

# 虚拟城市仿真平台日照分析方法的研究和实现

李文,马纯永,刘寿生,张涛,陈戈

(中国海洋大学 信息学院,山东 青岛 266100)

**摘要:**随着城市建设的高速发展,城市规划设计中如何合理地规划建筑,保证日照质量是城市规划设计中必须考虑的问题。为了更好地对建筑物日照环境进行分析评估,研究了日照基本原理,提出了一种直观的日照分析显示方法。该方法利用 OpenGL 中的模板缓存技术,通过多次绘制并叠加来实现。通过 Visual C++ 环境,在实验室自主研发的虚拟城市仿真平台(VRGIS)中实现了相应的日照分析功能。实验结果表明,该方法直观有效,在城市规划领域中取得了显著效果。

**关键词:**日照分析;城市仿真;城市规划;虚拟现实

**中图分类号:**TP391.9

**文献标识码:**A

**文章编号:**1673-629X(2010)11-0189-04

## Research and Implementation on Sunshine Analysis in City Simulation Platform

LI Wen, MA Chun-yong, LIU Shou-sheng, ZHANG Tao, CHEN Ge

(College of Information Science and Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266100, China)

**Abstract:** With the rapid development of city construction, urban planning and design must be considered to ensure the quality of sunlight. In order to find a better way to analyze the sunlight of buildings, this paper introduced the basic principles of sunlight and proposed a more intuitive display method towards sunshine analysis, which based on overlapping drawing results using stencil buffer in OpenGL. Finally, it's implemented in VRGIS platform which is developed by Visual C++. The experiment result shows that it is valuable in the work of city planning.

**Key words:** sunlight analysis; city visualization; city planning; virtual reality

### 0 引言

随着城市建设的高速发展,越来越多的新建设项目不断开工,城市建设的趋势逐渐转向高层空间,城市地表资源越来越紧张<sup>[1]</sup>。如今,一些大城市就对此做出了相应的法律法规。例如,2003年10月18日发布的《上海市城市规划管理技术规定》规定,高层居住建筑与低层独立式住宅的间距,在规定范围内保证受遮挡的低层独立式住宅的居室冬至日满窗日照的有效时间不少于连续2小时。另外,我国建设部发布的强制性国家标准《城市居住区规划设计规范》中,也要求住宅日照标准符合一定的规定<sup>[2]</sup>。

因此,城市规划设计中如何合理地确定建筑朝向、间距,保证日照环境的质量,是当前城市规划设计中必

须考虑的问题。这就需要在城市规划设计阶段对建筑物周边的日照条件进行分析评估,保证建设项目的达标。

随着计算机硬件水平的提高,虚拟现实技术给此类问题的解决带来了便利。笔者通过研究日照和阴影的基本原理,提出了一种更为直观的日照分析显示方法。方法基于 OpenGL 中的模板缓存,通过多次绘制并叠加来实现。在城域景观仿真平台 VRGIS 中,用户输入相关参数,系统会计算出当前光照方向,由此便可对三维仿真建筑物进行日照分析,并且得到精确的计算结果。实验证明,方法简单有效,并且阴影效果也大大提高了城市仿真中的真实感,最终应用在了峨嵋市三维仿真规划项目中,取得了显著的效果。

### 1 虚拟城市仿真平台介绍

虚拟城市仿真平台 VRGIS 软件的设计目标为一个 VR 与 GIS 紧密集成的虚拟地理信息系统,能够支持海量数据的实时绘制;能够自动生成城市仿真景观,实现自动漫游路径规划;支持 GIS 空间分析<sup>[3]</sup>;支持快

收稿日期:2010-03-12;修回日期:2010-06-29

基金项目:安徽省科技型中小企业技术创新基金资助项目(09C26213401458);科技人员服务企业行动项目(2009GJJA00047)

作者简介:李文(1984-),男,硕士生,研究方向为虚拟现实;张涛,博士,教授,研究方向为地图学与地理信息系统;陈戈,博士,教授,研究方向为海洋遥感、海洋地理信息系统,虚拟现实等。

