

基于 Catmull - Rom 插值算法的 二维图像的三维显示

叶家鸣, 钱 萌, 程树林

(安庆师范学院 计算机与信息学院, 安徽 安庆 246011)

摘 要:在数字图像处理领域,有时需要从三维的角度观察图像。文中提出了一种二维图像的三维显示方法:首先利用 Catmull - Rom 插值算法对原图像进行缩放处理,再利用 OpenGL 绘制小三角形面片生成二维图像的三维平滑曲面,然后利用光照技术生成二维图像的三维显示效果。实验表明,在对原图像施行 Catmull - Rom 插值处理之后,图像的三维显示效果比没有施行插值要平滑得多,并且也没有出现马赛克现象,这说明该算法是有效的。

关键词:Catmull - Rom 插值;光照;三角形面片

中图分类号:TN911.73

文献标识码:A

文章编号:1673 - 629X(2007)10 - 0234 - 03

Three - Dimensional Viewing of Two - Dimensional Image Based on Catmull - Rom Interpolation Algorithm

YE Jia-ming, QIAN Meng, CHENG Shu-lin

(School of Computer & Information, Anqing Teachers College, Anqing 246011, China)

Abstract:In the field of digital image processing, sometimes it's necessary to view an image from a three - dimensional(3 - D) angle. A method of 3 - D viewing of 2 - D image was introduced in this article. First the original image was scaled with Catmull - Rom interpolation algorithm, then functions were invoked from OpenGL to draw triangle facets to produce smooth 3 - D surface of the image, and in the end, OpenGL lighting was used to produce 3 - D effect. It was demonstrated by experiment that the result image was much more smooth when the original image was processed with the algorithm than that was not processed with the algorithm, and the mosaic was not appeared. This proved the algorithm was effective.

Key words:Catmull - Rom interpolation; lighting; triangle facets

0 引 言

在数字图像处理领域,有时需要从三维的角度观察图像^[1],即二维图像的三维显示,可以用于图像识别和图像检索。如果是二值图像或图像的内容比较简单,可以直接显示其三维图像;如果图像的内容比较复杂,在显示其三维图像时,会出现尖锐的凸起和凹陷,所以需要对图像做一些平滑处理,最主要的平滑处理有:滤波、插值等^[2]。

1 Catmull - Rom 插值算法描述

滤波处理虽然能够得到图像的平滑的三维显示效果,但相对于原图像,其内容有很大的失真,为了不引起失真,而又能够显示二维图像平滑的三维图像,首先

对图像进行放大处理,图像的放大算法很多,近邻插值法(又称0阶插值法)最为简单,缺点是输出的图像容易产生明显的“马赛克”现象,为了使放大后的图像不产生“马赛克”,这里采用了 Catmull - Rom 插值算法。图1所示为 Catmull - Rom 样条示意图,其中 P_0 、 P_1 、 P_2 和 P_3 是控制点, Catmull - Rom 样条的一个最大的特点就是所生成的曲线通过所有的控制点。定义一个浮点坐标 t , $t \in [0.0, 1.0]$, 当 $t = 0.0$ 时,即为 P_1 点,当 $t = 1.0$ 时,即为 P_2 点,当 t 在 $[0.0, 1.0]$ 之间变化时,所描绘的曲线方程 $Q(t)$ 如式(1)所示,该曲线是一种3次的分段插值样条,能够保持 C^1 连续^[3]。

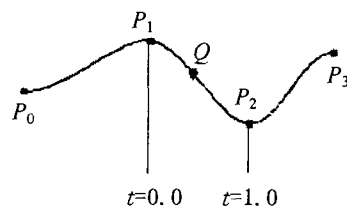


图1 Catmull - Rom 样条

收稿日期:2006 - 12 - 21

基金项目:安徽省教育厅自然科学基金项目(2005KJ366zc)

