

带局部形状参数的三次均匀 B 样条曲线的扩展

徐 岗 汪国昭

(浙江大学数学系计算机图像图形研究所 杭州 310027)

(yln41@hotmail.com)

Extensions of Uniform Cubic B-Spline Curve with Local Shape Parameters

Xu Gang and Wang Guozhao

(Institute of Computer Graphics and Image Processing, Department of Mathematics, Zhejiang University, Hangzhou 310027)

Abstract The construction of B-spline curves with shape parameters has become the hotspot in computer aided geometric design. However, the shape parameters of the curves in previous papers are all global parameters. In order to introduce B-spline curves with local shape parameters, two classes of polynomial blending functions with local shape parameters are presented in this paper. Both of them are extensions of cubic B-spline basic functions. The blending functions have similar properties of classical cubic B-spline basic functions. Based on the given blending functions, a method of generating piecewise polynomial curves with local shape parameters is proposed. By changing the values of the local shape parameters, the shape of the curves can be manipulated locally. The cubic curves can be manipulated to approximate the cubic B-spline curves from their sides away from the control polygons by changing the values of the shape parameter. Similarly, the quartic curves can also be manipulated to approximate the cubic B-spline curves from their both sides by changing the values of the shape parameters. The geometric meanings of the local shape parameters are also discussed. Their applications in curve design and interpolation are also presented. The modeling examples illustrate that these new curves are very valuable for computer aided geometric design.

Key words cubic uniform B-spline; local shape parameter; curve design; interpolation

摘 要 带形状参数的 B 样条曲线的构造已成为计算机辅助几何设计中的热点问题. 为了使形状参数具有局部修改功能, 给出了两类带局部形状参数的调配函数, 它们都是三次均匀 B 样条基函数的扩展. 基于给出的调配函数, 定义了两种带局部形状参数的分段多项式曲线. 可以通过改变局部形状参数的取值对曲线进行局部调整. 调整形状参数可使三次多项式曲线在三次均匀 B 样条曲线远离控制多边形的一侧摆动, 而四次多项式曲线在三次均匀 B 样条曲线的两侧摆动. 最后讨论了它们在曲线设计及曲线插值中的应用. 造型实例表明, 该类曲线在计算机辅助几何设计中具有重要的应用价值.

关键词 三次均匀 B 样条; 局部形状参数; 曲线设计; 插值

中图法分类号 TP391.41

分段三次均匀 B 样条曲线是计算机辅助几何设计中最常用的一类曲线. 然而, 它也有不足的地方, 例如对于给定的控制顶点, 曲线的位置是确定

的, 如果要调整曲线的形状, 需要调整控制多边形, 这就给曲线设计带来了不便.

为了调整曲线的形状或改变曲线的位置, 有理

Bézier 曲线和 NURBS 曲线中权因子的调整可以达到这一目的^[1],但是它们的计算比较麻烦,如求导、求积等.文献[2-3]使用张量参数构造了一类经典的带形状参数的分段多项式曲线,称之为 β 曲线,然而,只有选取适当的形状参数,它才能具有良好的连续性和端点性质.文献[4-5]分别利用含有三角函数和双曲函数的基函数构造了两类带形状参数的曲线,称为 C-B 样条曲线和 H-B 样条曲线,三次均匀 B 样条曲线是它们的一个特例.这两类曲线的形状参数也分别用三角函数和双曲函数表示.但改变形状参数的取值,C-B 样条曲线只能位于三次均匀 B 样条曲线的远离控制多边形的一侧,而 H-B 样条曲线只能位于三次均匀 B 样条曲线的靠近控制多边形的一侧.文献[6]基于四次调配函数构造了一类带形状参数的分段多项式样条曲线,它是三次均匀 B 样条曲线的扩展,改变形状参数的取值,可以从三次均匀 B 样条曲线的两侧逼近三次均匀 B 样条曲线.文献[7-9]构造了 k 阶($k \geq 2$)带形状参数的代数、三角和双曲均匀 B 样条曲线,都有一个可调形状参数,能够达到 C^{k-2} 连续,具有与均匀 B 样条曲线相同的结构和几何性质,但它们的计算复杂度相对较高.

