第 11 卷 第 32 期 2011 年 11 月
1671—1815(2011)32-8036-04

科 学 技 术 与 工 程
Science Technology and Engineering

Vol. 11 No. 32 Nov. 2011
© 2011 Sci. Tech. Engrg.

多视角下运动人体的重光照技术

刘 慧

(中国地质大学(北京),北京 100083)

摘 要 提出了基于图像的运动人体在空间变化光照下的重光照技术。基于图像的重光照技术是利用自然环境的光照图像来照亮现实的或计算机生成的场景及物体的一种方法。介绍了基于图像重光照的步骤,在球形采集系统中采集得到基图像序列,加入环境映照图作为场景环境,通过基图像的比例系数与基图像的结合,获得了逼真的多视角运动人体的光照及环境映射图像。

关键词 重光照 环境光照 基图像 运动人体

中图法分类号 TN911.72; **文献标志码** A

重光照(Relighting)就是将特定的目标对象置身于新的周围环境后,在该目标对象上体现出周围光照情况对它的影响。本质上来说,重光照问题是一个渲染问题,重新打光过程就是一个把环境映射到物体上的过程。重光照技术作为图形学增强现实的一个重要的研究问题,在实时全局光照、真实感图形渲染、数字艺术、电影、文物恢复和混合场景的光照设计等领域有着广泛的应用。

基于图像的重光照(Image-based Relighting)作为图形学中增强现实的一个重要手段而被广泛地研究。其方法主要有两类:一类基于经验光照明模型和场景几何恢复物体材料的光照属性,再根据这些属性生成新光照条件或新视点下同一场景的图像[1]。这类方法允许用户在场景中任意漫游并与场景物体进行交互操作。其缺点是应用全局光照明模型恢复材料的光照属性时,需要知道场景的完整几何和环境光照,在重光照绘制时又很难达到实时。另一类方法基于场景不同视点、光照方向的采样图像,采用合适的基函数对采样图像进行插值拟合等处理,获得以视点和光照方向为变量的重光照函数[2]。以往采集基图像的装置是球体,而本文所用的基图像序列是在椭球体内采集得到的,实验表明,椭球体内采集的基图像能更好地模拟不同情况下的环境光照。

1 多视角运动人体重光照步骤

Debevec 提出了一种有效的方法来测量场景中某一点处的入射光辐射度,结合全局光照算法,在该点处加入新的虚拟物体,自然逼真地绘制出合成的光照效果。一般来讲,基于图像的重光照的基本步骤[3,4]为:

(1) 获取现实世界中的光照作为一幅全方位的(Omni-directional)、高动态范围(High Dynamic Range, HDR)的图像;

(2) 将光照映射成一个场景环境的表示;

(3) 采集运动人体基图像,即将运动人体放置在此环境中;

(4) 从环境中模拟光照,照明运动人体,获得真实的光照及环境映射图像。

2 全景辐射度图原理及球体纹理映射

2.1 全景辐射度图原理

环境映照最初是由 Blinn 等提出的,主要用来近似地模拟景物表面的镜面反射和规则透射折射效果[5]。环境映照技术取景物的中心作为固定视

2011 年 8 月 22 日收到,8 月 25 日修改 国家 863 目标导向类项目(SQ2008AA01Z2471712)资助

点来观察整个场景,并将周围场景的图像记录在以该点为中心的中介表面上,如球面、立方体表面或双曲抛物面等。因而,环境映照实际上以全景图像的方式提供了其中心视点处的场景描述。