作者简介:叶家鸣(1972 -),男,安徽安庆人,讲师,研究方向为计算机图形学、数字图像处理。

$$Q(t) = 0.5 \times [1 \ t \ t^2 \ t^3] \begin{bmatrix} 0 & 2 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 1 & 0 \\ 2 & -5 & 4 & -1 \\ -1 & 3 & -3 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_0 \\ P_1 \\ P_2 \\ P_3 \end{bmatrix} \quad (1)$$

2 Catmull-Rom 样条用于图像放大的算法

由于 Catmull-Rom 样条具有 C^1 连续的性质,因此该样条用于图像的放大的算法中,使放大后的图像不会出现“马赛克”现象。该算法的具体实现如下^[4]:

首先要对原图像进行调整,设输入一幅 $m \times n$ 的彩色图像, $G_{i,j}$ ($1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n$) 表示 (i,j) 像素点的灰度值,采用外向插值法,在上下左右方向各扩充一个像素后, $G_{i,j}$ ($0 \leq i \leq m+1, 0 \leq j \leq n+1$), 扩充点的像素颜色值可由式(2) 计算:

$$\begin{aligned} G_{0,j} &= 2G_{2,j} - G_{1,j}, 1 \leq j \leq n \\ G_{m+1,j} &= 2G_{m-1,j} - G_{m,j}, 1 \leq j \leq n \\ G_{i,0} &= 2G_{i,2} - G_{i,1}, 1 \leq i \leq m \\ G_{i,n+1} &= 2G_{i,n-1} - G_{i,n}, 1 \leq i \leq m \\ G_{0,0} &= G_{1,2} + G_{2,1} - G_{1,1} \\ G_{0,n+1} &= G_{1,n-1} + G_{2,n} - G_{1,n} \\ G_{m+1,0} &= G_{m-1,1} + G_{m,2} - G_{m,1} \\ G_{m+1,n+1} &= G_{m-1,n} + G_{m,n-1} - G_{m,n} \end{aligned} \quad (2)$$

图 2 为双向插值原理图,其中: (I,J) 为输出图像任意点的坐标, $Q_{I,J}$ 表示该点的颜色值,该值可以通过 (I,J) 对点附近 4×4 个像素点 $(i+k, j+l)$ (其中 $-1 \leq k \leq 2, -1 \leq l \leq 2$) 的颜色值 $G_{i+k, j+l}$ 进行双向 Catmull-Rom 插值得到。

$$\begin{array}{cccc} G_{i-1,j-1} & G_{i-1,j} & G_{i-1,j+1} & G_{i-1,j+2} \\ G_{i,j-1} & G_{i,j} & G_{i,j+1} & G_{i,j+2} \\ & & Q_{I,J} & \\ G_{i+1,j-1} & G_{i+1,j} & G_{i+1,j+1} & G_{i+1,j+2} \\ G_{i+2,j-1} & G_{i+2,j} & G_{i+2,j+1} & G_{i+2,j+2} \end{array}$$

图 2 双向插值原理图

设原图像横纵方向的缩放率分别为 M 和 N , 输出图像的大小为 $mM \times nN$, 图 2 中原图像坐标 (i,j) 为:

$i = (\text{int}) \frac{I}{M}, j = (\text{int}) \frac{J}{N}$, 其中 int 表示取整。设 $x = \frac{I}{M}, y = \frac{J}{N}$, 则 x 和 y 均为浮点数, 设横纵方向插值浮点坐标分别为 t_i 和 t_j , 其值可由式(3) 计算, 它们均在 $[0.0, 1.0]$ 区内:

$$\begin{cases} t_i = x - i \\ t_j = y - j \end{cases} \quad (3)$$

由此可以写出算法的伪代码如下(以像素灰度值的计算为例):

for(输出图像中的每个像素 $G_{I,J}, 0 \leq I < mM, 0 \leq J < nN$ 的灰度值)

