

ISSN 1009-3044

Computer Knowledge And Technology 电脑知识与技术

Vol.4, No.7, December 2008, pp.1739-1740, 1751

E-mail: eduf@cccc.net.cn

<http://www.dnzs.net.cn>

Tel: +86-551-5690963 5690964

非平坦地面上虚拟人步行的研究

张寒晖

(厦门大学 软件学院 计算机软件与理论, 福建 厦门 361005)

摘要: Bezier 曲线在各种 CAD 系统中, 在大多数图形系统中, 在相关的绘图和图形软件中都有广泛的应用。为了很好的模拟虚拟人在不平坦地面上的步行, 该文利用 Bezier 曲线的良好特性来模拟虚拟人骨盆的运动。

关键词: 虚拟人步行; Bezier 曲线; 骨盆轨迹; 非平坦地面

中图分类号: P391 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3044(2008)34-1739-02

The Research of Virtual Human Walking on Uneven Terrain

ZHANG Han-hui

(Dept. of Computer Software and Theory, Software college, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract: Bezier curve is widely used in such as kinds of CAD systems, graphic systems and graphic softwares. For simulating virtual human walking on uneven terrain, this paper use the great characteristic of Bezier curve to simulate the movement of virtual human's pelvis.

Key words: virtual human walking; Bezier curve; pelvis trajectory; uneven terrain

1 引言

采用逆运动学^[1]方法来模拟虚拟人的步行运动, 首先需要确定下肢的根关节即骨盆的位置。国外对步行运动中骨盆的运动轨迹已进行了许多研究。Girard^[2]在弧形曲线间使用正弦曲线插补法, 用一条分段速度曲线来模拟人体在站立相时的骨盆运动轨迹。Bruderlin 和 Calvert^[3]使用一个简单的动力学模型和控制算法来模拟人体步行。他们假设在基于圆规步态的对称步伐下, 使用两个自由度的可变长伸缩腿来计算骨盆轨迹。Griard 和 Bruderlin 的方法可以很好地模拟人体正常步行步态下的骨盆运动。但是在模拟不平坦地形下人体的步行时, 他们的方法就无法生成所需的骨盆运动轨迹。

Bezier 曲线拥有很多更好, 更方便地用于曲线和曲面设计的性质, 并且也更容易实现。我们根据 Bezier 曲线的优良性质, 用来模拟骨盆运动轨迹, 不仅很好的实现了虚拟人在地面上的运动, 同时也很好的实现了在不平坦地面上的步行。

2 Bezier 曲线

Bezier 曲线是法国工程师 Pierre Bezier 为雷诺公司设计汽车车身而开发的。Bezier 方法将函数逼近同几何表示结合起来, 使得设计师在计算机上就象使用作图工具一样得心应手。

Bezier 曲线的公式如下^[4]:

假设给出 $n+1$ 个控制点位置: $P_k=(X_k, Y_k, Z_k)$, 这里 k 可以取 0 到 n 。这些坐标点将混合产生下列位置向量 $P(u)$, 用来描述 P_0 和 P_n 间逼近 Bezier 多项式函数的路径:

$$F(u) = \sum_{k=0}^n p_k BEZ_{k,n}(u), 0 \leq u \leq 1 \quad (1)$$

Bezier 混合函数 $BEZ_{k,n}(u)$ 是 Bernstein 多项式:

$$BEZ_{k,n}(u) = C(n, k) u^k (1-u)^{n-k} \quad (2)$$

这里, 参数 $C(n, k)$ 是二项式系数:

$$C(n, k) = \frac{n!}{k!(n-k)!} \quad (3)$$

3 骨盆的运动分析

骨盆作为整个下肢运动的根关节, 其轨迹决定了人体步行运动的轨迹。同时我们需要找出骨盆的运动轨迹来实现逆运动学。然而找出骨盆运动对于虚拟人运动是一件很复杂的工作。

根据 Saunder 提出的理论^[5-6], 在人体运动过程中, 骨盆的运动主要有下面三个部分:

1) 骨盆旋转: 骨盆绕其中心处的垂直轴线做小幅度旋转运动(旋转角度一般取 ± 4 度为宜), 当步幅增大时, 骨盆运动轨迹线的圆弧段将变得平坦(即半径增大)。在脚跟触地的瞬间, 骨盆的旋转角度达到最大, 然后随着腿的摆动逐渐向另一个方向旋转。

2) 骨盆倾斜: 骨盆允许倾斜, 则其轨迹线的圆弧段将变得比较平坦。事实上, 此时位于摆动腿一侧的腰部位置低于支撑腿一侧的腰部。这一动作通常当在双腿支撑期结束, 摆动腿脚趾离地后立即发生。其直接后果是摆动腿的膝盖必须弯曲, 否则, 该腿将与地面相碰。当摆动腿经过支撑腿时, 骨盆的倾斜角达到最大值。骨盆倾斜角平均为 5 度。

