

通用日晷三维仿真系统的开发与应用

唐丽玉, 陈琪, 陈崇成, 林定

(福州大学空间数据挖掘与信息共享教育部重点实验室, 福建省空间信息工程研究中心, 福建 福州 350002)

摘要:日晷是科学与艺术的结合体。日晷造型日趋多样化,其晷面上的晷影计算更加复杂。根据天文学理论计算太阳高度角和方位角和阴影形成原理,计算日出至日落之间各时刻晷针在晷面上的阴影位置,得出各时刻线的位置。在VC++开发环境下采用OpenGL图形标准,设计并实现了通用日晷三维仿真系统。系统支持不同造型日晷的三维可视化模拟以及时刻线位置模拟数据的可视化分析,并以动画的形式逼真表达一个时段内晷影的运动过程。通过比较分析仿真值与实测值之间的关系,表明整个系统能比较客观地模拟晷影位置,为日晷个性化设计、城市造景规划、科学教研、科普教育提供一个直观、便捷的模拟分析辅助工具。

关键词:日晷;三维可视化;仿真

中图分类号:TP391.9 **文献标识码:**B

Development and Application of 3D Simulation System for General Sundial

TANG Li-yu, CHEN Qi, CHEN Chong-cheng, LIN Ding

(Key Laboratory of Spatial Data Mining & Information Sharing of Ministry of Education, Spatial Information

Research Center of Fujian Province, Fuzhou University, Fuzhou Fujian 350002, China)

ABSTRACT: Sundial is a combination of science and art. Sundial modeling is becoming more diverse and the calculation of gnomon shadow on its plate is more complicated. In this paper, solar elevation angle and azimuth are calculated based on astronomy theory, then combining the principle of generating shadow, the location of time lines is obtained by calculating the shadow position of gnomon during sunrise and sunset. A three-dimensional simulation system for general sundial is designed and implemented. It is developed with VC++ and OpenGL Graphics standard. The system supports three-dimensional visualization simulation of different sundial modeling and visualization analysis to analog data of time line locations, as well as vivid expression in the form of animation to gnomon shadow within a period. Through comparative analysis of relationship between an analog value and the experimental value, it indicates that the system can simulate the gnomon shadow position in objective way and provides an intuitive, and it is a convenient tool for analysis and simulation to assist sundial personalized design, urban landscape planning, science and research, and science education.

KEYWORDS: Sundial; 3D visualization; Simulation

1 引言

日晷是一种中国古代测时的工具,根据晷面上晷影的位置,推测观测点上的真太阳时。在现代,它是城市中常见的一种雕塑,能融入周围环境,增加城市雕塑的科学普及功能,凸现城市的科学氛围,提高城市雕塑的观赏价值,被称为时间雕塑^[1]。在校园、公园等地建造日晷,既能观测时刻,又能在自然环境中增添人文景观,增强园林的艺术性,增加科技含量,又便于宣传有关时间和地球运动的科学知识^[2]。晷面上的时刻线的精度将体现日晷时间特性,其计算过程比较复

杂。赤道式日晷、地平式日晷、子午式日晷等常见的经典的设计模式,晷面上的晷影(时刻线)可从相关文献中查找^[3-4]。随着社会的发展和水平的提高,人们对艺术的追求愈来愈强烈,各种艺术创想不断涌现。日晷造型各式各样,不同造型的晷面时刻线不同,很难直接从现有相关文献中查找。王德昌等利用天文学和简单的数学方法,提出了“时间雕塑”的数学计算公式^[3]。但是他们只采用数学公式计算,比较抽象,不易理解。时刻线可直接进行测定,但受各种实测客观条件的限制,不能保证一天各时刻线角度均能成功测出,这种方法较费人力、时间。本文从植物阴影绘制^[5]中得到启发,根据天文学理论和阴影成像原理,计算各种造型的晷面时刻线,设计并实现通用日晷三维仿真系统,能进

基金项目:福建省产学研重大项目(2012N5006)

