

基于双三次 Bezier 曲面在球体建模中的应用

孔令德 康凤娥

(太原工业学院 山西 太原 030008)

摘要 传统球体建模的几何元素是由非参数表示的数学方程生成,建模过程繁琐,不易形变生成其他模型。针对这些不足,提出基于双三次 Bezier 曲面的球体建模方法。采用 de Casteljau 细分算法,反求圆和椭圆的双三次 Bezier 曲面的控制点,获得了影响 Bezier 曲面控制点的魔术常数,给出了球体双三次 Bezier 曲面的控制点坐标,实现了基于三次 Bezier 曲面的三维球体、椭球体网格模型的绘制。通过调整控制点参数,生成了类似蛋形体以及苹果体等曲面体网格模型。实验结果表明,魔术常数为计算旋转体模型的控制点提供了新的技术支持,Bezier 方法进行三维建模具有很强的设计灵活性和实用性。

关键词 计算机应用 双三次 Bezier 曲面 de Casteljau 细分算法 控制点

中图分类号 TP391.7 **文献标识码** A **DOI**:10.3969/j.issn.1000-386x.2017.05.015

APPLICATION OF SPHERICAL MODELING BASED ON BICUBIC BEZIER SURFACE

Kong Lingde Kang Feng'e

(Taiyuan Institute of Technology, Taiyuan 030008, Shanxi, China)

Abstract The geometrical elements of traditional sphere modeling are generated by non-parametric mathematical equation, and the modeling process is complicated and difficult to be deformed to generate other models. Aiming at these problems, this paper proposes a spherical modeling method based on bicubic Bezier surface. Using the De Casteljau subdivision algorithm, the control points of the bicubic Bezier surface of circle and ellipse are solved, the magic constants of the Bezier surface control points are obtained, and the control point coordinates of the bicubic Bezier surface are given. It realizes the drawing of three-dimensional sphere and ellipsoidal grid model based on bicubic Bezier surface. By adjusting the parameters of the control points, a surface grid mode, which is similar to the egg body and the apple body, is generated. The experimental results show that the magic constants provide a new technical support for calculating the control points of the rotating body model, and the Bezier method has a strong design flexibility and practicability for three-dimensional modeling.

Keywords Computer application Bicubic Bezier surface De Casteljau subdivision algorithm Control point

0 引言

Bezier 曲线曲面因便于设计者操作,因此广泛应用于航空航天、模具、汽车外形等各种复杂曲面的设计中,例如汽车的引擎罩、轮船的船体,日常生活中的苹果、鸡蛋等。Bezier 曲线由法国雪铁龙(Citroen)汽车公司的 De Casteljau 于 1959 年发明,但作为公司的技术机密,直到 1975 年之后才引起人们的注意。1962

年法国雷诺(Renault)汽车公司的工程师 Bezier 独立提出了曲线曲面。其优点是曲线曲面参数化表示脱离了对坐标的依赖,其构造简单直观、易于显示和控制,给设计者带来了极大的方便,已经成为 CAD 中用于描述形状信息的主要工具。

在工程应用中,对于圆弧的造型方法有多种,如中点生成椭圆的整数型算法^[1]、双步圆的反走样生成算法^[2]、利用残差控制的快速圆弧生成与反走样算法^[3]等。这些曲线是由已知曲线的非参数表示的数学方程

生成的,与非参数表示相比,参数表示的曲线曲面更能满足形状数学描述的要求^[4],Bezier 曲线曲面就是一种以逼近为基础的参数曲线曲面。近年来,国内有诸多学者对基于 Bezier 曲线表示的圆弧已有研究。杭后俊等^[5]通过引入一个可在一定范围内变化的参数,得到同一圆弧不同标准型有理三次 Bezier 表示;储理才等^[6]研究了误差函数有 5 个相异零点的情形,给出圆弧的四次 Bezier 曲线控制顶点的计算公式,误差的解析表达式和逼近阶;尤伟等^[7]为了解决由 Bezier 曲面上型值点反求控制点矩阵求逆的大运算量问题,提出了先把。数目较多的一组型值点按序分解成几组数目较少型值点,再把这几组型值点逐个生成控制点,这样把一个高阶矩阵求逆转化为几个低阶矩阵的求逆。上述学者较多是在已知控制点的前提下对曲线表达式进行研究,但是 Bezier 曲线从一开始就面向几何而不是面向代数的,著名 Utah Teapot 就是面向几何用双三次 Bezier 曲面建模的一个经典例子^[8]。只有将函数逼近与几何表示结合起来,才能使得设计者在工程设计中更加直观地观察到所给条件与设计曲线之间的关系,通过调整控制点参数灵活方便地设计出所希望的形状。