3) 骨盆侧向的位移: 这一模式是模拟行走过程中由于人体重心偏移而引起的骨盆左右移动, 移动的幅度在 4cm 到 5cm 左右。两条腿在步行过程中并不是处在两个互相平行的平面内, 在前进过程中, 摆动腿会向内倾斜, 使两脚间的距离减小, 以减少骨盆侧向位移的距离。

收稿日期: 2008-11-01

作者简介: 张寒晖(1984-), 男, 福建人, 厦门大学软件学院硕士研究生, 研究方向: 虚拟现实、三维仿真。

4 Bezier 曲线在骨盆运动轨迹中的应用

4.1 矢状面骨盆运动轨迹分析

大量的人体步态观察资料已经显示人体步行中骨盆运动轨迹的形状类似于一条平滑正弦曲线^[7]。

在矢状面上(将 3D 曲线映射到 YZ 平面上),骨盆在摆动相的中间时刻(即 mid-stance, MS)经过垂直方向的最高点,而在双腿支撑期的中间时刻(MDS)经过垂直方向的最低点。MDS 所处的时刻正好是两个连续的 MS 时刻的中间点,但是 MDS 的骨盆位置可以在两个 MS 骨盆位置中间的任意位置,如图 1 所示。

4.1.1 Bezier 曲线的应用

在我们的系统中,基于以下几个方面的考虑,我们选择 Bezier 曲线来模拟人体运动的骨盆轨迹:

- 1) Bezier 曲线通过的两个端点可以很好地表示骨盆正弦曲线的垂直方向上的最高点和最低点。
- 2) 由于骨盆的局部行为,在步态周期中骨盆变化的水平速率可以通过调整中间的控制点来模拟。
- 3) 可以通过调整一个或两个控制点来轻松地改变 Bezier 曲线,而计算量也是合理的。

使用 Bezier 曲线来表示运动中骨盆运动曲线的几何形状,首先必须适当地放置控制点,由以上矢状面上骨盆运动轨迹的分析,我们可以选取 MS 时刻骨盆的位置和 MDS 时刻骨盆的位置作为 Bezier 的两个端点。

4.1.2 Bezier 曲线控制点的选取算法

MS 时刻骨盆的位置相对好确定,根据人体步行的速度及人体的身高及膝关节的弯曲度即可求出该时刻骨盆的位置。

对于 MDS 时刻骨盆的位置,由于它可以在两个 MS 骨盆位置中间的任意位置,所以该时刻的每一个骨盆的可能的位置都可以定义一条骨盆运动曲线,所以给定在 MDS 时刻骨盆的位置,我们采用一种优化方法,这种方法通过最小化支撑期支撑腿各关节的角加速度和,来衡量结果曲线^[7]:

$$\nabla \left[\sum_{i=1}^3 W_i \int_{t_{start_support}}^{t_{mid_support}} f_i(t) d^2 t + \sum_{j=1}^3 W_j \int_{t_{mid_support}}^{t_{end_support}} f_j(t) d^2 t \right] \quad (4)$$

其中 W_i 是关节 i 的权重因子; $f_i(x)$ 是在 x 时刻通过逆运动学计算得到的第 i 个关节角。

对于支撑腿来讲,因为踝关节(末端效应器)的轨迹是知道的,给出支撑期骨盆的轨迹,就可以应用逆运动学来计算支撑期支撑腿的中间关节的角度。在目标函数中,权重因子定义了一个给定关节的相对重要性和贡献度。我们将规格化的各关节自由度参数作为目标函数中默认的权重因子。用户可以任意地调整这些权重因子来生成不同的步态特征。

如图 1 所示,MDS(pt2)时刻的骨盆位置是在两个 MS(pt1 和 pt3)时刻骨盆位置中间区域 A 的某个位置。首先,区域 A 被细分成一个 5x5 的网格。每个单元格的中心位置通过我们的目标函数来衡量,得到一个最优结果。然后,最优结果的网格再被细分成一个 5x5 网格。与前一步骤相同,每一个新的细分网格的中心位置通过我们的目标函数来衡量,得到一个最优结果。我们选择二级网格的最优中心位置作为 MDS 时刻的骨盆的位置,并构成逆运动学动画的骨盆曲线。通过使用这种二级细分方法,区域 A 被细分成 625 个子区域。因此,这个子区域中,只有少于 1/12 的子区域(由于不在关节链的工作空间内,其中的大多数可以在早期的衡量中排除)需要衡量以找到最好的曲线,而不是全部。