上述曲线中的形状参数均为全局参数,即改变形状参数的取值,整条曲线的形状都会发生变化,无法进行局部调整.文献[10]给出了一种带局部形状参数的样条插值曲线,可以达到 G^1 连续.本文构造出了一类新的三次和四次调配函数,它们都可以看做三次均匀 B 样条基函数的扩展,并以此为基础定义了两种带局部形状参数的分段多项式样条曲线,在保持曲线连续性不变的同时可以通过改变局部形状参数的取值对曲线进行局部调整.

1 调配函数的构造与性质

定义 1. 对 $t \in [0, 1]$ 称关于 t 的多项式

$$\begin{cases} b_0^3(t) = \frac{1}{6}(1 - \lambda_i t)(1 - t)^2, \\ b_1^3(t) = \frac{1}{6}[4 - (7 - \lambda_i)t^2 + (4 - \lambda_i)t^3], \\ b_2^3(t) = \frac{1}{6}[1 + (2 + \lambda_i)t + (5 - 2\lambda_i)t^2 - (4 - \lambda_i)t^3], \\ b_3^3(t) = \frac{1}{6}[1 - \lambda_i(1 - t)]t^2 \end{cases}$$

为带参数 λ_i 的三次调配函数.

定义 2. 对 $t \in [0, 1]$ 称关于 t 的多项式

$$\begin{cases} b_0^4(t) = \frac{1}{6}(1 - \lambda_i t)(1 - t)^3, \\ b_1^4(t) = \frac{1}{6}[4 - 6t^2 + (3 + \lambda_i)t^3 - \lambda_i t^4], \\ b_2^4(t) = \frac{1}{6}[1 + (3 + \lambda_i)t + 3(1 - \lambda_i)t^2 - 3(1 - \lambda_i)t^3 - \lambda_i t^4], \\ b_3^4(t) = \frac{1}{6}[1 - \lambda_i(1 - t)]t^3 \end{cases}$$

为带参数 λ_i 的四次调配函数.

定理 1. 对调配函数 $b_i^k(t)$, $k = 3, 4$, $i = 0, 1, 2, 3$, 有下列结论:

- 1) $\sum_{i=0}^3 b_i^k(t) = 1$;
- 2) $b_i^k(t) = b_{3-i}^k(1-t)$;
- 3) 当 $-2 \leq \lambda_i \leq 1$ 时, 对 $t \in [0, 1]$ 有 $b_i^k(t) \geq 0$.

证明. 直接计算可证结论 1) 2). 由文献[11]给出的 n 次多项式在 $[0, 1]$ 上非负的充分条件可得结论 3).

由定义 1 和定义 2 可以看出, 当 $\lambda_i = 1$ 时三次调配函数便是三次均匀 B 样条基函数; 当 $\lambda_i = 0$ 时四次调配函数便是 $\lambda_i = 1$ 时的三次调配函数, 即三次均匀 B 样条基函数. 因此, 它们都可以看做三次均匀 B 样条基函数的扩展.

2 曲线的构造与性质

基于第 1 节给出的调配函数我们可定义两种带有局部形状参数 λ_i 的多项式曲线.

定义 3. 给定控制顶点 $P_i \in \mathbf{R}^d$ ($d = 2, 3$; $i = 0, 1, \dots, m$) 和节点 $u_1 < u_2 < \dots < u_{n+1}$, 对 $u \in [u_i, u_{i+1}]$, $i = 3, 4, \dots, m$, 定义多项式曲线

$$C_{i,k}(\lambda_i; u) = \sum_{j=0}^3 b_j^k(t) P_{i+j-3}, \quad k = 3, 4, \quad (1)$$

其中 $t = \frac{u - u_i}{h}$, $h_i = u_{i+1} - u_i$. 定义多项式曲线

$$C_k(\lambda_i; u) = C_{i,k}(\lambda_i; \frac{u - u_i}{h_i}), \quad (2)$$

$u \in [u_i, u_{i+1}]$, $k = 3, 4$.