本文以球体,椭球体为研究对象,从构建双三次 Bezier 曲面控制点出发,采用 de Casteljau 细分算法,解得一个影响控制点参数的魔术常数,给出了球体双三次 Bezier 曲面的控制点坐标,其他卦限控制点坐标可对称获得。实现了用双三次 Bezier 曲面绘制三维球体、椭球体网格模型,调整控制点参数实现生成鸡蛋体以及苹果体等网格模型,绘制图形光滑拼接,充分显示了用参数 Bezier 曲线曲面表示曲面体的设计灵活性。

1 De Casteljau 细分算法描述

De Casteljau 细分算法其构造思想是从一个控制多边形或者控制网格出发,按一定的细分规则插入新顶点,再连接这些新顶点得到新控制多边形或控制网格,将所得新控制多边形或控制网格再作为初始控制多边形或控制网格,重复上述细分过程,这样循环细分下去,控制多边形或控制网格就被逐渐加细,其极限成为一条曲线或一张曲面^[9]。

给定空间 $n + 1$ 个控制点 $P_i (i = 0, 1, \dots, n)$ 及参数 t , De Casteljau 细分算法表述为:

$$P'_i(t) = (1 - t) \cdot P_{i-1}(t) + t \cdot P_{i+1}(t) \quad (1)$$

$$r = 1, 2, \dots, n \quad i = 0, 1, \dots, n - r \quad t \in [0, 1]$$

式中 $P'_i = P_i, P'_i(t)$ 是 Bezier 曲线上参数为 t 的点。定

义 Bezier 曲线的控制点编号为 P'_i, r 为递推次数。当 $r = n$ 时, P'_0 表示 Bezier 曲线上的点。根据式(1)算法可以绘制 n 次 Bezier 曲线。当 $n = 3$ 时,三次 Bezier 曲线递推如下:

$$\begin{cases} P_0^1(t) = (1 - t) \cdot P_0^0(t) + t \cdot P_1^0(t) \\ P_1^1(t) = (1 - t) \cdot P_1^0(t) + t \cdot P_2^0(t) \\ P_2^1(t) = (1 - t) \cdot P_2^0(t) + t \cdot P_3^0(t) \\ P_0^2(t) = (1 - t) \cdot P_0^1(t) + t \cdot P_1^1(t) \\ P_1^2(t) = (1 - t) \cdot P_1^1(t) + t \cdot P_2^1(t) \\ P_0^3(t) = (1 - t) \cdot P_0^2(t) + t \cdot P_1^2(t) \end{cases}$$

De Casteljau 算法的几何作图是在线段 P_0P_1 上选择一个点 $P(t)$,使得 $P(t)$ 点划分 P_0P_1 为 $t:(1-t)$ 两段,如图 1 所示。给定点 P_0, P_1 的坐标以及 t 的值,点 $P(t)$ 的坐标为 $P(t) = P_0 + t(P_1 - P_0) = (1 - t)P_0 + tP_1, t \in [0, 1]$ 。

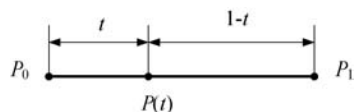


图 1 De Casteljau 算法基础

依次对原始控制多边形的每一边执行同样的定比分割,所得的分点就是第一级递推生成的中间顶点 $P'_i (i = 0, 1, \dots, n - 1)$,对由这些中间顶点构成的控制多边形再执行同样的定比分割,得到第二级递推生成的中间顶点 $P''_i (i = 0, 1, \dots, n - 2)$,重复进行下去,直到 $r = n$,得到一个中间顶点 P'_0 ,该点的轨迹即为 Bezier 曲线上的点 $P(t)$ 。三次 Bezier 曲线的当 $t = 1/2$ 时,De Casteljau 细分算法的几何作图法如图 2 所示。