速地二次开发等,为城市的建设和规划提供科学的依据和灵活的设计方法<sup>[4]</sup>。下面对其中的三维日照分析功能做简要介绍。

VRGIS平台按照国家及各地区有关日照的相关标准及规范,以三维实体模型作为分析数据,采用了太阳光线计算公式、阴影体绘制、模板绘制等技术,提供了日照分析基本数据的设置和日照量计算方法:

(1)平台首先根据用户输入的地理位置(纬度)和当前的日期时间自动计算太阳光的照射方向。软件提供了全球各地的经纬度表可供查询。

(2)阴影分析功能提供对阴影情况的实时观察,并且可以改动当前的地理位置和时间动态的观察阴影效果的变化。提供支持对实时阴影环境下对建筑物的编辑操作,包括物体的位移、楼层数的变更等。

(3)日照分析提供对日照情况的数据分析功能,包括全天总日照时间分析、分段日照情况分析等。

此外,平台还可生成真实感瞬时阴影渲染图、日照时段阴影动画等,能够非常真实地表现出实际建筑的日照情况。最终的效果可参见第4节。

## 2 日照基本原理

由于地球与太阳的距离十分遥远,太阳光线几乎可以认为是平行的,所以设置光源为平行光。要做到三维仿真,必须要根据日照模型,来确定当前太阳光的方向。

太阳高度角和方位角是表征太阳位置的参数,如图1所示。太阳高度角是太阳光线与地平面间的夹角,记为 $H_s$ 。方位角是表征太阳光线在地平面上的投影线与地平面正南线所夹的角,记为 $A_s$ 。这样,通过计算出 $H_s$ 和 $A_s$ ,即可求得当前太阳光线的方向,并且在此基础上可以确定太阳的运动轨迹。计算公式如公式(1)、(2)所示。

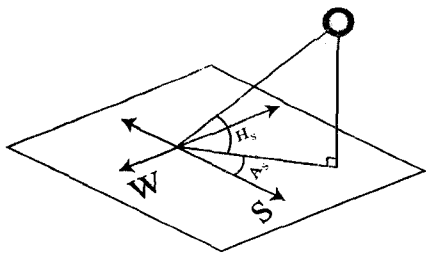


图1 太阳高度角和方位角视图

$$\sin H_s = \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos \Omega \quad (1)$$

$$\cos A_s = \frac{\sin H_s \sin \phi - \sin \delta}{\cos H_s \cos \delta} \quad (2)$$

其中, $\phi$ 代表地理位置,用纬度表示。 $\Omega$ 表示时角,表示一天中地球自转在不同时刻的角度,规定正午时

角为0,上午时角为负值,下午时角为正值。地球自转一周360度,对应的时间为24小时,即每小时相应的时角为15度,每4分钟的时角为1度。这两个值可以通过用户输入的信息很容易计算出来。

太阳赤纬角 $\delta$ 代表太阳光线和地球赤道面的夹角,此参数每一瞬间均处在变化之中。它在春分和秋分时刻等于零,而在夏至和冬至时刻有极值,分别为正负 $23.442^\circ$ 。由于太阳赤纬角在周年运动中每一个时刻的值都是确定的,因此可以使用如下代码求得赤纬角<sup>[3]</sup>:

```
float SolarDirectionCalc::GetLatOfSun()
{
    //jiri 函数是计算太阳积日,即当前时间在一年中所经过的天数
    float t = jiri(year, month, day)
    - 79.6764 - 0.2422 * (year - 1985) + floor((year - 1985) / 4.0);
    float sita = 2 * PI * t / 365.2422;
    float delta = 0.3723 + 23.2567 * sin(sita) + 0.1149 * sin(2 * sita) - 0.1712 * sin(3 * sita) - 0.758 * cos(sita) + 0.3656 * cos(2 * sita) + 0.0201 * cos(3 * sita);
    return delta;
}
```