{

$$x = \frac{I}{M}, y = \frac{J}{N}$$

$$i = (\text{int}) \frac{I}{M}, j = (\text{int}) \frac{J}{N}$$

$$t_i = x - i; t_j = y - j$$

for($k = 0; k < 4; k++$) {

$$\text{在输入图像中以} \begin{cases} P_0 = G_{i+k,j} \\ P_1 = G_{i+k,j+1} \\ P_2 = G_{i+k,j+2} \\ P_3 = G_{i+k,j+3} \end{cases} \text{为插值节点, 以 } t_i$$

为浮点坐标, 根据式(1) 进行水平方向插值计算, 结果记为 $Q(i+k)$

{

由上面计算出的 $Q(i), Q(i+1), Q(i+2)$ 和 $Q(i+3)$ 作为插值节点的值, 以 t_j 为浮点坐标, 根据式(1) 进行垂直方向插值计算, 结果为输出图像 $G_{I,J}$ 的值

}

3 用 OpenGL 实现图像的三维显示

3.1 图像的三维坐标表达

经过上述插值处理后的图像可用于三维显示。图像的三维坐标表达如下: x 为图像的列; y 为图像的行; z 为 $z = f(x, y)$ 是关于 (x, y) 点的函数。 f 可以取 (x, y) 像素点处的灰度值; 也可以取像素颜色的某个分量, 如: 红色分量、蓝色分量和绿色分量; 也可以取色调、饱和度等。

3.2 设置三维场景

调用 OpenGL 函数库函数, 启用光照, 设置材质属性, 这样显示的三维图像才具有真实感^[5]。使用 OpenGL 绘制小三角形面片, 多个小三角形面片组成曲面, 达到二维图像的三维显示, 还可以通过 OpenGL 的模型视图变换从不同角度观看三维图像, 除了用二维图像本身对生成的小三角形面片进行纹理映射外, 还可以用其他的纹理对其进行映射, 丰富三维图像的显示效果。

3.3 小三角形面片的三个顶点的坐标确定

图 3 所示的 $\square ABCD$ 为边长等于 1 的正方形, 由图像中四个相邻像素组成。 A 点代表二维图像中某像素, 该像素位于图像的第 y 行, 第 x 列, 在二维平面中,

该点的坐标为 (x, y) , B, C, D 三点为 A 点相邻点, 分别位于 A 点的上方、右上方和右边, 在三维空间中, A, B, C, D 点的坐标分别为:

$$A(x, y, -z_1)$$

$$B(x, y+1, -z_2)$$

$$C(x+1, y+1, -z_3)$$

$$D(x+1, y, -z_4)$$

$$z_1 = f(x, y)$$

$$z_2 = f(x, y+1)$$

$$z_3 = f(x+1, y+1)$$

$$z_4 = f(x+1, y)$$

绘制的小三角形为: $\triangle ABC$ 和 $\triangle ACD$ 。

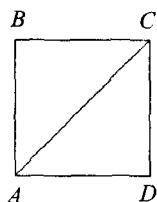


图 3 四个相邻像素组成的正方形

在三维空间中显示时, 这四点的坐标还要按式(4)进行转换。

$$\begin{cases} x = xf_x - 2 \\ y = yf_y - 2 \\ z = zf_z \end{cases} \quad (4)$$

其中:

$$\begin{cases} f_x = 4.0/w \\ f_y = 4.0/h \\ f_z = 2.0/255 \end{cases}$$

w 和 h 分别为图像的宽度和高度。这样变换之后的坐标范围为: $x \in [-2, 2], y \in [-2, 2], z \in [0, 2]$, 使得显示的三维图形在视景体内。

3.4 设置法向量

分别为 $\triangle ABC$ 和 $\triangle ACD$ 平面设置法向量, 这样光照效果才能显示出来。由于三点共面, 所以 $\triangle ABC$ 和 $\triangle ACD$ 可以分别确定一个平面, 每个平面对应一个法向量 n , 法向量与平面垂直。调用函数 OpenGL 函数 $glNormal * ()$ 设置法向量。

对于 $\triangle ABC$, $n = AB \times CB$, 其中: $AB = (0, -1, z_2 - z_1)$, $CB = (1, 0, z_2 - z_3)$, 则 $n = (z_3 - z_2, z_2 - z_1, 1)$ 。