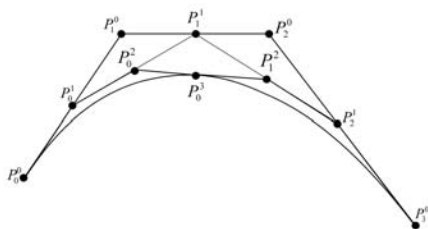


图 2 细分过程

2 De Casteljau 细分算法反求圆弧控制点

Bezier 曲线曲面因方便设计者操作而广泛应用于各种复杂的曲面造型中,Bezier 曲线曲面是通过其控制点定义的,有关 Bezier 曲线曲面造型的算法也都是已知控制点的前提下描述的,而在 Bezier 曲线曲面的设计中,首先要知道控制点的准确位置,这在造型设计中有着重要意义。下面将以三次 Bezier 逼近圆弧

为例,说明采用 de Casteljau 细分算法,获得影响控制点参数的一个魔术常数。

2.1 反求圆弧的三次 Bezier 控制点

建立如图 3 所示的坐标系,将圆分成 4 个部分,用一段三次 Bezier 曲线逼近 1/4 圆弧,一段三次 Bezier 曲线由 4 个控制点(控制多边形) $P_0^0P_1^0P_2^0P_3^0$ 确定。曲线的表达式为:

$$p(t) = \sum_{i=0}^3 P_i B_{i,3}(t) \tag{2}$$

$$(1-t)^3 \cdot P_0^0 + 3t(1-t)^2 \cdot P_1^0 + 3t^2(1-t) \cdot P_2^0 + t^3 \cdot P_3^0$$

式中,控制多边形 $P_0^0P_1^0P_2^0P_3^0$ 需要满足三次 Bezier 曲线的一些约束条件,首先曲线在在闭区间 $[0,1]$ 内,当 $t = 0$ 时,满足 $p(0) = P_0^0$;当 $t = 1$ 时,满足 $p(1) = P_3^0$,也就是 Bezier 曲线的起点与终点分别位于控制多边形的起点和终点上。其次当 $t = 0$ 和 $t = 1$ 时,曲线的一阶导数满足 $p'(0) = n(P_1^0 - P_0^0)$, $p'(1) = n(P_3^0 - P_2^0)$,也就是 Bezier 曲线的起点与终点的切线方向位于控制多边形的起始边与终止边方向上。从图 3 容易看出, P_1^0 和 P_2^0 是求解三次 Bezier 曲线的控点的关键。

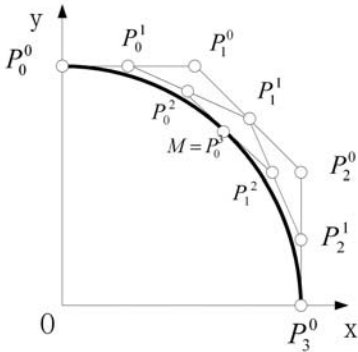


图3 三次 Bezier 曲线逼近 1/4 圆

假定,圆为单位圆, P_0^0 的坐标为 $(0,1)$, P_1^0 的坐标为 $(x,1)$, P_2^0 的坐标为 $(1,y)$, P_3^0 的坐标为 $(1,0)$,半圆的中点 M 处坐标为 $(\frac{\sqrt{2}}{2}, \frac{\sqrt{2}}{2})$ 。根据 De Casteljau 细分算法,由于 P_0^1 是 P_0^0 点和 P_1^0 的中点,所以取 $t = \frac{1}{2}$ 。 P_0^1 的坐标为 $(\frac{x}{2}, 1)$, P_1^1 的坐标为 $(\frac{x+1}{2}, \frac{y+1}{2})$, P_2^1 的坐标为 $(1, \frac{y}{2})$ 。类似可以计算下一级细分, P_0^2 的坐标为 $(\frac{2x+1}{4}, \frac{y+3}{4})$, P_1^2 的坐标为 $(\frac{x+3}{4}, \frac{2y+1}{4})$ 。 P_0^3 点为 P_0^2 和 P_1^2 的中点坐标,因为 $P_0^3 = M$,解之得到:

$$x = y = \frac{4(\sqrt{2}-1)}{3} \tag{3}$$

由式(3)得出:影响控制点 P_1^0 和 P_2^0 坐标的一个魔术常数是 $m = \frac{4(\sqrt{2}-1)}{3}$,则,逼近该 1/4 圆的三次 Bezier