## 3 日照分析功能

### 3.1 日照阴影原理

为了实现日照分析,首先要在VRGIS平台中绘制阴影,方法是采用阴影体算法(Shadow Volume)。该算法第一次被提出是Franklin C. Crow在1977年写的一篇论文“SHADOW ALGORITHMS FOR COMPUTER GRAPHICS”<sup>[5]</sup>里。其基本原理是根据光源和遮蔽物的位置关系计算出场景中会产生阴影的区域(shadow volume),如图2中灰色区域所示,然后对所有物体进行检测,只有在阴影区域内的物体才会受到影响。

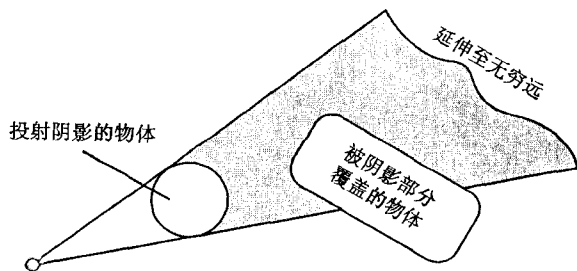


图2 阴影体绘制原理

当前的研究和实现方法侧重于使用图形硬件的模板缓存(Stencil Buffer)来优化算法和提高计算速度。VRGIS中使用的是z- Pass算法,包含两遍渲染流程:

第一遍(Pass 1):开启深度缓冲和深度测试,渲染整个场景,得到关于所有物体的深度信息。

第二遍(Pass 2):关闭深度缓冲,开启模板缓冲测试,然后渲染所有的阴影体(Shadow Volume)。利用法向量信息,可以得到哪些三角面面对视点。这部分三角面若通过了深度测试,将会使模板缓冲增一。反之,缓冲区的值不变。另外对于阴影体背向视点的三角面,如果没有通过深度测试,则模板缓冲减一,否则保持不变。

这样,根据每个像素的模板缓冲值就可以判断是否处于阴影当中。然后在每个像素上根据模板缓冲填充阴影的颜色,最终绘制出阴影的效果。

### 3.2 虚拟城市仿真平台中的阴影分析

VRGIS平台面对的是海量数据渲染。对于基于外存条件下的阴影分析,情形就会变得复杂些,关于外存条件下的海量模型渲染算法,可参考文献[6~8]。首先,由于LOD<sup>[7]</sup>的设置,精细分辨率的物体会延迟载入,粗糙分辨率的生成包含有一定的误差,这样对粗糙分辨率的物体直接进行绘制将会造成阴影区域的抖动,进而造成真实感的大幅下降。改进的阴影分析流程如图3所示。

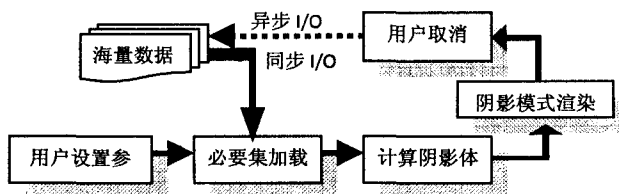


图3 外存条件下的阴影分析流程

第一步,确定参与投影的必要集合,从海量数据中通过同步I/O预取。若采用异步I/O,突然开启效果后计算量会突然增加,场景会抖动的相当明显。

第二步,当必要集加载完成后,对这些物体依次遍历,依次计算阴影体轮廓并送入OpenGL渲染管线以生成阴影体。最后,用户点击取消后,数据以异步方式返还到外存。

### 3.3 阴影代码实现

利用OpenGL提供的API,实现阴影的关键代码如下:

```

// 开启深度测试
glEnable( GL_DEPTH_TEST );
// 开启背面裁剪
glEnable( GL_CULL_FACE );
// 清除 Stencil buffer 缓存
glClear( GL_STENCIL_BUFFER_BIT );
// 设置深度测试
glDepthMask( GL_FALSE );
glDepthFunc( GL_LEQUAL );
// 开启模板测试,并设置
glEnable( GL_STENCIL_TEST );