收稿日期:2014-03-10

行直观地三维可视化模拟,为日晷设计提供辅助工具。

2 晷影的形成原理

2.1 晷影形成原理

日晷主要由晷针、晷面和晷面上的时刻线组成。当太阳照射在晷针上,晷针就会在晷面上形成阴影,即为晷影,称为时刻线。随着太阳自东向西运动,晷影相应自西向东变化。

晷影形成原理示意图如图1。取晷针在晷面上的插入点,作为地平直角坐标系的原点 o , z 轴正向指向天顶,负向垂直指向地平面; y 轴正向指向正北方向,负向指向正南方向; x 轴正向指向正东方向,负向指向正西方向;同时设晷针针端的位置矢量为 c ,它是以坐标系原点 o 为起点,指向晷针针端的矢量。设针端影位矢量为 b ,它是以坐标系原点 o 为起点,指向针端在地面的投影点 p 的矢量。设太阳光线矢量为 a ,它是以太阳中心点为起点,指向晷针针端的矢量。

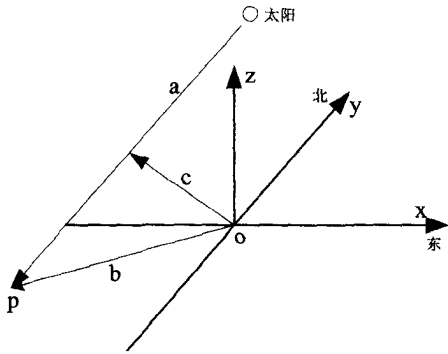


图1 日晷晷影形成原理示意图^[3]

通过晷针针端的太阳光线 a ,使晷针针端在晷面上产生一阴影点 p ,连结晷针在晷面上的插入点 o 和阴影点 p ,即为该时刻的时刻线。

2.2 太阳参数计算方法

根据晷影的形成原理,太阳光线矢量需要通过太阳高度角及太阳方位角来确定。两者的计算方法^[6]如下:

1) 太阳高度角

太阳高度角 h 的计算公式可表述为:

$$\sin h = \sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos \tau \quad (1)$$

式中, δ 为太阳赤纬角, φ 为当地的地理纬度, τ 为当时的太阳时角。太阳时角 τ 的计算式为:

$$\tau = \left(S_{\odot} + \frac{F_{\odot}}{60} - 12 \right) * 15^{\circ} \quad (2)$$

式中 S 和 F 的符号均加上了 \odot 下标,表示是真太阳时(地方时),分别表示该时刻时的分量和分的分量,为了从北京时求出真太阳时,需要转换,首先,将北京时换成地方时 S_d 的公式如下:

$$S_d = S + \left\{ F - \left[120^{\circ} - \left(JD + \frac{JF}{60} \right) * 4 \right] \right\} / 60 \quad (3)$$

式中 JD 和 JF 分别表示经度的度分量和分分量, 120° 是北京

时的标准经度,乘以4是将角度转化成时间,即每度相当于4分钟,除以60是将分钟转化成小时。

其次,进行时差订正,即

$$S_{\odot} = S_d + E_t / 60 \quad (4)$$

式中 E_t 是时差,其计算方法详见文献[6]。

2) 太阳方位角

太阳方位角 A 的计算公式可表述为:

$$\cos A = (\sin h \sin \varphi - \sin \delta) / \cos h \cos \varphi \quad (5)$$

由此可求出2个 A 值,第一个 A 值是午后的太阳方位,取值情况为:

当 $\cos A \leq 0$ 时, $90^{\circ} \leq A \leq 180^{\circ}$

当 $\cos A \geq 0$ 时, $0^{\circ} \leq A \leq 90^{\circ}$

第二个 A 值为午前的太阳方位,取 $360^{\circ} - A$ 。

2.3 晷影位置计算

太阳光线为来自无穷远处的平行光,求出太阳的高度角和方位角,图1中太阳光线 a 矢量可以表示出来,日晷造型确定了,图1中晷针的矢量 c 就可以表示出来,通过矢量相减就可以求出图1中晷影的矢量 b 。各时刻晷影之间的夹角的计算公式可表述为