曲线的 4 个控制点坐标为 $P_0^0(0,1)$, $P_1^0(m,1)$, $P_2^0(1,m)$, $P_3^0(1,0)$ 。推广到圆的半径为 r ,则 4 个控制点的坐标为 $P_0^0(0,r)$, $P_1^0(mr,1)$, $P_2^0(1,mr)$, $P_3^0(r,0)$ 。

根据圆的对称性可绘制圆的其它 3 段三次 Bezier 曲线,显然,每两段 Bezier 曲线达到了 G^0 连续:第一段三次 Bezier 曲线的终止点是第二段三次 Bezier 曲线的起点;同时达到了 G^1 连续:连接点处与相邻两侧的控制点三点共线,且与连接点相邻的两控制点位于连接点的两侧,因此一个整圆的四段三次 Bezier 曲线实现了光滑拼接。

2.2 反求椭圆的三次 Bezier 控制点

同反求圆的控制点方法类似,建立如图 4 所示的坐标系,将椭圆弧分成 4 个部分,用一段三次 Bezier 曲线逼近 1/4 椭圆弧。

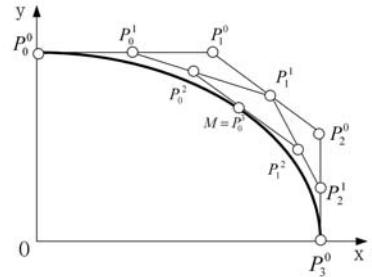


图4 三次 Bezier 曲线逼近 1/4 椭圆

设椭圆弧的长半轴为 a ,短半轴为 b ,在满足三次 Bezier 曲线的一些约束条件下,构造控制多边形 $P_0^0P_1^0P_2^0P_3^0$,则 P_0^0 的坐标为 $(0,b)$, P_1^0 的坐标为 (ma,b) , P_2^0 的坐标为 (a,mb) , P_3^0 的坐标为 $(a,0)$,其中 m 为待求的比例系数。根据 De Casteljau 细分算法,当 $t = 1/2$ 时,细分控制多边形得到的新顶点坐标为:

第 1 级细分后, P_0^1 的坐标为 $(\frac{ma}{2}, b)$, P_1^1 的坐标为 $(\frac{ma+a}{2}, \frac{mb+b}{2})$, P_2^1 的坐标为 $(a, \frac{mb}{2})$,第 2 级细分后, P_0^2 的坐标为 $(\frac{2ma+a}{4}, \frac{mb+3b}{4})$, P_1^2 的坐标为 $(\frac{ma+3a}{4}, \frac{2mb+b}{4})$ 。第 3 级细分后, P_0^3 的坐标为 $(\frac{3ma+4a}{8}, \frac{3mb+4b}{8})$,根据 De Casteljau 细分算法性质, P_0^3 是椭圆上的点,椭圆方程为:

$$b^2x^2 + a^2y^2 - a^2b^2 = 0 \tag{4}$$

将 $P_0^3(\frac{3ma+4a}{8}, \frac{3mb+4b}{8})$ 代入式(4),有

$$b^2 \left(\frac{3ma + 4a}{8} \right)^2 + a^2 \left(\frac{3mb + b}{8} \right)^2 - a^2 b^2 = 0。$$

$$\text{解之得到魔术常数: } m = \frac{4\sqrt{2} - 4}{3} = \frac{4(\sqrt{2} - 1)}{3}。$$

则,逼近该 1/4 椭圆弧的三次 Bezier 曲线的 4 个控制点坐标为 $P_0^0(0, b)$ 、 $P_1^0(ma, 1)$ 、 $P_2^0(1, mb)$ 、 $P_3^0(a, 0)$ 。

综上所述,逼近圆或椭圆的三次 Bezier 曲线的控制点的起始点和终止点都位于圆或椭圆上,而中间两个控制点都受魔术常数 $m = \frac{4(\sqrt{2} - 1)}{3}$ 的影响。

在同一坐标系,使用四段三次 Bezier 曲线绘制一个红色圆(椭圆)曲线,再使用 MFC 绘图函数在同一圆心,以相同的半径绘制一个蓝色的圆(椭圆)曲线,结果显示,两种方法绘制的图形完全重合。