曲线 $C_k(\lambda_i; u)$ 是定义在 $[u_i, u_{i+1}]$ 上的带局部形状参数的分段多项式曲线. 它们可看做三次均匀 B 样条曲线的扩展, 而且具有良好的几何连续性.

定理 2. 当 $-2 \leq \lambda_i \leq 1$ 时, 若曲线各段的形状参数 λ_i 不相等则曲线 $C_k(\lambda_i; u)$ 是 G^1 连续的; 若曲

线各段的形状参数均相等则 $C_k(\lambda_i; u)$ 是 G^{k-2} 连续的, $k=3, 4$.

证明. 由式(1)(2)直接计算可得:

$$C_{i,k}(\lambda_i; 0) = \frac{1}{6}[P_{i-3} + 4P_{i-2} + P_{i-1}],$$

$$C_{i,k}(\lambda_i; 1) = \frac{1}{6}[P_{i-2} + 4P_{i-1} + P_i],$$

$$C'_{i,k}(\lambda_i; 0) = \frac{1}{6}(k + \lambda_i - 1)(P_{i-1} - P_{i-3}),$$

$$C'_{i,k}(\lambda_i; 1) = \frac{1}{6}(k + \lambda_i - 1)(P_i - P_{i-2}).$$

因此, 对 $i=4, 5, \dots, m$, 当 $-2 \leq \lambda_i < 1$ 时, 有

$$C_{i+1,k}(\lambda_{i+1}; 0) = C_{i,k}(\lambda_i; 1),$$

$$C'_{i+1,k}(\lambda_{i+1}; 0) = \beta_1 C'_{i,k}(\lambda_i; 1),$$

其中 $\beta_1 = \frac{k + \lambda_{i+1} - 1}{k + \lambda_i - 1}$, 故曲线 $C_k(\lambda_i; u)$ 是 G^1 连续的.

若各段的形状参数 λ_i 均相等, 不妨设 $\lambda_i = \lambda$, 则此时 $\beta_1 = 1$. 由上面的证明知曲线 $C_3(\lambda; u)$ 是 G^1 连续的. 对 $C_4(\lambda; u)$ 直接计算可得:

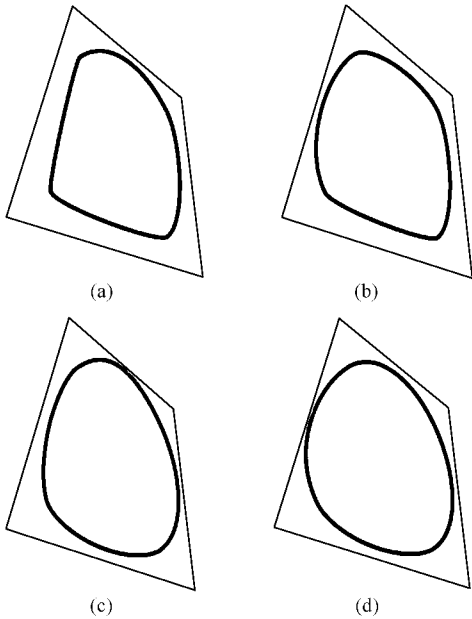


Fig. 1 Curve examples with the same control polygon. The curves in (a) and (b) are based on cubic blending function, where $\lambda_3 = 1, \lambda_4 = 0, \lambda_5 = -1, \lambda_6 = -1.5$ in (a), $\lambda_3 = 0, \lambda_4 = 0, \lambda_5 = -1, \lambda_6 = 1$ in (b). The curves in (c) and (d) are based on quartic blending function, where $\lambda_3 = 1, \lambda_4 = 0, \lambda_5 = -1, \lambda_6 = -1.5$ in (c), $\lambda_3 = 0, \lambda_4 = 0, \lambda_5 = -1, \lambda_6 = 1$ in (d).

