数字校园的智能导航与同步全景漫游系统  
温宏凯  谭璐辰  范鸿飞  贾金原  
（同济大学软件学院，上海市嘉定区曹安公路4800号，201804）

**【摘  要】当今绝大多数的网上虚拟校园均是采用离散的全景漫游技术开发的，系统并没有提供有效的导航帮助，也无法实现全景视点之间的连续漫游。本文提出了一种全新的虚拟校园构建方案，将基于图像的建模与绘制、基于电子地图的导航以及多视点间全景平滑漫游等技术紧密耦合起来生成一个数字校园的导航与漫游系统。该系统既能对校园的标志性景观进行全景浏览，也能动态交互地生成从当前位置至目标位置的最优浏览路径，且能沿着该路径进行平滑连续的全景漫游，极大地增强了浏览虚拟校园的现场感和沉浸感。  
【关键词】虚拟现实，数字校园，基于图像的建模和绘制，导航，多视点间全景平滑漫游**

A System of Intelligent Navigation and Synchronological Walkthrough of Virtual Campus EN Hongkai  
TAN Luchen  FAN Hongfei  JIA Jinyuan  
【Abstract】 Currently, most virtual campuses are purely discrete panorama browsing. However, users cannot transfer from one panorama point to another smoothly and usually roam blindly without any navigation aids. By coupling image based rendering, e-map based navigation and multi-viewpoint panorama roaming, this paper presents a new framework of virtual campus, which enables users to be provided and guided with the optimal path on e-map for roaming continuously and smoothly. It overcomes those drawbacks of most virtual campuses developed currently very well and enhances immersion and improves convenience of roaming virtual campuses on Web.  
【Key words】 Virtual Reality, Digital Campus, Image Based Modeling and Rendering, Navigation, Smoothly Multi-viewpoint Panoramas Walkthrough