3 建模技术实例

3.1 球的双三次 Bezier 曲面控制点算法

建立如图 5 所示的坐标系,直角坐标系的坐标轴将球分为 8 个卦限,每个卦限的球面用一张双三次 Bezier 曲面表示,逆时针方向、由上至下依次拼接 8 张曲面完成实现 Bezier 方法绘制一个完整球体表面。

图 6 为第一卦限球的双三次 Bezier 曲面的 16 个控制点,其中位于 Bezier 曲面片一边的 01、10、20、30 四个控制点退化为一个点。将上述二维坐标系下反求 1/4 圆控制点的方法,应用到求解三维坐标系下两组正交的三次 Bezier 曲线控制点。方法是:先求双三次 Bezier 曲面的四个角点坐标,然后利用魔术常数为影响因子,通过角点坐标计算曲线的另外两个控制点坐标值。

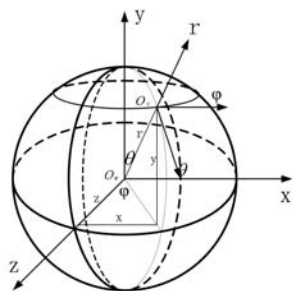


图 5 直角坐标系与球坐标系

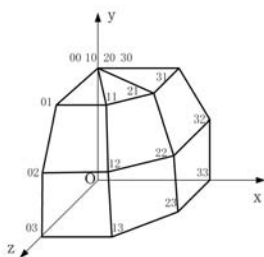


图 6 Bezier 曲面的控制点

为了便于计算和程序实现,将曲面控制点用球坐标表示,如图 6 所示, r 为球面 O_v 点到球心 O_w 之间的距离, r 与 y 轴的夹角为 θ , r 在 xO_wz 面投影线与 z 轴的夹角为 φ , 则 O_v 点的球坐标与笛卡尔坐标的关系为:

$$\begin{cases} x = r \sin \theta \sin \varphi \\ y = r \cos \theta \\ z = r \sin \theta \cos \varphi \end{cases} \quad (5)$$

由于双三次 Bezier 曲面的四个角控制点 00、03、30、33 位于球的表面,因此它们的坐标值用球坐标表示为:

00 控制点 $\theta = 0, \varphi = 0$, 坐标值为 $(r \sin 0 \sin 0, r \cos 0, r \sin 0 \cos 0)$; 03 控制点 $\theta = \frac{\pi}{2}, \varphi = 0$, 坐标值为 $(r \sin \frac{\pi}{2} \sin 0, r \cos \frac{\pi}{2}, r \sin \frac{\pi}{2} \cos 0)$; 30 控制点 $\theta = 0, \varphi = \frac{\pi}{2}$, 坐标值为 $(r \sin 0 \sin 0, r \cos 0, r \sin 0 \cos \frac{\pi}{2})$; 33 控制点 $\theta = \frac{\pi}{2}, \varphi = \frac{\pi}{2}$, 坐标值为 $(r \sin \frac{\pi}{2} \sin \frac{\pi}{2}, r \cos \frac{\pi}{2}, r \sin \frac{\pi}{2} \cos \frac{\pi}{2})$ 。

对于位于球面之外的 Bezier 曲面的控制点坐标,可以通过魔术常数 m 作为曲面四个角点的影响因子加以计算获得。计算顺序为:通过 00 和 03 角点计算出 01 和 02 控制点,30 和 33 角点计算出 31 和 32 控制点,03 和 33 角点计算出 13 和 23 控制点,然后再用控制点 01 和 31 计算出 11 和 21 控制点,由 02 和 32 控制点计算出 12 和 22 控制点,至此第一卦限三次 Bezier 曲面的 16 个控制点全部求出,用同样的方法获得其他卦限曲面的控制点坐标。