图1 同一控制多边形的曲线实例。(a)(b)为基于三次调配函数的曲线,(a)中 $\lambda_3 = 1, \lambda_4 = 0, \lambda_5 = -1, \lambda_6 = -1.5$, (b)中 $\lambda_3 = 0, \lambda_4 = 0, \lambda_5 = -1, \lambda_6 = 1$; (c)(d)为基于四次调配函数的曲线,(c)中 $\lambda_3 = 1, \lambda_4 = 0, \lambda_5 = -1, \lambda_6 = -1.5$, (d)中 $\lambda_3 = 0, \lambda_4 = 0, \lambda_5 = -1, \lambda_6 = 1$

$$C''_{i,A}(\lambda; 0) = (1 + \lambda)P_{i-3} - 2P_{i-2} + (1 - \lambda)P_{i-1},$$

$$C''_{i,A}(\lambda; 1) = (1 - \lambda)P_{i-2} - 2P_{i-1} + (1 + \lambda)P_i,$$

令 $\beta_2 = -\frac{12\lambda}{3 + \lambda}$, 则有

$$C''_{i+1,A}(\lambda; 0) = \beta_2 C''_{i,A}(\lambda; 1) + \beta_2 C'_{i,A}(\lambda; 1),$$

故曲线 $C_4(\lambda; u)$ 是 G^2 连续的. 证毕.

由定理2的证明可见, 曲线式(1)的端点位置、端点切矢及二阶导数与三次均匀B样条曲线的性质是一致的. 图1给出了具有相同的控制多边形的曲线实例, 可以看到, 改变每段的形状参数的取值, 可以实现曲线形状的局部调整.

3 形状参数 λ_i 的几何意义

为了高效地调整形状参数, 使曲线的设计更加符合用户的需要, 本节给出曲线中形状参数 λ_i 的几何意义. 以基于三次调配函数的曲线为例, 首先将 b_i^3 表示为 B_j^3 的线性组合, 其中 B_j^3 为三次 Bernstein 基函数, $i, j=0, 1, 2, 3$. 写成矩阵形式, 即为

$$(b_0^3, b_1^3, b_2^3, b_3^3) = (B_0^3, B_1^3, B_2^3, B_3^3)A,$$

其中

$$A = \begin{pmatrix} \frac{1}{6} & \frac{2}{3} & \frac{1}{6} & 0 \\ \frac{1 - \lambda_i}{18} & \frac{2}{3} & \frac{5 + \lambda_i}{18} & 0 \\ 0 & \frac{5 + \lambda_i}{18} & \frac{2}{3} & \frac{1 - \lambda_i}{18} \\ 0 & \frac{1}{6} & \frac{2}{3} & \frac{1}{6} \end{pmatrix}.$$

此时曲线(1)即为

$$C_{i,3}(\lambda; u) = (B_0^3, B_1^3, B_2^3, B_3^3)A(P_{i-3}, P_{i-2}, P_{i-1}, P_i)^T, \tag{3}$$

若令

$$C_{i,3}(\lambda; u) = (B_0^3, B_1^3, B_2^3, B_3^3)(Q_{i,0}, Q_{i,1}, Q_{i,2}, Q_{i,3})^T, \tag{4}$$

其中 $Q_{i,0}, Q_{i,1}, Q_{i,2}, Q_{i,3}, Q_{i,4}$ 为三次 Bézier 曲线的控制顶点. 由式(3)(4)可得:

$$Q_{i,0} = \frac{1}{3} \left[\frac{1}{2}(P_{i-3} + P_{i-1}) \right] + \frac{2}{3}P_{i-2},$$

$$Q_{i,1} = \frac{1}{3} \left(\frac{1 - \lambda_i}{6}P_{i-3} + \frac{5 + \lambda_i}{6}P_{i-1} \right) + \frac{2}{3}P_{i-2},$$

$$Q_{i,2} = \frac{1}{3} \left(\frac{5 + \lambda_i}{6}P_{i-2} + \frac{1 - \lambda_i}{6}P_i \right) + \frac{2}{3}P_{i-1},$$

$$Q_{i,3} = \frac{1}{3} \left[\frac{1}{2}(P_i + P_{i-2}) \right] + \frac{2}{3}P_{i-1}.$$