1  引言  
随着计算机网络、地理信息系统、3D几何造型和虚拟现实等技术的长足进步，互联网上构建数字虚拟校园已经成为可能，虚拟校园的成功开发使得人们犹如现实一样在网上就可以实时浏览漫游其向往的数字校园。这是一种提升学校的知名度、展现各校园景观与风采的重要媒介。目前，很多国内外大学乃至中学都纷纷在网上开发了自己的虚拟校园。纵观虚拟校园的开发技术，无非两种模式：一个是基于几何建模的技术（Geometrics Based Modeling and Rendering）；另一个是基于图像的建模和绘制（Image-Based Modeling and Rendering）。下面我们对这两个技术做些简单的研究综述。  
1.1 传统的利用VRML建模的虚拟校园系统  
传统的虚拟校园系统采用计算机生成图像的方式来建立三维模型，图像的分辨率、质量、复杂度、真实性都不是很高，复杂场景造型数据量巨大，而且常常由于场景的快速切换出现抖动和延迟。然而要实现大规模VRML虚拟场景的实时漫游与复杂的人机交互功能还存在着若干难以克服的问题，即在传统的HTTP传输模式下，难以实现大规模虚拟场景的海量数据的网上实时下载和实时渲染。除了构建场景模型的浩大工作量外，网络带宽的限制仍然是阻碍其进一步发展的瓶颈之一。  
1.2 已有的基于全景视图的虚拟校园系统  
正因为基于几何的VRML的虚拟校园开发技术存在以上种种问题，基于图像的建模和绘制技术[1, 2, 3, 4, 5]渐渐成为虚拟校园的一项主要开发技术。相对于传统几何建模的方法，它具有明显的优势：(a)所需的计算资源较少，适合于网上的实时浏览和漫游；(b)其绘制时间与场景的复杂度无关；(c)图像很容易获取，既能使用实景照片，亦可采用几何绘制所生成的图像。比较成熟的例子有杰图公司[10]为上海交通大学制作的虚拟校园系统。该系统利用全景图可以获得在固定的视点 360°环视的效果，而且真实感相对较强。但同时，这样的单视点局部全景浏览系统存在的问题主要在于：(a)仅仅依靠一个地图来导航，无路径查找功能；(b)这种漫游效果仅仅是局部的，难以得到整个校园的整体空间感和全局漫游效果；(c)为了达到理想的下载速度和可以接受的图片质量，全景窗口很小，以至于沉浸感较差；(d)仅仅支持若干离散拍摄点的全景漫游，由于视点之间没有衔接，不能从一个点自然光滑地过渡到另一个全景漫游点，所以无法实现用户在整个虚拟校园中的自由连续的漫游。  
2 系统概览  
基于以上的比较与分析，我们在基于全景图的虚拟校园开发模式的基础上，增加了智能路径导航模块和全景自由漫游功能，提出了开发虚拟校园系统的新框架体系，克服了传统虚拟校园进行漫游时的盲目性，极大地方便了用户迅速获得自当前地点至目标地点的最优漫游路径。在单视点全景浏览的基础上，基于多视点的全景自由漫游技术实现了全景漫游视点间的平滑过渡，使得用户能在整个虚拟校园中自由漫游。高性能的摄影设备所获得的高质量全景图片也保证了纵深漫游（Zoom-in和Zoom-out）的效果极佳。另外，通过采用先进的图像压缩与还原算法，不仅造型数据量小，而且在空间呈现时没有很大的延迟，这使得高度复杂和高度逼真的虚拟场景能够以很小的计算代价得到，从而使得虚拟现实技术可以在普通微机上实现，并可支持网络上浏览全景虚拟校园，具有一定的交互性，透过互联网带给更多用户以更多虚拟漫游的沉浸感和真实感。  
2.1 总体设计  
与以往的虚拟校园系统有所不同，本系统着眼于将当前较为成熟的技术整合在一起，构建出一个具有智能导航功能的基于全景图的校园数字漫游系统。系统除了能满足一般的单视点全景浏览之外，还可提供整个校园中任意点之间的最短路径导航，并根据导航的结果动态地生成沿该最短路径上多视点间连续光滑的全景漫游。  
2.1.1 环境和工具  
本系统建模方式采用的是球面全景技术，源图由Canon EOS 5D + Sigma 8mm F3.5 EX DG Circular Fisheye 的设备组合获得。每一全景观测点拍摄两张RAW格式照片，在Adobe Photoshop中对图片进行处理后压缩成高质量JPEG格式，然后用当前成熟的拼接软件将源图拼接成为一张球面全景图，对球面全景图进行进一步处理后载入全景浏览器内播放。  
系统的Web解决方案构建于Windows 2003 Server，Web服务器采用IIS 6.0，在ASP.NET 2.0框架下开发，后台数据库采用Oracle 10g。全景浏览器以插件的形式嵌入网页中。  
2.1.2 架构和功能  
系统主要分为三个功能模块：(1)全景浏览；(2)地图导航；(3)虚拟漫游。  
全景浏览的主要功能是将校园内的代表景观用全景图的方式在网络上展示出来。根据用户选择的景点，全景浏览器将后台数据库中相应的球面图片按照一定的策略下载到用户本地，同时根据用户视线方向对全景图中的某一部分做反投影运算，并将这部分图像呈现在用户显示器上。当户用鼠标进行操作时，系统将全景图的其他部分显示到显示器上，从而体现出在虚拟空间中360°环视和向前向后移动。  
地图导航的功能是在一张伪3D的校园地图上，对于给定的初始点和终点，由系统自动生成一条最短的路径，并显示在该地图上。为了达到最短路径动态显示的效果，系统中的这一模块采用Flash实现。由于常用的浏览器均内置Flash播放器，用户无需专门下载插件。当一条导航路径生成之后，系统会同时生成用于虚拟漫游的数据，并传递给虚拟漫游模块。  
虚拟漫游模块接受导航路径的数据后，动态挑选一组全景视点，根据这些视点的相机参数和位置关系生成一段视点间动画，引导用户沿着导航路径漫游到目的地。在漫游过程同样支持单个视点的360°环视。  
2.2 接口和模块设计  
系统的三个模块之间采用松散耦合的方式构建，模块之间的接口设计如图1所示。  
  