全视函数(Plenoptic Function)是由 Adelson 和 Bergen 命名的。Adelson 等用它描述用户在空间中任意点(V_x,V_y,V_z)处,任意时刻 t、任意视角(θ,ψ)、任意波长 λ 范围内所有看到的全部光线集合。全视函数可以表达为:$P=p(\theta,\psi,\lambda,V_x,V_y,V_z,t)$。此表达式说明了,假设观察点位于空间中的($V_x,V_y,V_z$)处,可以通过选择任意的经度角和方位角($\theta,\psi$)以及波长范围 λ 来得到任意的光线。对于动态场景来说,可以通过选择不同的时间 t 来实现。全视函数描述了任意观察点接收到的所有可见光辐射的能量。虽然从总体上看,某一时刻的场景可以用五维的全视函数来描述,但是在每一采样点处,全视函数其实是一个二维函数。全景辐射度图(light probe image)就存储了此二维全视函数的样本。

一幅大小为 1 024 × 512 全景辐射度图(light probe image)见图 1。记录了虚拟物体周围的光照分布信息。全景辐射度图有两个特点:第一,对于在真实环境中的每个方向,全景辐射度图中都要有相应的像素点与之相对应;第二,全景辐射度图中的每个像素点的亮度值必须与真实环境中的光亮度成正比。本质上,全景辐射度图是一种高动态范围的(High Dynamic Range)特殊的环境映照。它具有环境映照的一般特点,即采用二维的编码方式来表示三维的空间信息。高动态范围环境图的生成,可以对光滑的铬球采用不同曝光照相以生成“light probe”[6]。

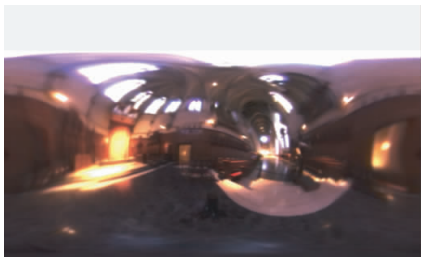

图 1　全景辐射度图(light probe image)

2.2　球体建模与环境纹理映射

中心位于原点,半径是 r 的球面方程是:

$$x^2+y^2+z^2=r^2 \tag{1}$$

将其直角坐标变换为球面坐标

$$\begin{cases} x=r\sin\theta\cos\varphi \\ y=r\sin\theta\sin\varphi \\ z=r\cos\theta \end{cases} \tag{2}$$

式(2)中 φ 指球面上的纬度,θ 是指球面上的经度。对于一个球,φ 的取值范围是 $0\leqslant\varphi\leqslant180°$,$\theta$ 的取值范围是 $0\leqslant\theta\leqslant360°$。使用以下坐标来生成所需的球面:

$$(\varphi,\theta);(\varphi+\Delta\varphi,\theta);(\varphi,\theta+\Delta\theta);(\varphi+\Delta\varphi,\theta+\Delta\theta) \tag{3}$$

可以根据不同的精度要求来选择 $\Delta\varphi$ 和 $\Delta\theta$。

接下来对上述球体进行纹理映射,纹理映射(Texture Mapping)是通过将数字化的纹理图像覆盖或投射到物体表面,从而为物体表面增加细节的过程。将二维纹理图像贴到三维球体表面涉及到球体、全景辐射度图以及顶点坐标和纹理图坐标的对应等问题。

设全景辐射度图的纹理坐标为(u,v),且满足 $u\in[0,1]$,$v\in[0,1]$。根据球面几何知识,则有纹理坐标公式即对应关系:

$$u=(\tan^{-1}(x/z)/2\prod)+1/2 \tag{4}$$

$$v=(\arcsin(y)/\prod)+1/2 \tag{5}$$

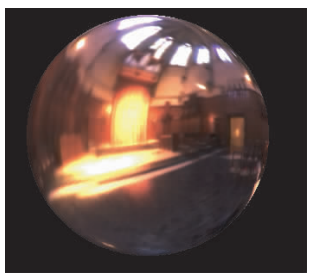

图 2　球面纹理映射结果

在式(4)、式(5)中加上 1/2 的原因是为了使 u、v 坐标的值处于(0.0,1.0)范围内。但在球面的极点会产生纹理聚集现象,其主要原因是极点处的纹理坐标是 1,而在相邻顶点处的纹理坐标是 0。由于纹理坐标的突变而使得纹理聚集。解决的办法是修改