限于篇幅下面给出第一卦限双三次 Bezier 曲面片的控制点坐标,见表 1 所示,其中 m 为魔术常数。其他卦限的控制点坐标可根据球的对称性求得。

表 1 球体第一卦限双三次 Bezier 曲面控制点数据

控制点	x 坐标	y 坐标	z 坐标
00	$r \sin 0 \sin 0$	$r \cos 0$	$r \sin 0 \cos 0$
01	$r m \sin(\pi/2) \sin 0$	$r \cos 0$	$r m \sin(\pi/2) \cos 0$
02	$r \times \sin(\pi/2) \sin 0$	$r m \cos 0$	$r \sin(\pi/2) \cos 0$
03	$r \times \sin(\pi/2) \sin 0$	$r \cos(\pi/2)$	$r \sin(\pi/2) \cos 0$
10	$r \sin 0 \sin 0$	$r \cos 0$	$r \sin 0 \cos 0$
11	$r m^2 \sin^2(\pi/2)$	$r \cos 0$	$r m \sin(\pi/2) \cos 0$
12	$r m \sin^2(\pi/2)$	$r m \cos 0$	$r \sin(\pi/2) \cos 0$
13	$r m \sin^2(\pi/2)$	$r \cos(\pi/2)$	$r \sin(\pi/2) \cos 0$
20	$r \sin 0 \sin 0$	$r \cos 0$	$r \sin 0 \cos 0$
21	$r m \sin^2(\pi/2)$	$r \cos 0$	$r m^2 \sin(\pi/2) \cos 0$
22	$r \sin^2(\pi/2)$	$r m \cos 0$	$r m \sin(\pi/2) \cos 0$
23	$r \sin^2(\pi/2)$	$r \cos(\pi/2)$	$r m \sin(\pi/2) \cos 0$
30	$r \sin 0 \sin 0$	$r \cos 0$	$r \sin 0 \cos 0$
31	$r m \sin^2(\pi/2)$	$r \cos 0$	$r m \sin(\pi/2) \cos(\pi/2)$
32	$r \sin^2(\pi/2)$	$r m \cos 0$	$r \sin(\pi/2) \cos(\pi/2)$
33	$r \sin^2(\pi/2)$	$r \cos(\pi/2)$	$r \sin(\pi/2) \cos(\pi/2)$

3.2 绘制球体网格模型

三次 Bezier 曲面的参数多项式为:

$$p(u, v) = \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 P_{i,j} B_{i,3}(u) B_{j,3}(v)$$

$$(u, v) \in [0, 1] \times [0, 1]()$$

将 Bezier 曲面方程改写成矩阵形式为:

$$p(u, v) = [u^3 \quad u^2 \quad u \quad 1] \cdot \begin{bmatrix} -1 & 3 & -3 & 1 \\ 3 & -6 & 3 & 0 \\ -3 & 3 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} v^3 \\ v^2 \\ v \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} P_{0,0} & P_{0,1} & P_{0,2} & P_{0,3} \\ P_{1,0} & P_{1,1} & P_{1,2} & P_{1,3} \\ P_{2,0} & P_{2,1} & P_{2,2} & P_{2,3} \\ P_{3,0} & P_{3,1} & P_{3,2} & P_{3,3} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} -1 & 3 & -3 & 1 \\ 3 & -6 & 3 & 0 \\ -3 & 3 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} v^3 \\ v^2 \\ v \\ 1 \end{bmatrix}$$

球体曲面网格模型由 8 张双三次 Bezier 曲面片组成,使用表 1 节给出的控制点数据,对称求出其他卦限曲面片控制点坐标,当参数 u 和 v 在区间 $[0, 1]$ 内,以 $u + = 0.1$ 和 $v + = 0.1$ 遍历时,生成球的双三次 Bezier 曲面网格模型,以 Visual C++ 为平台绘制的球体曲面网格模型和带控制多边形的网格模型如图 7 所示。

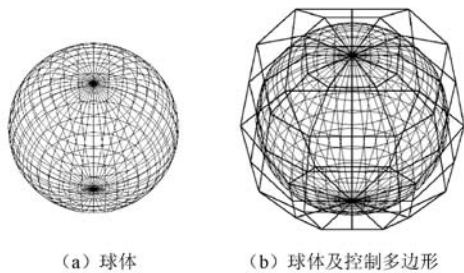


图 7 球体双三次 Bezier 曲面网格模型

3.3 绘制其他曲面体网格模型

椭球曲面模型的控制点的计算,和球体曲面模型控制点计算方法类似,将椭球按卦限分为 8 个部分,每个卦限为一张双三次 Bezier 曲面片,用球坐标表示出第一卦限曲面片四个角点(位于椭球上的控制点)的坐标值,曲面片的其他 12 个控制点(位于椭球之外)依次使用椭球的魔术常数进行计算,并用对称的方法获得其他卦限的曲面片控制点坐标。以 Visual C++ 为平台绘制的椭球曲面网格模型和带控制多边形的网格模型如图 8 为所示。