```

```

glColorMask( 0, 0, 0, 0 );
glStencilFunc( GL_ALWAYS, 1, 0xffffffff );
// 第一遍,首先选择逆时针方向渲染,缓冲区增一
glFrontFace( GL_CCW );
glStencilOp( GL_KEEP, GL_KEEP, GL_INCR );
// 开始渲染阴影体,第一遍
renderShadowCastObjects();
// 第二遍,选择顺时针渲染,缓冲区减一
glFrontFace( GL_CW );
glStencilOp( GL_KEEP, GL_KEEP, GL_DECR );
// 开始渲染阴影体,第二遍
renderShadowCastObjects();
// 保留缓冲区,绘制缓冲区填充颜色
glFrontFace( GL_CCW );
glColorMask( 1, 1, 1, 1 );
glStencilFunc( GL_NOTEQUAL, 0, 0xffffffff );
glStencilOp( GL_KEEP, GL_KEEP, GL_KEEP );
// 绘制阴影的缓冲区颜色
drawBufferPlane();
// 重置初始状态
glDepthFunc( GL_LEQUAL );
glDepthMask( GL_TRUE );
glDisable( GL_CULL_FACE );
glDisable( GL_STENCIL_TEST );

```

绘制缓冲区颜色的操作利用了Blend技术<sup>[9~11]</sup>,这样绘制出来的阴影可以有透明度,使真实性大大提高。

用户设置参数的对话框如图4(a)所示,包含了当前的日期时间和地理位置的设置。最终产生的阴影效果图如图4(b)所示。

### 3.4 日照分析实现

首先,用户需要通过图5(a)界面设置当前需要仿真的地理位置(例如北京市,北纬39度)和时间(例如,8:00-16:00)及日期(例如,2009年3月1日),由此来计算光源的方向<sup>[12~14]</sup>。然后,利用阴影功能,以N分钟为间隔(取样单位,例如N=5),收集每个时间段产生的阴影量,最后叠加到缓冲区,在屏幕坐标下绘制。

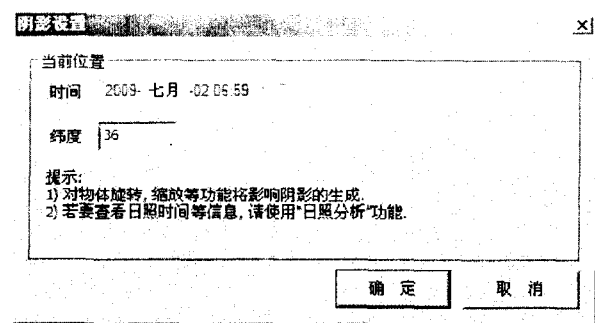
其伪代码如下:

```

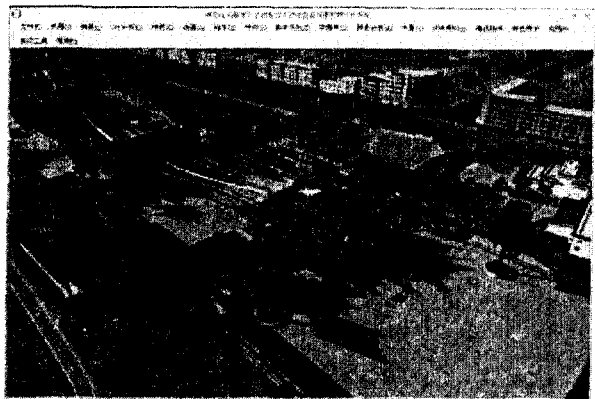
设立缓冲队列,保存日照分析渲染的结果
i = 起始时间
while(1)
    i += N分钟
    读取 i 时刻光源的方向,若到达终止时间则跳出
    清空模板缓冲区
    以阴影分析功能的 Pass 2 方式绘制一遍阴影体
    利用 glReadPixels 读取模板缓冲区
    将读取的数据叠加进缓冲队列
end while

```

对缓冲队列的数据进行缩放,最终值的范围为[0-1]  
在屏幕坐标环境下在顶层绘制缓冲数据



(a) 参数设置



(b) 阴影分析的结果

图 4 阴影分析效果图

基于以上的设置,该日照分析功能可以计算出该城市在某天的日出、日落时间,并以区域填充颜色值的形式表现出来。如图 5(b)所示,颜色越深,表明在设定的时间段内日照量较少。反之,日照量较多。用户可以通过双击屏幕上的任意一点来查看当前位置的日照量信息,如图 5(c)所示。