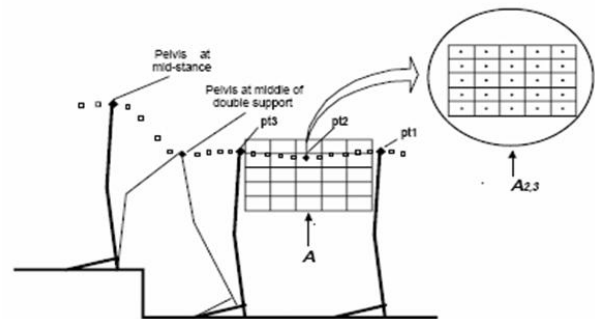


图 1 在连续的 MS 时刻骨盆的位置

```
//两级细分,每一级细分成 5x5 网格
for(l=1; i<=25; i++)
{
//建立骨盆曲线;
t=0;
while(t<=1.0)
{
t=t+Δt;
//找出 t 时刻骨盆和脚跟的位置;
//应用反向运动学得到中间关节角度;
score(i)=score(i)+目标函数;
}
if(score(i)<min_score)
min_score=score(i);
}
return(i);
```

5 实验结果

应用上述方法,我们在 Microsoft VC++.NET 平台下编写了虚拟人步行中骨盆运动轨迹的实验程序,并通过了调试。如图 2 所示。

图 2 中最上面的曲线是骨盆在竖直方向上的运动轨迹曲线(实际轨迹曲线上移),我们的下肢即沿着这条运动。从图中可以看出,这种方法不仅可以很好的模拟平坦地面上虚拟人骨盆运动的轨迹,同时也能很好的模拟在非平坦地面(如图所示的阶梯)上骨盆运动的轨迹。

6 结论

在我们的系统中,主要是给出的是骨盆在竖直方向上的运动,由此得到的曲线为矢状面的运动轨迹。要真实的模拟骨盆的运动,还需要进一步研究水平面上的运动轨迹。通过向量组合两条运动轨迹,得到的才是三维空间中骨盆的运动轨迹,这是我们下一步所要做的工作。

(下转第 1751 页)

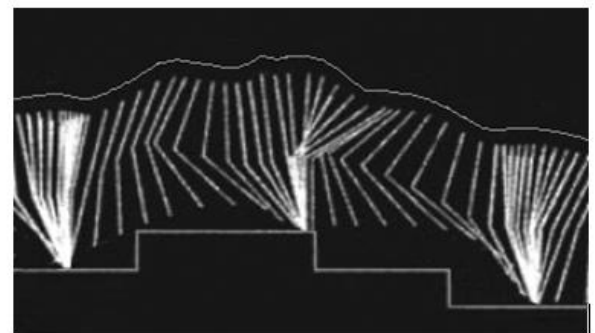


图 2 非平坦地面上虚拟人骨盆运动轨迹

屏幕宽度, $m_rect.height$ 保存 Windows 高度。那么, 对应的视口坐标为:

$$x_v = \text{point } x \quad (7)$$

$$y_v = \text{retc.bottom} - \text{point } y \quad (8)$$

将(7)式代入(5)式中, 有:

$$x = \frac{(\text{point } .x - vx) \times (\text{right} - \text{left}) \times z}{\text{width} \times \text{near}} + \frac{\text{left} \times z}{\text{near}} \quad (9)$$

将(8)式代入(6)式, 有:

$$y = \frac{(m_rect.bottom - \text{point } y - vy) \times (\text{top} - \text{bottom}) \times z}{\text{height} \times \text{near}} + \frac{\text{bottom} \times z}{\text{near}} \quad (10)$$

式(9)和(10)即是 Windows 屏幕坐标(point x , point y)到视景体中坐标(x , y)

的转换公式。若是采用平行投影, 此时视景体中的点投影到窗口上 x 坐标和 y 坐标都没有变, 直接根据式(3)和(4), 有:

$$x = \frac{(x_v - vx) \times (\text{right} - \text{left})}{\text{width}} + \text{left} \quad (11)$$

$$y = \frac{(y_v - vy) \times (\text{top} - \text{bottom})}{\text{height}} + \text{bottom} \quad (12)$$

在 Windows 编程中, 屏幕上任何一点的坐标可以方便地用鼠标事件等方法获得。该公式能够通过获得屏幕坐标逆向算出视景体中的坐标, 在交换式图形图像编程中有广泛的应用。

4 基于 MFC 的实现

MFC(Microsoft Foundation Class)提供了完善的基础类库, 其框架下的消息相应机制和多态性给程序设计带来了极大的方便。OpenGL 是一个与平台无关的三维图形接口, 采用客户/服务器机制, 服务器解释绘图命令。那么像素格式管理和渲染环境管理必须通过由其他语言和平台来设置。OpenGL 图形库被封装在一个动态链接库 OpenGL32.DLL 中, 客户应用程序调用的 OpenGL 函数均在此动态链接库中处理, 然后传给服务器 WINSRV.DLL, 处理后再传给 Win32 的设备驱动接口, 这样视频显示驱动就能处理显示了。OpenGL 采用渲染描述表(Render Context)的绘图方式, 与 Windows 的 GDI 绘图方式不同。一种实现方式如下:

1) 加入 OpenGL 头文件; 设置全局变量。

2) 在视图类的 PreCreateWindow 方法中设置窗口类型风格支持 OpenGL 绘图; `cs.style=WS_CHILD|WS_VISIBLE|WS_CLIPCHILDREN|WS_CLIPSIBLINGS`。

3) 在视图类的 OnCreate 方法中设置像素格式, 明确绘制风格、颜色模式、颜色深度等重要信息; 设置 OpenGL 操作所必须的渲染描述表 RC 与 DC 的关联; 还可以设置投影变换和视口变换。

4) 改写 OnSize 方法。该方法在视图尺寸发生变化的时候激发, 此时要通知 OpenGL 进行改变图形大小等操作, 主要是设置 glViewport 函数。

5) 改造 OnDraw 函数。在这个函数中完成每次的屏幕绘制, 包括三维几何变换和颜色、光照和纹理信息的处理。

6) 若要获取鼠标的 Windows 坐标, 进行交互式绘图, 可以改写 OnLButtonDown 函数, 将鼠标位置参数转换为视景体中的坐标位置, 然后调用 OnDraw 函数绘制。

7) 在 OnDestroy 函数中释放渲染描述表 RC 等资源。

5 结束语

本文从坐标变换的角度探讨了 OpenGL 绘制三维图形的过程, 推导了 Windows 坐标和 OpenGL 坐标相互转换关系, 并提供了一种 MFC 绘制 OpenGL 图形的方法。这些方法在笔者进行的人脸建模中得到了应用, 方便了坐标拾取, 实现了鼠标点选和微调特征点。总之, 本文提出的方法提供了 OpenGL 坐标反馈机制, 拓宽了 OpenGL 绘图应用, 方便了交互图形编程。

参考文献:

[1] 杨钦, 徐永安, 瞿红英. 计算机图形学[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
 [2] 僧德文, 李仲学, 李春明, 等. 基于 OpenGL 的真实感图形绘制技术及应用[J]. 计算机应用研究, 2005(3): 173-175.
 [3] 林夏菲, 陈磊, 熊辉. OpenGL 中关于坐标使用常见问题的分析[J]. 电脑知识与技术, 2008, 2(1): 130-131, 137.
 [4] 高美真, 黄娇青. OpenGL 中的图形变换[J]. 焦作师范高等专科学校学报, 2006, 22(2): 51-53.
 [5] 蒲玮. OpenGL 与 Windows 坐标转换技术的研究[J]. 电脑开发与应用, 2008, 21(1): 8-10.
 [6] Richard S W, Jr Benjamin L. OpenGL 超级宝典[M]. 3 版. 徐波, 译. 北京: 人民邮电出版社, 2005.
 [7] 徐明亮, 卢红星, 王琬. OpenGL 游戏编程[M]. 北京: 机械工业出版社, 2008.

(上接第 1740 页)

参考文献:

[1] Steketee S N, Badler N I. Parametric Keyframe Interpolation Incorporating Kinetic Adjustment and Phrasing Control [C]. Proceedings of SIGGRAPH '85, 1985: 255-262.
 [2] Girard M. Interactive Design of 3D Computer-Animated Legged Animal Motion[J]. IEEE Computer Graphics and Applications, 1987, 7(6): 39-51.
 [3] Bruderlin A, Calvert T W. Goal-Directed Dynamic Animation of Human Walking[J]. Computer Graphics, 1989(23): 233-242.
 [4] Hearn D, Baker M P. Computer Graphics with OpenGL, Third Edition[M]. Publishing House of Electronics Industry, 2005: 355-362.
 [5] Saunder J B, Inman V T, Eberhart H D. The major determinants in normal and pathological gait[J]. J Bone Joint Surgery, 1953(35): 543-558.
 [6] 乔立, 苏鸿根. 基于分运动叠加的个性化虚拟人步行姿态研究[J]. 计算机工程与设计, 2004(1): 126-129.
 [7] Chung S K, Hahn J K. Animation of Human Walking in Virtual Environments[J]. Computer Animation, 1999: 4-15.

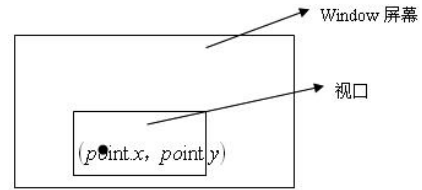


图 6 Windows 窗口到视口的转换