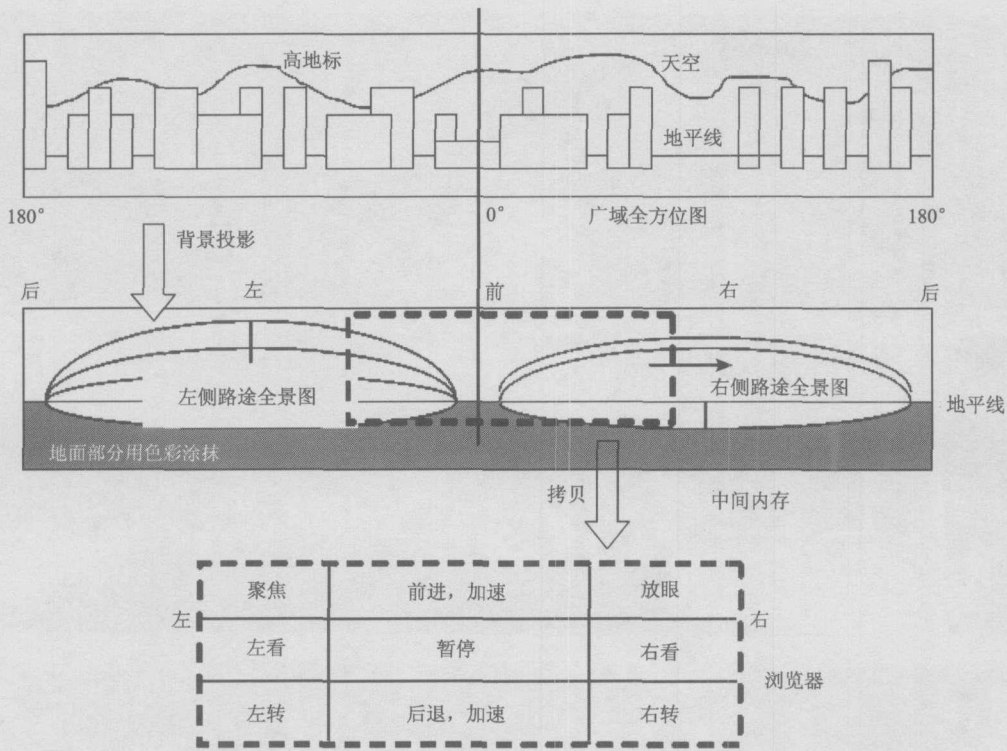


图 6 全景巡游视窗的显示

Fig 6 Display of a traversing window

(3) 视窗的选择:在此基础上,一个跨度最大为 180° 的视窗切割一部分的景物显示于屏幕上。通过这个视窗的移动,能够实现观察方向的变换。而视窗的放缩则实现了景物的聚放焦。这样的图像显示保证快速、恒定的计算速度,在 PC 屏幕上可显示的最高速度几乎达到火车速度。因此,视窗中景物的光流在宽视野中由远至近,物体移近时具有真实的光流方向。只是不能提供准确的物体移动量,因为它取决于物体的深度信息。

为了将路途全景图和全方位图像结合起来,本文设置路途全景图中的天空为透明,这样在路途全景图中建筑物顶上可以看到背景。如果没有全局全景图像,一个变通的办法是放一个不变的背景来演示随车的景物,它产生的视觉效果如同一“敞篷客车”,此方法还能增加显示的计算速度。街道的移动显示还可以用高等级的图形卡加速。

由于路途全景图并未记录三维信息,所以这样的显示方法并非完整的景观显示。路途全景图是侧面获得的正确图像,如果我们将路途两侧的景色压缩显示在一向前的透视投影的视窗内,势必造成视觉上的变形,所以采用全方位显示,至少可保证侧面扫描获得的图像能显示成其原有的形状。当然,由

于前方图像并未真正获得,尽管在沿街向前的方向上合成了背景图像,仍不可避免地发生了景物的变形。虽然这样的显示有不完美之处,但是它不需要三维测量和构筑模型,扫描后能快速显示。而且景物的基本形体(有别于透视投影),整体景观的连续性都被保存了下来。