利用同样的方法, 便可以得出基于四次调配函数的曲线中形状参数 λ_i 的几何意义:

$$\begin{aligned}
 Q_{i,0} &= \frac{1}{3} \left[\frac{1}{2} (P_{i-3} + P_{i-1}) \right] + \frac{2}{3} P_{i-2}, \\
 Q_{i,1} &= \frac{1}{3} \left(\frac{1-\lambda_i}{8} P_{i-3} + \frac{7+\lambda_i}{8} P_{i-1} \right) + \frac{2}{3} P_{i-2}, \\
 Q_{i,2} &= \frac{1}{2} (P_{i-2} + P_{i-1}), \\
 Q_{i,3} &= \frac{1}{3} \left(\frac{7+\lambda_i}{8} P_{i-2} + \frac{1-\lambda_i}{8} P_i \right) + \frac{2}{3} P_{i-1}, \\
 Q_{i,4} &= \frac{1}{3} \left[\frac{1}{2} (P_i + P_{i-2}) \right] + \frac{2}{3} P_{i-1}.
 \end{aligned} \tag{6}$$

图 2 通过两个例子给出了形状参数 λ_i 的几何意义. 依据 λ_i 的几何意义, 便可以根据用户的需要有效地进行曲线设计. 由式(5)(6)和图 3 可以看出, 随着 λ_i 的增大, 曲线会逐渐靠近其控制多边形.

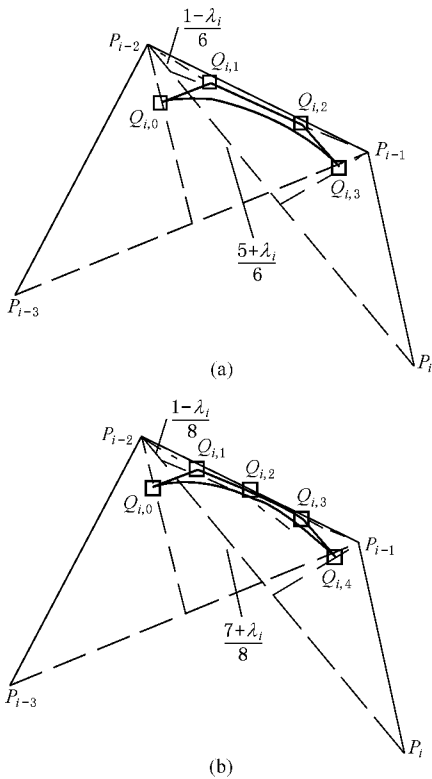
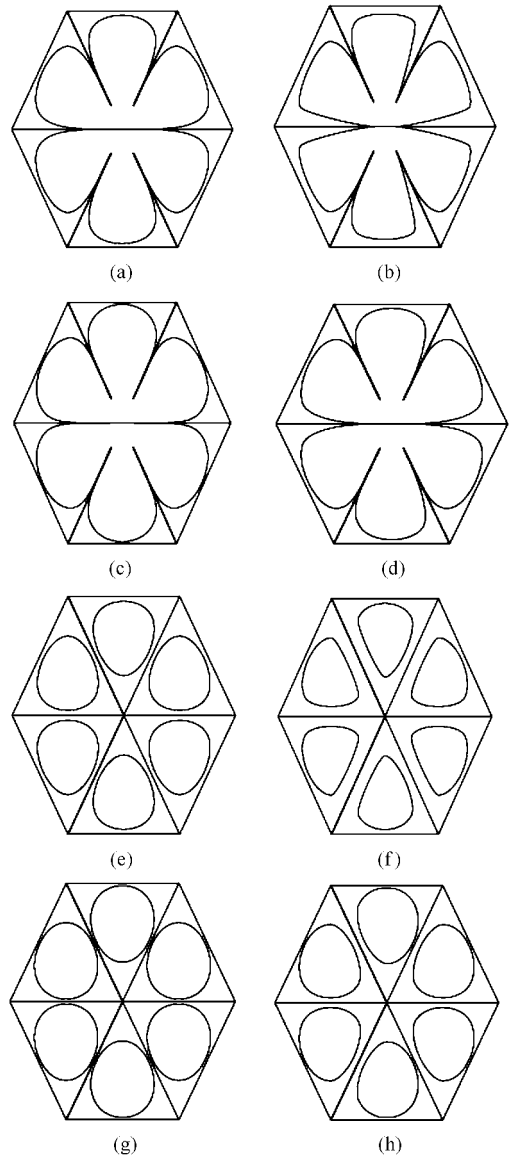