$$\cos \theta = c_1 \cdot c_2 / |c_1| |c_2| \quad (6)$$

式中, c_1 和 c_2 分别为2个时刻晷影的矢量, $|c_1|$ 和 $|c_2|$ 分别为该两矢量的模。

3 通用日晷三维仿真系统的设计与实现

3.1 系统总体设计

通用日晷三维仿真系统开发的目的是基于上述太阳参数计算和晷影形成原理,开发一个日晷造型设计与时刻线计算的通用系统。系统适用于各种造型的日晷,根据日晷安装地点的地理坐标、晷面的朝向和倾角、晷针的朝向等个性化要求,可以计算一年中每一天各时刻晷面上的晷影,并以三维形式直观表示日晷造型,对时刻线位置进行可视化模拟与分析。

系统包括日晷三维模型设计模块、日晷时刻线位置计算与绘制模块、晷影动态模拟模块和时刻线计算结果的输出模块。

日晷三维模型设计模块,支持用户借助第三方软件所建的日晷组分(晷面、晷针)的三维模型的导入,然后设置晷面中心点地理坐标(经度和纬度)、晷面朝向、晷面倾角和晷针朝向、晷针倾角,形成特定地理位置特定造型的三维日晷模型。通过修改晷面和晷针的参数,可形成各种不同设计风格的日晷模型。

日晷时刻线位置计算与绘制模块,根据设定的日晷晷面及晷针参数,首先计算日晷安装地各时刻太阳高度角和方位角,然后计算日出至日落之间各时刻晷影在晷面上的几何位置,即时刻线的位置,同时在晷面上绘制各时刻线。

晷影动态模拟模块,支持采用动画的形式形象地模拟一天日出至日落时段晷影的运动过程,能反映晷影变化情况。

时刻线计算结果的输出模块,全年及全天模拟数据可以电子表格或文本的形式导出,包括各时刻太阳高度角、太阳方位角、整点时刻线间的夹角,可为日晷设计提供参考。

3.2 晷影模拟的流程

晷影模拟的流程主要包括设计日晷三维模型、计算太阳高度角和方位角、计算日出至日落各时刻线的位置,时刻线的绘制及晷影的动态模拟,如图2所示。首先设置晷面和晷针的参数,导入它们的三维模型,根据参数组合成日晷三维模型;其次根据日晷放置地方的经度和纬度,以及具体时刻,计算太阳高度角和方位角;然后根据太阳的几何参数、晷面和晷针参数,根据阴影的形成原理,计算晷面上的时刻线;最后根据需要,可以输出数据、绘制时刻线或动态模拟晷影变化过程。

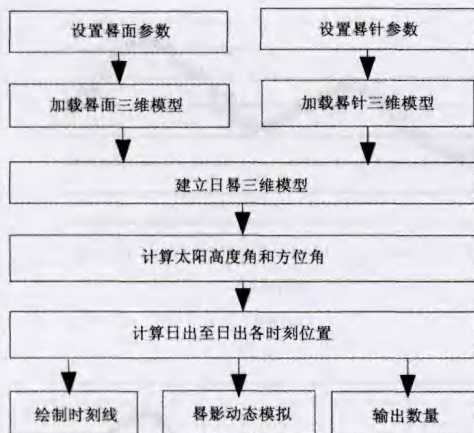


图2 晷影仿真实现图

3.2 时刻线形成

通用日晷三维仿真系统是在上述晷影形成原理和数学基础上,在VC++开发环境下采用OpenGL图形标准,开发形成原型系统。图3表示晷面中心点地理坐标为东经119.19°,北纬26.06°N,晷针朝北极;其中图3(a)、(b)、(c)各图表示晷面与晷针不同组合关系和姿态下,时刻线形成的情况,从图中看出时刻线分布不均匀。图3(a)中晷面水平,晷针与地平面呈30°,时刻线以中午12点时的为参考线,上、下午时刻线近对称,比较集中;图3(b)中晷面水平,晷针与地平面呈60°,时刻线分布相对均匀;图3(c)中晷面与地平面呈30°,晷针与地平面呈60°,时刻线比较不均匀。