除了景观的显示外,本文还提供了多种交互方式。包括地面行走所需的前移或后移(多次点击会加速),左看或右看,左转或右转(进入左边或右边的建筑物或街道),放大和缩小以及停止。这些动态控制由屏面中设置的分区点击来实现,以模拟观看者在街道上的运动,街道转换和进出临街的设施。随着移动,道路上的坐标 S 相应地更新。

有关相邻街道、建筑物和设施的文字信息(百货商店,戏院,博物馆,公司名等)和动态信息(旅店,停车场的空位数)也被一并显示在窗口中,以实现虚拟广告和动态查询。在左转或右转区域上点击,显示会快速转到一个建筑物并跳出另一相关的网页供进一步访问。视窗则停在所访问的设施门口。如果转弯到相邻的街道,所有的图像切换到新的道路,在那里继续行进。



图 7 视窗显示两侧的路途全景图

Fig 7 Traversing windows with two side route panoramas

4 以路途全景图为索引的城市信息

路途全景图提供了一个独特的检索方式——即图像到空间的线性索引,而线性道路空间之间也能转换,或根据地图直接进入。这种索引是连续可视的,它比用文本索引更直观,比地图或航空图像所提供的二维索引更清晰生动。可以将路途全景图中的建筑物或场景链接到相应的内部空间。这些链接也可可是已有的网页,于是许多与城市有关的功能可以在这样一个虚拟空间中观察到。

城市信息显示时,附有观看者到达的位置,有关场景的名字,相邻街道的链接,交叉口,建筑物和风景区的信息。如果在路途全景图中有一种物体 O_k ,它沿着道路所占范围的坐标 $[s_k, e_k]$ 也被记录。如果观察者的行走位置 $S \in [s_k, e_k]$, O_k 的信息就被显示了。如 S 移出了这个范围,相关信息就在视窗中

关闭。用作 O_k 的索引数据是

道路 $R_i \rightarrow \{ \text{物体 } O_k \mid k \in \{1, 2, 3, \dots\} \}$

物体 $O_k = (\text{所在图像段号}, \text{范围坐标 } [s_k, e_k], \text{景物名}, \text{景物介绍文字}, \text{外接链接 URL})$ 。而对于二维地图或航空照片中的建筑或场景 $B_j, j=1, 2, 3, \dots$,除了它们的地图坐标外,还包括在临近的路途全景图中的物体名,

建筑 $B_j \rightarrow \{ \text{物体地理坐标 } (x, y), (\text{可视街道 } R_i, \text{街道侧面}, O_{ik}) \mid i=1, 2, 3, \dots \}$

显示的软件引擎在分析索引数据后能够从参观者的行进方向中识别街道的侧面,并显示临近的物体。当观察者选择地图上的某一位置时,软件引擎能联系上临近的一条道路,并将路途全景图下载,显示在城市游历视窗内。

本文的虚拟城市是可扩展的,因为它很容易将一条新的路连在已有的道路网的交叉点上。用户现在可以从一条路行进到另一条路,在十字路口点击

以切换到另一条街。道路的连接安排成相邻的表格,即

$$R_i \rightarrow \{(R_j, p_{ij}) \mid j \in N\}$$

这里的 p_{ij} 是第 i 条连到第 j 条路的位置。除了沿道路可以连续显示景观外,还准备了在街道交叉点上的道路连接机制。两条道路之间的交叉点用 $C_n, n=0, 1, 2, \dots$ 表示。

$$C_n = \{(R_j, p_k) \mid j \in 1, 2, \dots\}$$

这里 p_k 是连到交叉点的第 i 条路途全景图的水平位

置。当观察者行进到距离 S 时,程序检察可转的街道。如果可以转弯且观察者点击转弯,显示就经历一旋转、放大、切换、继续行进的过程。

将路途全景图和一个大城市地图结合起来,即可以提供强大的城市漫游功能。图 8 表示一个可在网上接入的真实城区的虚拟空间,扫描了 30 条街道,生成了路途全景图,构建了一个虚拟校园。观看者可以通过地图点击或通过街道景观索引进入这个空间。