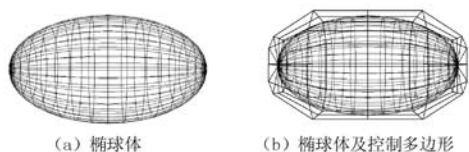


图 8 椭球双三次 Bezier 曲面网格模型

Bezier 曲线还可以通过调整控制点参数模拟更多的形状。事实上鸡蛋的形状是多种多样的,利用传统的函数绘制的鸡蛋固定长半轴参数 a 和短半轴参数 b 后,其形状是确定的,利用 Bezier 曲面却可以模拟多种鸡蛋形状。如图 9 所示,鸡蛋右侧边缘由两段三次 Bezier 曲线组成,上段为 1/4 椭圆弧,下端为 1/4 圆弧,水平截面边缘则有 4 段三次 Bezier 圆弧构成,调节控制点参数可产生其他形状的蛋形。当调节球体“南北极”控制点参数可生成桃形、苹果形等模型。以 Visual C++ 为平台绘制的鸡蛋和苹果曲面网格模型和带控制多边形的网格模型如图 9、图 10 所示。

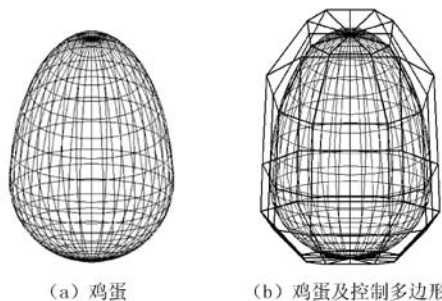


图 9 鸡蛋双三次 Bezier 曲面网格模型

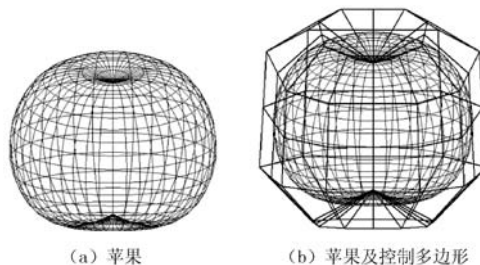


图 10 苹果双三次 Bezier 曲面网格模型

4 结 语

从图 7 - 图 10 实验结果表明:用三次 Bezier 曲线表示圆和椭圆的控制点与魔术常数 $m = \frac{4(\sqrt{2}-1)}{3}$ 密切相关,利用魔术常数绘制的圆和椭圆与非参数数学函数绘制的图形完全重合;用 Bezier 方法构造的球体曲面网格模型,能够在现有模型成果上通过调整控制点参数逼近人们更希望的模型形状。模型的重用展现了其他非参数曲面无可替代的魅力,这给用 Bezier 方法设计光滑旋转曲面造型提供了新的技术支持和更大的设计灵活性,为众多的设计人员所应用。

参 考 文 献

[1] 张博,周丽韞,李兴霞.中点生成椭圆的整数型算法[J].工程图学学报,2011,32(1):1-4.

从表2两种算法进行人脸检测的耗时对比可以看出,不管是单人脸还是多人脸检测速度,本文所采用的方法较文献[10]方法都有一定的提高。

根据以上实验对比分析,双肤色模型对肤色的分割效果较单一肤色模型有很大的提升,自适应光照补偿技术对受到光照影响的图像改善明显,再通过改进的SNoW算法进行人脸检测,综合检测率、漏检率、误检率和检测速度的对比,本文提出的方法进行人脸检测有着良好的效果。

4 结 语

本文提出一种基于双肤色模型和改进的SNoW算法相结合的人脸检测方法。受光照影响的人脸图像通过自适应光照补偿技术处理,减少光照产生的噪音;接着利用在YCbCr和HSI颜色空间上的肤色模型对待测图像进行肤色分割和提取,最后利用改进的SNoW算法进行人脸检测。通过实验得出,该方法在复杂背景和光照变化等多种情况下,有着较高的检测率,并降低了漏检率与误检率,对于复杂背景、光照和表情等的变化鲁棒性良好,能满足现实环境下人脸检测的要求。