图1 数字校园系统架构  
3  系统详细设计  
3.1 单视点全景的局部浏览  
全景浏览提供对校园中代表景观进行展示的功能，界面由校区2D地图和全景浏览插件构成。在每一个全景视点中，用户可以通过鼠标进行操作，实现360°环视，向前后移动。同时，景点间的切换是由用户在2D地图上点击事先设计好的热区来实现的。每一个热区与一个JavaScript函数相关联，用户点击时由该热区所对应的JavaScript函数控制全景浏览插件进行全景图的切换。本模块中视点间的切换采用的是图像渐变的方式。  
为了尽可能加快网站的浏览速度，系统采用的下载策略是分层优先下载策略，即优先视点中用户视线方向的部分，并在下载中针对JPEG格式的特点进行分层下载，先下载图片的基本信息，然后逐步细化地将图片下载到用户的浏览器缓存中。系统的显示策略与之类似，即优先将用户当前视线附近的图片部分做反投影运算并装载到内存中，当用户采用鼠标操作虚拟空间进行平移和缩放的时候，直接从内存中读取相应部分的图片，无需实时进行反投影运算，大大提高了浏览速度和响应效率，改善了用户体验。  
  
图2 数字校园Web界面设计  
3.2 智能地图导航  
3.2.1 路径导航算法  
在虚拟现实中，经常会发生用户迷失在虚拟世界中的情况，所以需要有导航功能来帮助他们确定自己现在的位置，为他们迅速地选择一条到特定地点间的最优路径。在众多路径规划算法[6, 7, 8, 9]中，我们采用了A\*路径搜索算法。A\*算法在人工智能中是一种典型的启发式搜索算法，是一种有序搜索。它通过选择合适的估价函数，直到搜索朝着最有希望的方向前进，以求得最优解。A\*算法中，关键是求估价函数：  
f(n) = g(n) + h(n)  
其中，g(n)是从起始点v0到当前节点n已经付出的代价，h(n)是从当前节点n到目标节点v的代价估计函数，且必须保证h(n) ≤ h\*(n)（其中h\*(n)是当前点到目标点的实际最小代价）。A\*算法是利用对问题的了解和对问题求解过程和解的了解，寻求某种有利于问题求解的启发信息，从而利用这些启发信息去搜索最优路径。它不用遍历整个地图，而是每一步搜索都根据启发函数朝着当前最优搜索方向前进，当地图很大而且很复杂时，它的搜索速度远远优于经典的Dijkstra算法和其它路径规划算法。我们的试验结果也表明了它是一种搜索效率高的算法，十分适合基于Web的地图导航应用。  
另外，我们对经典的A\*算法还作了一些改进：(a)通过程序判断规定，使得穿越拐角的情况设定为不允许，这样计算复杂度有了很大降低；(b)针对传统的A\*算法可能将最优路径轻易舍弃的缺点，我们采用多次搜索的方法，以求换取尽量多的最优路径备选结果。经过改进以后的算法能够迅速计算出整个校园中任意两个点之间的最短路径，减少了用户等待的时间。  
3.2.2 导航算法在JavaScript中的实现  
本系统用JavaScript脚本语言实现了A\*算法。在B/S架构的系统中，当用户请求了导航的功能页面以后，即将JavaScript代码下载到本地计算机，直接利用本地资源实现最短路径查找，用户的每一次操作不需要向服务器发送请求。这样的策略既减少了服务器端的负载，又解决了网络上传输速度的问题，用户可以迅速获得任意两点间的最优路径。  
  
图3 用JavaScript实现的A\*算法数据结构  
JavaScript本身是一种脚本语言，功能不够强大，对于一个复杂的算法实现起来存在很多困难。我们的系统克服了语言上的问题，通过简化设计的数据结构，仅使用数组就实现了高级语言中需要用指针和邻接表才能实现的功能。  
3.2.3  Flash和JavaScript的通信  
为了增强导航的动画效果，我们选用了Flash来实现导航功能。为了在网页中实现这样的功能，就需要在Flash和JavaScript之间通信并互相传递参数，这样就实现了Flash到JavaScript的信息传递。  
3.3 多视点全景的全局漫游  
虚拟漫游模块的功能在于接受地图导航模块所传入的路径信息，从现有的全景视点中挑选出在这条导航路径上的视点，将他们链接起来，生成一段相对平滑的视点间动画，引领用户沿着这条虚拟路径由起始点漫游到目的地，实现具有真实感和浸入感的虚拟漫游。  
为实现视点间相对平滑的过渡，在拍摄上，我们采取了密集取点的策略，间隔5到10米就有一个观测点。近距离视点间的图像差异较小，保证了后期处理中视点间平滑过渡的可能。在视点链接时，由于前期取点的密集性，我们可以保证一个视点只跟至多两个视点发生链接关系，而且漫游方向一定。因此，在链接过程中，我们需要用人工的方式采集所需要的数据，即两个视点在漫游方向上的视图差异最小时候的视点相机参数。简单地讲，就是在某一漫游方向上通过对前一视点的视图的平移和放大，使之与后一视点的视图差异最小，并将此时前一视点处的相机参数记录下来，构建出一个类似于邻接表的数据结构以描述视点间的相对关系。  
  