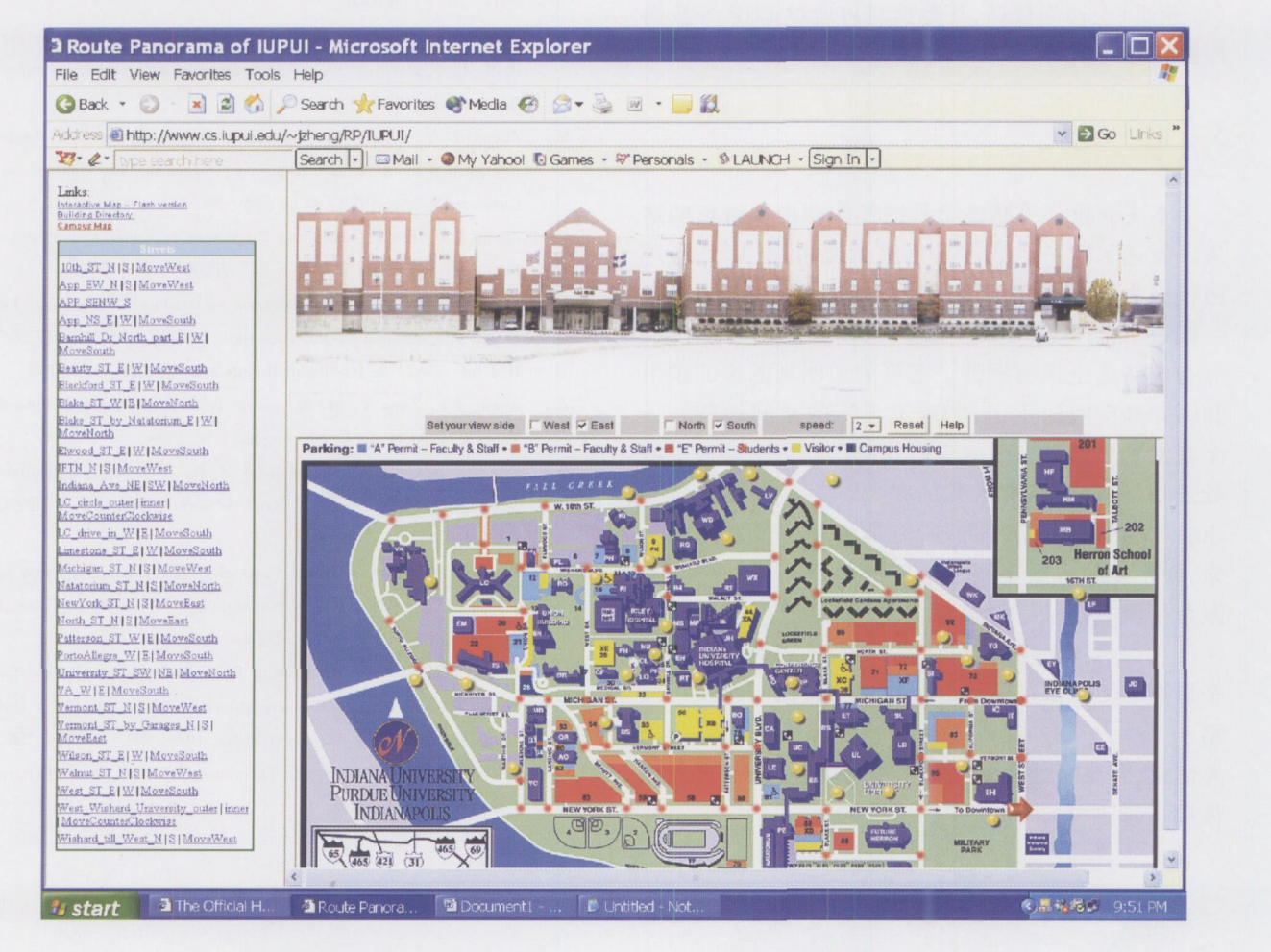


图 8 一校园的空间和视觉景观。景观,地图,文字连动以增强观察者的空间感知能力

Fig 8 A visible campus View, map and text are synchronized to enhance the perception of spaces

(1)用地图道路的索引:观看者可选择任一道路所要观察的任一侧,进行任意速度的虚拟行走。观看者的位置和方向由箭头同步显示在地图中,而所见的景观则在视窗中滑动。观看者可以连续不断选择下一个十字路口(图 8 中红点),以进行对某一路径的连续可视巡游。另外,在地图上用黄色球标志的位置上点击,就可以显示道路以外的全方位图像。这样一来密集的视觉图像的提供使得许多城市