实验过程中,本文方法在进行存在人脸姿态倾斜或者偏向过大的图像检测过程中漏检率较高;另外对于近肤色且与人脸大小相近的物体排除率较低,造成误检。如何改进人脸检测算法,提高对存在人脸姿态倾斜或者偏向过大的图像的检测率,降低漏检率、误检率和检测时间是下一步研究的目标。

参 考 文 献

- [1] 梁路宏,艾海舟,徐光祐,等. 人脸检测研究综述[J]. 计算机学报, 2002, 25(5):449-458.
- [2] 徐晓艳. 人脸识别技术综述[J]. 电子测试, 2015(10):885-894.
- [3] 刘晗. 人脸识别技术在十大领域的创新应用[J]. 中国安防, 2015(21):66-69.
- [4] Chai D, Ngan K N. Face segmentation using skin-color map in videophone applications [J]. IEEE Transactions on Circuits & Systems for Video Technology, 1999, 9(4):551-564.
- [5] 欧凡. 机器视觉人脸识别若干关键问题研究[D]. 大连理工大学, 2011.
- [6] 田源,于凤芹. 人脸检测方法综述[J]. 计算机安全, 2009(5):76-79.
- [7] Hatem H, Zuo B, Majeed R. A Survey of Feature Base Methods for Human Face Detection [J]. International Journal of Control & Automation, 2015, 8:61-78.
- [8] Craw I, Ellis H, Lishman J R. Automatic extraction of face-features[J]. Pattern Recognition Letters, 1987, 5(2):183-187.
- [9] 张洪明,高文. 基于肤色模型、神经网络和人脸结构模型和平面旋转人脸检测[J]. 计算机学报, 2002, 25(11):1250-1256.
- [10] Nilsson M, Nordberg J, Claesson I. Face detection using local SMQT features and split up snow classifier [C]// IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, 2007, 2:589-592.
- [11] 杨国林,冯乔生,张亚萍. 基于肤色的人脸检测综述[J]. 软件, 2013, 34(3):7-9.
- [12] Lee D, Wang J, Plataniotis K N. Contribution of skin color cue in face detection applications [M]//Advances in Low-Level Color Image Processing. Springer Netherlands, 2014:367-407.
- [13] 李伟生,杨瑞娟,周丽芳,等. 基于多肤色空间及 Ada-Boost 算法的人脸检测方法[J]. 计算机应用研究, 2012, 29(6):2368-2370.
- [14] 赵艳妮,郭华磊. 基于多色彩空间的肤色检测研究[J]. 计算机技术与发展, 2013(10):250-252.
- [15] 宋凌怡. 基于肤色模型的人脸检测与人眼定位[J]. 吉林大学学报(理学版), 2015, 53(6):1246-1250.
- [16] 许雪梅,黄征宇,李丽娟,等. 一种基于HSV颜色分割和模糊级联分类器的人脸检测技术[J]. 计算机应用与软件, 2014, 31(4):197-200.
- [17] 徐健,常志国. 一种改进的基于SNoW的人脸定位算法[J]. 现代电子技术, 2008, 31(18):146-148.

(上接第90页)

- [2] 牛玉静,唐棣. 双步圆的反走样生成算法[J]. 计算机工程与应用, 2010, 46(23):175-177, 248.
- [3] 牛连强,冯海文,吴澎. 利用残差控制的快速圆弧生成与反走样算法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2011, 23(2):232-239.
- [4] 郭凤华. 几何造型中参数化与拟合技术的研究[D]. 济南:山东大学, 2007.
- [5] 杭后俊,李汪根. 有理三次Bezier曲线表示圆弧的一种实用方法[J]. 计算机工程与应用, 2012, 48(6):185-189.
- [6] 储理才,曾晓明. 圆弧的四次Bezier曲线逼近研究[C]//第四届全国几何设计与计算学术会议论文集, 2009:69-74.
- [7] 尤伟,达飞鹏,盖绍彦. 逆向工程中求取特征曲线的算法研究[C]//第十二届全国图象图形学学术会议论文集, 2005:437-441.
- [8] Crow F. The origins of the teapot[J]. IEEE Computer Graphics and Applications, 1987, 7(1):8-19.
- [9] 张永锋,蒋大为,何磊,等. 基于De Casteljau算法的Poisson细分曲线[J]. 科学技术与工程, 2007, 7(10):2263-2267.