图4 同济大学嘉定校区某处景点的球面全景图  
生成视点间动画时，根据传入的路径数据，系统首先找到这条导航路径上的视点的相关信息，并将这些信息与视点间关系的数据一道读入内存中，按照顺序将视点的全景图载入到全景浏览插件中，并以一定的速度根据视点间链接关系切换到下一个全景视点，依次下去，即形成了相对平滑的视点间动画，从而提供给用户具有沉浸感的虚拟漫游。在虚拟漫游中，系统同样可以响应用户的操作，用户可以控制方向，即决定向前或者向后漫游；同时，在每个全景视点中支持360°环视。  
4  结论  
基于上述的架构体系与各种关键技术，我们开发出一个同济大学嘉定校区数字校园漫游系统（参见图4），该系统集传统的单视点全景的局部浏览、智能地图导航和多视点全景的全局漫游等多项功能于一体。然而，我们本文所给出的多视点全景的全局漫游算法还是相当低级的，几乎全部都需要依靠手工操作，所以其通用性并不强。如何自动地实现任意两个全景浏览点之间连续光滑的自然过渡将是我们进一步研究的课题。  
在已开发的系统的基础上，我们还拟将全景浏览与立体显示技术结合起来，利用双相机模拟人的双眼，产生视差，并采用偏振投影的方式实现一个能产生立体全景浏览的虚拟校园系统，进一步提升虚拟校园漫游系统的真实感和沉浸感。  
参考文献  
[1] Cai Yong, Liu Xue-Hui, Wu En-Hua, Image-based rendering: A technology for virtual reality system, Journal of Software, 1997, 8(10): 721-728 (in Chinese).  
[2] 潘云鹤、周天等，“基于图像的绘制技术研究与发展”，计算机科学，8(5)，2001。  
[3] 杨瑞元、邱建雄，“基于图像的建模和绘制技术综述”，计算机辅助设计与图形学学报，14(2)，2002。  
[4] L McMillan, “Image-based Rendering using Image Warping”, Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series, ACM SIGGRAPH, Course 35, New Orleans, Louisiana, 2000.  
[5] 张茂军等，“HVS：一种基于实景图象的虚拟现实系统”，全国第七届多媒体技术学术会议论文集。  
[6] 周培德，“交通道路网中任意两点之间最短路径的快速算法”，计算机研究与发展，24(2)，35-40，2002。  
[7] 杨云、孙向军等，“一种启发是遗传算法及其在最短路径求取中的应用”，计算机工程与应用，12(1)，2003。  
[8] Lee J., “Calculation of the Shortest Path Suboptimal Decomposition”, IEEE Transaction on System, Man and Cybernetics, ?(3): pp. 410-420, 1982.  
[9] Frank Blischke and Bernd Hessing, “Dynamic Route Guidance, Different Approaches to the System Concepts”. Soc Automatic Eng, Inc, 1998.  
[10] 上海杰图软件技术有限公司官方网站：http://www.jietusoft.com

**标签：**[数字](http://www.ahamsp.org/plus/tags.asp?n=%CA%FD%D7%D6) [校园](http://www.ahamsp.org/plus/tags.asp?n=%D0%A3%D4%B0) [智能](http://www.ahamsp.org/plus/tags.asp?n=%D6%C7%C4%DC) [导航](http://www.ahamsp.org/plus/tags.asp?n=%B5%BC%BA%BD) [同步](http://www.ahamsp.org/plus/tags.asp?n=%CD%AC%B2%BD) [全景](http://www.ahamsp.org/plus/tags.asp?n=%C8%AB%BE%B0) [漫游](http://www.ahamsp.org/plus/tags.asp?n=%C2%FE%D3%CE)