3.3 实验结果与分析

本文实验地点(即晷面中心点)地理坐标为东经119.19°,北纬26°N。该装置安装过程为:

- 1) 用经纬仪确定正北方向,将纸质晷面水平贴于水平瓷砖上表面,使其0°刻度线对准正北方;
- 2) 利用量角器使水平瓷砖朝北水平旋转20°,然后使旋转后瓷砖与水平地面呈15°夹角;
- 3) 记录以0°刻度线为基准线的各整点时刻的晷影所在位置的角度。

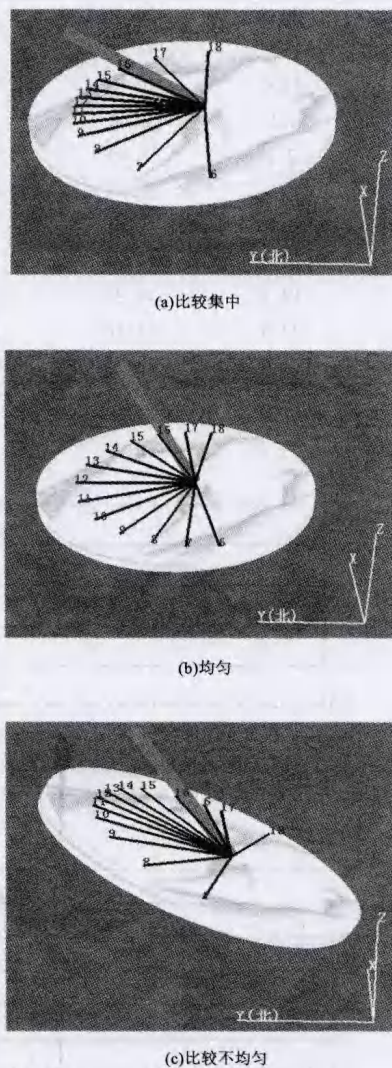


图3 全时段的时刻线位置仿真图

本实验和测量的时间为2013年6月18日的12个不同时刻点,所得实验数据记录如表1所示。整点时刻的夹角指两个相邻整点时刻(如:6:00-7:00)晷影之间的夹角。从表1中可以看出模拟值与测量值相对误差大多在5%左右。误差可能来源于测量装置引起的误差,也可能来源于太阳高度角和方位角计算理论存在误差^[7]。目前没确定计算的理论与实际测量值之间误差的定量关系。总体上,它能够提供更客观的时刻线位置,可以满足在城市造景规划、科学教研、科普教育中的应用。

表1 测量与模拟的时刻线位置数据对比

时刻	整点时刻线间夹角		
	测量值(°)	模拟值(°)	相对误差(%)
6:00	0	0	0

7:00	20.5	20.56	0.29
8:00	14.5	14.09	2.82
9:00	11.0	10.33	6.03
10:00	7.9	8.40	6.32
11:00	7.1	7.60	7.04
12:00	7.8	7.63	2.17
13:00	9.0	8.50	5.55
14:00	10.6	10.54	0.56
15:00	14.1	14.49	2.76
16:00	22.5	21.16	5.95
17:00	34.0	28.34	16.64

4 应用实例

一年中,同一地点日晷的时刻线位置是变化的,而目前大部分日晷雕塑是静态的。因此,大部分时间,晷面上时刻线与晷影存在误差,除非增加修正函数。本实例地理坐标、晷面和晷针的参数同上述实验地点。利用仿真系统计算了2013年某些白天各整点时刻的时刻线位置,每个月选3天计算(包含了春分、夏至、秋分、冬至),计算结果如图5所示。从图中可以分析一天中各时刻线在一年中的变化规律,找出一年时刻线空间位置变化区间的中间点对应的日期,图中用红色星形表示,6月20日前后各时刻线的位置接近于一年的平均值。这个数据为某大学日晷设计提供参考。