纹理坐标,在上述球面纹理坐标计算中,如果相邻顶点的纹理坐标相差 0.9,则给小的纹理坐标加上 1,这样将消除极点的聚集现象[7]。

将球体的表面按照经纬线分成不同的三角形并分别对其进行绘制。纹理映射的最终结果见图 2,其图像大小为 439 × 327。

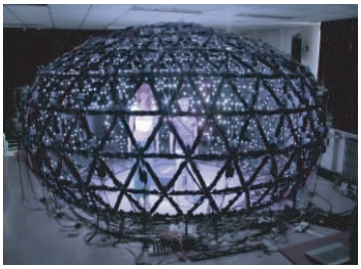

图 3 图像采集系统

3 图像采集与重光照处理

图像采集系统见图 3,图像大小为 3 872 × 2 592,整个椭球上均匀地分布着 2 232 颗 LuxeonK2 型号的全彩 LED 灯,以及分辨率是 656 × 493 外接中断信号触发模式的高速相机 60 台。本实验使用了 4 台高速相机在不同视角下以 120 f/s 速率同步采集 18 种变化光环境下的图像数据,其图像数据通过千兆网卡分别存储到四台计算机中。数据采集完成之后,将四台计算机上的图像数据保存到同一台计算机上进行不同视角下的人体运动重光照处理。处理过程中使用的环境映照图取自 Paul Debevec's light probe gallery[8]。

定义结构体 typedef struct

```
{
float x, y, z;
float u, v;
} VERTEX;
```

此结构体保存球的空间坐标点(x,y,z)及其对应的纹理坐标点(u,v)。将采集系统的球体划分成 18 个区域进行灯光照亮。根据式(3)生成的球面坐标,并取 $\Delta\varphi$ 和 $\Delta\theta$ 对已划分好的 18 个区域进行剖分,并对剖分后的每个区域内的插值点进行纹理映射,通过区域中每点的(u,v)坐标在环境光照图中读出其对应的像素点的 RGB 三通道值。设 18 个区域每个区域的所有插值点的像素值和分别为:

$$n = \{n_1, n_2, \cdots, n_{17}, n_{18}\} \tag{6}$$

球体被划分的每个区域分别照亮,高速相机同步采集得到 18 幅采样基图像,根据算法取其 18 片的光照作为图像合成的系数 c,18 幅图像对应的 18 个系数分别设为:

$$c = \{c_1, c_2, c_3, \cdots, c_{17}, c_{18}\} \tag{7}$$

根据算法,合成系数的具体做法是:

$$c_1 = \frac{n_1}{(n_1 + n_2 + \cdots + n_{18})} \tag{8}$$

其它系数求法类似。高速相机采样的 18 幅图像表示为:$I = \{I_1, I_2, \cdots, I_{17}, I_{18}\}$,取得高速相机拍摄的对应的 18 张图片,与对应的 18 个系数相乘,并加和,最终合成的图像表达式:

$$I = c_1 \times I_2 + c_2 \times I_2 + \cdots + c_{19} \times I_{19} \tag{9}$$

式(9)中 $0 < c_1, c_2, \cdots, c_{17}, c_{18} < 1$ 且 $c_1 + c_2 + \cdots + c_{17} + c_{18} = 1$。

当场景绕中心 y 轴旋转时,旋转矩阵为

$$\begin{bmatrix} \cos\theta_y & 0 & \sin\theta_y \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\theta_y & 0 & \cos\theta_y \end{bmatrix} \tag{10}$$

式(10)中 θ_y 是绕 y 轴旋转的旋转角,其剖分好的 18 个区域内所有插值点对应的纹理坐标也在变化,同时也改变了区域内每个坐标点对应的纹理像素值,从而改变 18 个环境光照系数值,最终获得不同的环境光照下的合成图像。

从每个视角下采集的图像文件中,取出以 18 个区域单独照亮运动人体的 18 张基图像为一组,连续取出 $n(n \geqslant 2)$组,分别对每一组进行重光照,即可得到不同视角下运动人体重光照。