#### 4 试验结果

文中基于 OpenGL,在 Visual C++ 8.0、Windows XP sp3 环境下进行了开发和测试。机器配置为: Intel Dual - Core E5200 2.5GHz, 1G RAM, NVIDIA GeForce 9500 GT。数据采用了峨嵋市新城区 20 平方公里的三维模型数据。

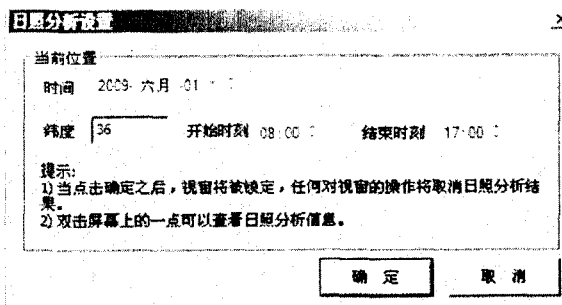
实验效果如图 5 所示。通过在对峨嵋市城域景观仿真的实验过程中发现,该功能通过更为直观的显示方法提高了分析问题和解决问题的能力,在城市规划领域中取得了显著效果。这表明,日照分析的功能达到了实用的程度,可以满足规划中的需求。

#### 5 结束语

日照分析功能对于城市规划、房屋建筑和居民选择合适的住房有着很重要的意义。文中基于 Visual

C++ 和 OpenGL 实现了城市仿真平台 VRGIS 中的日照分析功能,并给出了试验结果。该功能可以为城市规划设计、小区规划设计及建筑的日照时间分析、日照面积及建筑物阴影的分析提供科学准确的依据。

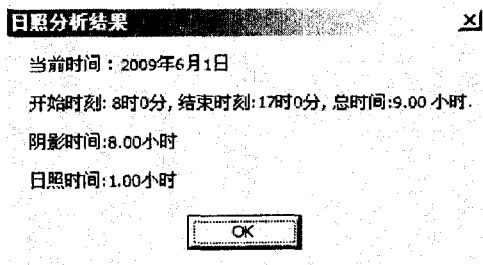
城市仿真中的日照问题还是一个正在发展的课题,还有很多方面需要进一步研究<sup>[10,11]</sup>。随着人们研究的深入,相信更多的 GIS 技术将会在城市规划与管理中得以应用,给人们的生活带来更多新的变化。



(a) 参数设置



(b) 日照分析效果



(c) 数据分析结果

图 5 日照分析功能效果图

#### 参考文献:

- [1] 殷勇. 城市地表三维环境中典型空间分析方法研究[D]. 北京: 中国测绘科学研究院, 2008.
- [2] GB50180-93, 城市居住规划设计规范[S]. 1993.
- [3] 朱朋, 齐永阳, 陈勇, 等. 虚拟城市仿真平台 VRGIS 中的 GIS 功能研究与实现[J]. 测绘科学, 2008(S1): 209-211.
- [4] 陈戈, 齐永阳, 陈勇, 等. 面向城市仿真的 VRGIS 平台设计与实现[J]. 系统仿真学报, 2009, 21(2): 457-460.
- [5] Crow F C. Shadow algorithms for computer graphics[J].

(下转第 196 页)

```

short stack_n[COUNT_N]; /* store the
int stack_r[COUNT_R];
short stack_ln[COUNT_LN];

short top_n = COUNT_N - 1; /* the top
int top_r = COUNT_R - 1;
short top_ln = COUNT_LN - 1;

struct Node * allocateNode()
{
Short pos = pop_n();
return &memory_n[pos]; //start from the first el-
eme
}
Void freeNode(struct Node * node)
{
Short pos = (node - memory_n) / sizeof ( struct
Node);
memset(node, 0, sizeof(struct Node));
Push_n(pos);
}

```

实际运行结果为:

具体步骤	运行时间 (单位: $\mu s$ )
tree_index	15m998
search: succeeds	33
search: fails	20

## 4 结束语

提出了在车辆检索技术中,通过把数据库内容保存在车载机固件中,每次检索都在车载机内部实现,这

样就大大提高了检索的效率,并提供了相应算法,给出了运行结果,与传统方法相比,运行时间大大缩短,并且算法易于实现。

## 参考文献:

- [1] Aranha R F M, Venkatesh G. Implementation of a Real-time Database System[J]. Information System, 1996, 21(1): 55 - 74.
- [2] Kam - Yiu L, Tei - Wei K. Evaluation of concurrency control strategies for mixed soft realtime database[J]. Information Systems, 2002, 27: 123 - 149.
- [3] Arulampalam S, Maskell S, Gordon N, et al. A tutorial on particle filters for online nonlinear/non Gaussian Bayesian tracking [J]. IEEE Trans on Signal Processing, 2002, 50(2): 174 - 188.
- [4] 杨述斌, 张 阳. 复杂车辆图像中的车牌快速形态定位法[J]. 计算机技术与发展, 2008, 18(6): 50 - 53.
- [5] 张文芊, 廖惠敏. 嵌入式网络连通检测器的实现[J]. 计算机技术与发展, 2008, 18(1): 240 - 242.
- [6] 吴 哲, 孙 涵. 基于快速直线段提取的道路标识线识别算法[J]. 计算机技术与发展, 2009, 19(5): 48 - 51.
- [7] 刘 俊, 杨全盛. 一种基于定位应用的无线传感器网络 MAC 层方案[J]. 计算机技术与发展, 2009, 19(1): 204 - 206.
- [8] 陈黄焱, 郑洪源. 基于 WebGIS 高速公路应急联动系统设计[J]. 计算机技术与发展, 2009, 19(8): 220 - 223.
- [9] 李华贵, 项志华, 何 伟, 等. 基于 GPS 和 GPRS 车载导航定位系统的实现[J]. 计算机技术与发展, 2006, 16(11): 241 - 242.
- [10] 潘成源, 徐 勇, 李鑫. 嵌入式 Linux 在车载导航系统中的应用[J]. 计算机技术与发展, 2006, 16(5): 223 - 225.
- [11] 陶玉贵. 车载 GPS 组合测速系统数据融合算法研究[J]. 计算机技术与发展, 2009, 19(1): 200 - 203.
- [12] 田 凯, 孟志军, 王武宏. 基于 Windows CE.net 的车载平台的定制开发[J]. 计算机技术与发展, 2006, 16(3): 45 - 46.
- [6] 刘 阳, 李 欣. 3D GIS 中空间数据可视化的研究与应用[J]. 计算机工程与设计, 2006, 27(6): 1090 - 1092.
- [7] 马照亭, 李成名, 王继周, 等. 海量地形可视化的研究现状与前景展望[J]. 测绘科学, 2006, 31(1): 134 - 136.
- [8] 戴晨光, 邓雪清, 张永生. 海量地形数据实时可视化算法[J]. 计算机辅助设计与图形学报, 2004, 16(11): 1605 - 1606.
- [9] Watt A. 3D 计算机图形学[M]. 包 宏译. 北京: 机械工业出版社, 2005.
- [10] David A, Ponce F J. Computer vision: modern approach[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2004.
- [11] Schneider P J, Eberly D H. Geometric Tools for Computer Graphics[M]. [s.l.]: Morgan Kaufmann, 2002.
- [12] 黄 桦, 吴健平. 基于 ArcScene 的建筑物日照分析模块的设计与实现[J]. 测绘与空间地理信息, 2008, 31(1): 86 - 89.
- [13] 吴 颖. 数码城市 GIS 中的日照分析研究[J]. 测绘通报, 2007(12): 62 - 65.
- [14] 王立言, 孙培巨, 阎 峰, 等. 日照分析软件在规划管理中的应用[J]. 青岛理工大学学报, 2007, 28(3): 111 - 113.

(上接第 192 页)

Computer Graphics, 1977, 11(2): 242 - 248.