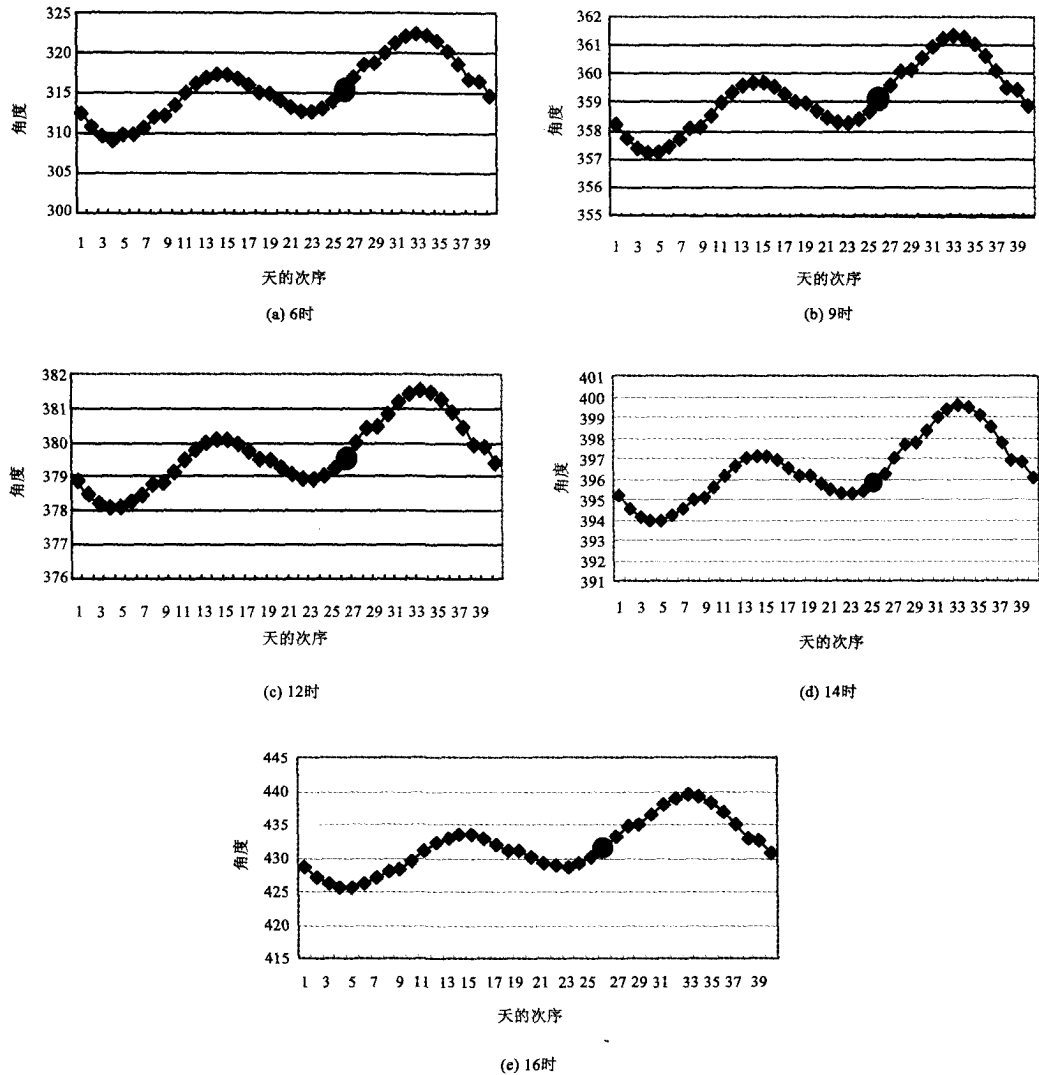


图5 一年中各天各时刻线位置变化情况

5 结论

本文基于天文学和阴影成像原理,设计并实现了通用日

晷三维仿真系统。系统适用于各种造型的日晷,根据日晷安装地点的地理坐标、晷面的朝向和倾角、晷针的朝向等个性

化要求,可以计算一年中每一天各时刻晷面上的晷影,并以三维形式直观表示日晷造型并对时刻线位置进行可视化模拟与分析。通过与实际测量数据进行比较和分析,计算结果比较合理。系统可为日晷个性化设计、城市造景规划、科学教研、科普教育提供一个直观、便捷的模拟分析与辅助论证工具。