访问功能可以在网上实现。

(2)用文字的索引:当然还可提供道路的文字检索(图 8 中左栏所示),查找一街道,便能连续漫游此街道的景观。

(3)用路途全景图的索引:点击正在显示的路途全景图,可实施路途转换,或进入另一空间,以实现基于图像的导航。

(4)对于虚拟行走过的路段可以保存,过后重

放或寄给他人,用于指路。

我们从汽车、船、火车上采集路途全景图以构建一个虚拟的城镇。除了这校园,还扫描了一些城市的街道。路途全景图的演示和检索是用 JAVA 程序实现的,可以显示在 PC 和移动便携式的终端上。一般 PC 上的屏面刷新率根据 CPU 的不同速度可达 5—10 次 /s。如果 PC 带有图像硬卡,则可使用预先编译过的程序,以达到高于录像频率的平滑的显示效果。显示终端从一存放大量路途全景图的网站(服务器)上得到数据,其他信息可通过 PHP 等数据库链接程序获得。

5 结 论

本文介绍了将路途全景图延伸到虚拟城市的结果。叙述了在一个城市采集路途全景图,以及通过因特网为城市虚拟漫游的图像演示。这样的图像在一区域中被广泛遍及地摄取,供用户对任意地点的寻查。路途全景图提供了密集的地图到图像的索引和图像到空间的索引,实现了灵活的空间访问。一个观察者可通过呈现的全方位图像在虚拟环境中四处走动,获得对真实景致的印象。为了生成虚拟城市,本文扫描了一校园的所有街道并构筑了网上检索,使所提的方法得到了一定的验证。本方法的局限在于没有记录三维纵深信息,故不能投影回到通常使用的透视图像进行显示。今后的课题是将路途全景图和卫星高度图融合以提供完整的三维城市模型。另外,车辆的振动也是影响图像质量的一个重要因素,将来可使用更加稳定的车辆或加入减震摄像机进行改善。

参 考 文 献 (References)

[1] Yoyama K, Logan R, Roseway A, et al Geographic Location Tags on Digital Images [A]. ACM Multimedia Conference [C]. 2003

[2] Kawanishi T, Yamazawa K, Iwasa H, et al Generation of High-resolution Stereo Panoramic Images by Omnidirectional Imaging Sensor Using Hexagonal Pyramidal Mirrors [A]. 14th ICPR [C]. 1998

[3] Zheng J Y. Digital Route Panorama [J]. IEEE Multimedia, 2003, 10(3): 57—67.

[4] Zheng J Y, Tsuji S Panoramic Representation of Scenes for Route Understanding [C]. 10th International Conference Pattern Recognition, 1990, 1: 161—167.

[5] Zheng J Y, Tsuji S Panoramic Representation for Route Recognition by a Mobile Robot [J]. International Journal on Computer Vision, 1992, 9(1): 55—76.

[6] Zheng J Y, Shi M. Mapping Cityscapes to Cyber Space [A]. Int Conf on CyberWorld03 [C]. 2003

[7] Li S, Hayashi A. Robot Navigation in Outdoor Environments by Using GPS Information and Panoramic Views [A]. Proc IEEE / RSJ Int Conf on Intelligent Robots and Systems [C]. 1998

[8] Zheng J Y, Zhou Y, Shi M. Scene Tunnels for Seamless Virtual Tour [A]. ACM Conf Multimedia [C]. 2004

[9] Zhu Z, Riseman E M, Hanson A R. Generalized Parallel-perspective Stereo Mosaics from Airlborne Video [J]. IEEE PAMI, 2004, 26, (2): 226—237.

[10] Zheng J Y, Zhou Y, Wang X, et al From Route Panorama to Virtual City [A]. 10th International Conference on Virtual System and Multimedia [C]. 2004

[11] Zheng J Y, Tsuji S Generating Dynamic Projection Images for Scene Representation and Recognition [J]. Computer Vision and Image Understanding, Academic Press, 1998, 72(3): 237—256

[12] Zheng J Y. Stabilizing Route Panorama [A]. Int Conf Pattern Recognition [C]. 2004.