4 实验结果

实验中图像的大小(宽 × 高)均为 493 × 656。

实验是一个演员在图 1 教堂环境里挥动胳膊,同时环境光照以一定的速度在运动人体周围旋转,通过对同一视角每 18 张为一组的基图像进行重光

照处理,即可看到演员身上变化的环境光照,演员的所有动作的基图像是在椭球形光场里采集得到。从实验结果中可以看出,演员身上变化的光照正如他在图 1 环境里表演。图 4 是两个视角下观察运动人体在图 1 环境中的重光照效果。通过实验更进一步地验证,采用提出的人体运动重光照技术可以很好地模拟运动人体在不同环境下的光照,且效果逼真。

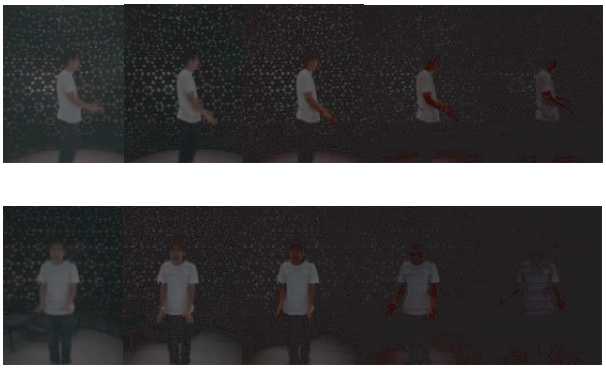

图 4　两个视角下运动人体的重光照效果

5　结论

基于全视函数理论及图像的绘制技术,利用全景辐射度图所含的信息,提出了多视角下运动人体的重光照技术。根据采集场景建立球体模型,并用全景辐射度图进行纹理贴图与映射,根据计算得到模型中每个区域的映射比例系数,将基图像进行合成。实验结果表明,该技术对运动人体在不同环境下的重光照效果良好,实用性强。

参　考　文　献

1　Debevec P. Rendering synthetic objects into scenes: bridging traditional and image-based graphics with global illumination andhigh dynamic range photography. In: Cohen M, ed. Proceedings of the SIGGRAPH'98. New York: ACM Press, 1998: 189—198

2　Wong T T, Heng P A, Or S H, *et al*. Image-based rendering with controllable illumination. In: Dorsey J, Slusallek P, eds. Eurographics Rendering Workshop'97. New York: Springer Wien, 1997:13—22

3　Debevec P. Image-based lighting. IEEE Computer Graphicsand Applications, 2002;22(2):26—34

4　Debevec P. HDRI and image-based lighting. San Diego:Proc SIGGRAPH 2003, Course 19, 2003

5　Blinn J, Newwell M. Texture and reflection in computer generated images. Communications of the ACM,1976;19(10):542—546

6　Debevec P E, Malik J. Recovering high dynamic range radiance maps from photographs. Computer Graphics(Proc. Siggraph97);New York: ACM Press,1997:369—378

7　和平鸽工作室. OpenGL 高级编程与可视化系统开发: 高级编程篇. 北京:中国水利水电出版社,2006

8　Debevec P. Light Probe Image Gallery. http://www. debevec. org/Probes. 2004

The Relighting Technology of Live Action in Different Viewpoints

LIU Hui

(China University of Geosciences(Beijing),Beijing 100083,P. R. China)

[**Abstract**]　A relighting method based Image-based lighting of live action performance mixed with computer generated environment is proposed. Image-based lighting(IBL) is the process of illuminating scenes and objects(real or synthetic)with images of light from the real world. The basic method and steps of IBL are introduced. First, the serial of basic images is collected from spherical system, and a high dynamic range image (HDRI) is loaded as lighting environment, and then proper coefficient multiply each basic imageand synthetic them, so realistic rendered appearances of live action can be produced.

[**Key words**]　relighting　　lighting environment　　image-based　　live action