致谢:

感谢福州大学王耀华老师在设计过程中的指导,并提供日晷晷影位置实际测量数据。

参考文献:

- [1] 王德昌. 日晷—时间的雕塑和测量[J]. 科学, 2005, 57(4): 55-58.
- [2] 刘群. 日晷投影原理及其应用[J]. 贵州师范大学学报, 2003, 21(3): 109-110.
- [3] 王德昌, 张建卫. 时间雕塑—日晷[M]. 合肥: 安徽科学技术出版社, 2006.
- [4] 吴振华. 常用日晷晷面线图设计[J]. 上海交通大学学报,

1996, 30(1): 123-127.

- [5] 张文晓, 等. 基于阴影图的植物阴影算法改进及其绘制[J]. 福州大学学报(自然科学版), 2013, 41(9): 850-857.
- [6] 王炳忠. 太阳辐射计算讲座: 第一讲太阳能天文参数的计算[J]. 太阳能, 1999, 2(5): 8-10.
- [7] 张闯, 吕东辉, 项超静. 太阳实时位置计算及在图像光照方向中的应用[J]. 电子测量技术, 2010, 33(11): 87-89, 93.

[作者简介]



唐丽玉(1972-), 女(汉族), 福建省莆田人, 副研究员, 主要研究方向为地学可视化与虚拟地理环境、虚拟植物;

陈琪(1990-), 男(汉族), 湖南省郴州人, 硕士研究生, 主要研究方向为虚拟地理环境与数字区域模型;

型;

陈崇成(1968-), 男(汉族), 福建闽清县人, 教授, 主要研究方向为地学可视化与虚拟地理环境、空间数据挖掘与地理知识服务;

林定(1977-), 女(汉族), 福建闽侯人, 助理研究员, 主要研究方向为计算机图形学与虚拟地理环境。

(上接第 252 页)

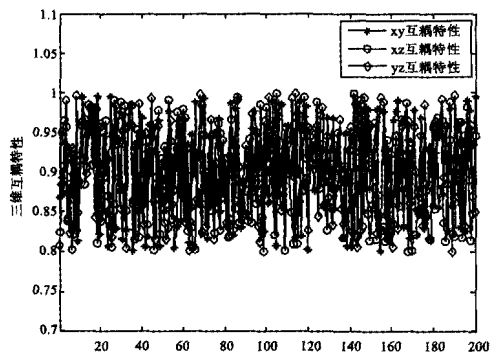


图6 三维互耦特性

最后以国内 10 名专业运动员为对象进行实际测试结果比较,统计结果显示,所有运动员的成绩均得到了提高,平均成绩提高了 22 分,此方法对于排球侧旋球的训练具有很好的指导作用。

参考文献:

- [1] 席冀. 大众保龄球技术等级标准研制[J]. 体育科学, 2013, 33(7): 12-20.

- [2] 李桐, 翟会清, 梁昌洪, 李奇. 矩形开口谐振腔间耦合特性研究[J]. 西安电子科技大学学报, 2013-1: 26-29, 35.
- [3] 陈利丽, 宋笔锋, 宋文萍, 杨文青. 柔性扑翼全机气动结构耦合特性及稳定性研究[J]. 航空计算技术, 2013-1: 32-35.
- [4] 耿开胜, 关建飞. 矩形晶格双芯光子晶体光纤的耦合特性[J]. 中国激光, 2013-3: 152-156.
- [5] 孟彦京, 张洪涛. 多电机负荷分配的耦合特性与控制策略分析[J]. 自动化仪表, 2013-4: 10-13.
- [6] Markella Ponticos, Barbara D Smith. Extracellular matrix synthesis in vascular disease hypertension and atherosclerosis[J]. The Journal of Biomedical Research. 2014, (1).

[作者简介]



李刚(1979-), 男(汉族), 内蒙古五原县人, 硕士研究生, 讲师, 主要研究领域为大学体育。