对于 $\triangle ACD$, $n = AD \times CD$, 其中: $AD = (-1, 0, z_4 - z_1)$, $CD = (0, 1, z_4 - z_3)$, 则 $n = (z_4 - z_1, z_3 - z_4, 1)$ 。

在 OpenGL 的初始化中, 还要使能向量的规范化, 即调用函数 $glEnable()$, 并调用参数 $GL_NORMALIZE$

IZE, 便自动计算向量的单位向量值。

4 二维图像的三维显示效果

这里对施加插值和没有施加插值算法的效果进行了对比。图 4 为原始图像, 图 5 为未对原始图像进行插值处理后的三维效果, 图 6 为对原始图像施加了基于 Catmull-Rom 插值算法处理之后的三维效果, 其放大倍数为 4×4 。



图 4 原始图像

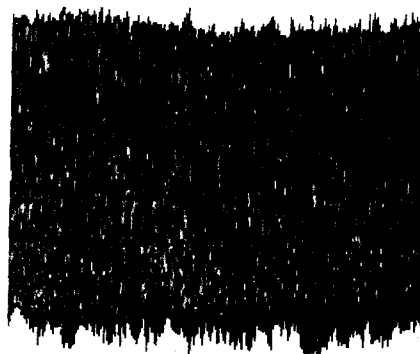


图 5 没有施行插值算法的三维显示效果

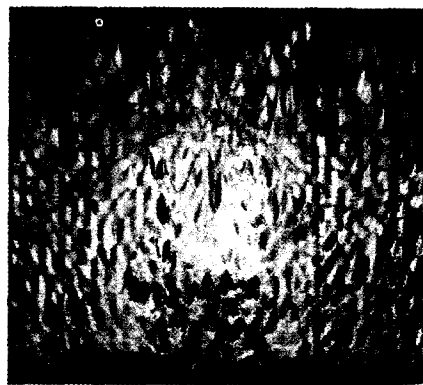


图 6 施行插值算法的三维显示效果

由于原始图像经 4×4 放大后的图像比较大, 在显示其三维效果时, 只选取了放大后的图像的一部分。

5 结 论

由此可见, 在实行 Catmull-Rom 插值算法之后,

(下转第 241 页)

具体算法及其优缺点和其适用的环境。

参考文献:

- [1] 苏延辉, 韦 欢, 费广正, 等. 非真实感绘制技术研究[J]. 中国传媒大学学报: 自然科学版, 2006(13): 66 - 68.
- [2] 王翱宇. 非真实感渲染若干技术的研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2005.
- [3] 华才健. 非真实感绘制相关技术的研究与实现[D]. 绵阳: 西南科技大学, 2005.
- [4] Perona P, Malik J. Scale - Space and Edge Detection Using Anisotropic Diffusion[J]. IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1990, 12(7): 629 - 639.
- [5] 王翱宇, 唐 敏, 童若锋, 等. 非真实感绘制中轮廓线检测技术综述[J]. 计算机应用与软件, 2006(23): 102 - 104.
- [6] Gooch A, Gooch B. Using Non - photorealistic rendering to communicate shape[C]//in SIGGRAPH'99 Course Notes, Section8. Los Angeles: [s. n.], 1999.
- [7] Zhang H, Hoff K. Fast backface culling using normal masks [C]//In Ded C Z. 1997 Symposium on Interactive 3D Graphics. Providence, Rhode Island: [s. n.], 1997: 103 - 106.
- [8] Markosian L, Kowalski M A, Goldstein D, et al. Real - time Non - Photorealistic Rendering[C]//Proceedings of the 24th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques. New York, NY, USA: ACM Press, 1997: 415 - 420.
- [9] Saito T, Takahashi T. Comprehensible Rendering of 3D Shapes [C]//In proceedings of SIGGRAPH90. New York, NY, USA: ACM Press, 1990: 197 - 206.
- [10] Decaudin P. Cartoon - Looking Rendering of 3D - Scenes[R]. Technical Report 2919, INRIA: ACM Press, 1999.
- [11] Mitchell J L, Brennan C, Card D. Real - Time Image Space Outlining for Non - Photorealistic Rendering[C]//In ACM SIGGRAPH Conference Abstracts and Applications. New York, NY, USA: ACM Press, 2002.
- [12] Gooch B, Sloan P J, Gooch A, et al. Interactive Technical Illustration[C]//In proceedings of the 1999 Symposium on Interactive 3D Graphics. Atlanta, Georgia, United States: [s. n.], 1999: 31 - 38.
- [13] Raskar R, Cohen M. Image Precision Silhouette Edges[C]//In proceedings of the 1999 Symposium on Interactive 3D Graphics. Atlanta, Georgia, United States: [s. n.], 1999: 135 - 140.
- [14] Hertzmann A. Introduction to 3D Non - Photorealistic Rendering: Silhouettes and Outlines[C]//SIGGRAPH'99. New York, NY, USA: ACM Press, 1999.
- [15] Benichou F, Elber G. Output Sensitive Extraction of Silhouettes from Polygonal Geometry[C]//In Proceedings of the 7th Pacific Conference on Computer Graphics and Applications. New York, NY, USA: ACM Press, 1999: 60 - 69.
- [16] Buchanan J W, Sousa M C. The Edge Buffer: A Data Structure for Easy Silhouette Rendering[C]//In proceedings of the 1st International Symposium on Non - photorealistic Animation and Rendering. Annecy, France: [s. n.], 2000: 39 - 42.
- [17] Appel A. The Notion of Quantitative in visibility and the Machine Rendering of Solids[C]//Proceedings of the 1967 22nd National Conference. Washington, D. C, United States: [s. n.], 1967: 387 - 393.
- [18] Markosian L. Art - based Modeling and Rendering for Computer Graphics[D]. Brown: Brown University, 2000.
- [19] Raskar R. Hardware Support for Non - photorealistic Rendering[C]//In Proceedings of SIGGRAPH/Eurographics Workshop on Graphics Hardware. [s. l.]: ACM Press, 2001: 41 - 46.
- [20] Durand F. An invitation to discuss computer depiction[C]//Proceedings of the second international symposium on Non - photorealistic animation and rendering, NPAR2002. New York, USA: ACM Press, 2002: 111 - 124.
- [21] Masuch M, Schumann L, Schlechtweq S. Animating Frame - to - Frame Coherent Line Drawings for Illustrative Purposes [C]//In Proceedings of Simulation and Visualisierung, SCS Europe. [s. l.]: [s. n.], 1998: 101 - 112.

(上接第 236 页)

图像的三维显示效果比没有实行插值要平滑得多, 在进行了 4×4 放大之后, 也没有出现马赛克现象, 这说明算法是有效的。在显示二值图像或内容比较简单的图像的三维图像时, 往往不对其进行插值处理, 也能实现比较好的三维显示效果。

参考文献:

- [1] Sonka M, Hlavac V, Boyle R. 图像处理、分析与机器视觉 [M]. 第 2 版. 北京: 人民邮电出版社, 2002.
- [2] 和平鸽工作室. OpenGL 高级编程与可视化系统开发——高级工程篇 [M]. 第 2 版. 北京: 中国水利水电出版社, 2003.
- [3] Dunlop R. Introduction to Catmull - Rom Splines[EB/OL]. 2002. <http://www.mvps.org/directx/articles/catmull/>.
- [4] 江巨浪, 张佑生. 一种基于 C^2 连续 Catmull - Rom 样条的图像放大方法[J]. 合肥工业大学学报: 自然科学版, 2006, 29(4): 386 - 388.
- [5] Woo M, Neider J, Davis T, et al. OpenGL 编程权威指南 [M]. 第 3 版. 吴 斌, 段海波, 薛凤武译. 北京: 中国电力出版社, 2001.