Fig. 2 Geometric meaning of the shape parameters. (a) The curve based on cubic blending functions and (b) The curve based on quartic blending functions.

图 2 形状参数的几何意义. (a) 基于三次调配函数的曲线; (b) 基于四次调配函数的曲线

4 曲线造型及插值中的应用

与三次均匀 B 样条曲线一样, 对于基于五次和六次调配函数的曲线, 当要求曲线以 P_1 和 P_n 分别为起点和终点, 并且在 P_1 和 P_n 处的切线分别为 $P_2 - P_1$ 和 $P_n - P_{n-1}$ 时, 只要增加两个顶点 $P_0 =$



$\lambda_i = 1, i = 3, 4, 5$ in (a)(e)(c)(g); $\lambda_3 = 1, \lambda_4 = 0, \lambda_5 = -1$ in (b)(f)(d)(h)

Fig. 3 Open and closed curve examples. The examples in (a),(b),(e), and (f) are based on cubic blending functions, and the examples in (c)(d)(g) and (h) are based on quartic blending functions.

图 3 开曲线和闭曲线实例. (a)(b)(e)(f) 分别为基于三次调配函数的开曲线和闭曲线 (c)(d)(g)(h) 分别为基于四次调配函数的开曲线和闭曲线

$2P_1 - P_2$ 和 $P_{n+1} = 2P_n - P_{n-1}$, 这里 P_0, P_1, \dots, P_{n+1} 是曲线式(2)的控制多边形. 当要构造封闭曲线($P_1 = P_n$)时, 只要对控制多边形多取两个顶点 $P_{n+1} = P_2, P_{n+2} = P_3$, 图 3 给出了 $\lambda_i = 1$ 及 $\lambda_3 = 1, \lambda_4 = 0, \lambda_5 = -1$ 时的开曲线和闭曲线. 可以看出, 基于四次调配函数的曲线比基于三次调配函数的曲线更靠近其控制多边形.

三次均匀 B 样条曲线插值是计算机辅助设计中最为常用的数据点插值方法. 本文所给出的两种曲线同样可以用于数据点插值, 并且可以通过调节

形状参数来实现插值曲线的局部形状调整, 并达到 G^1 连续. 图 4 给出了曲线插值实例.

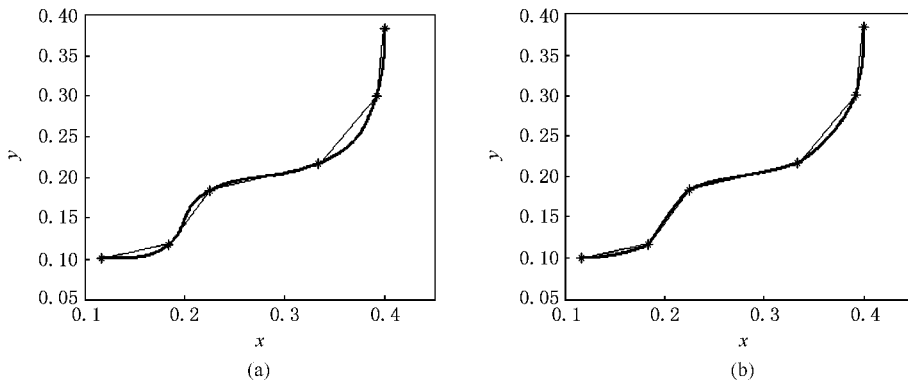


Fig. 4 Examples of curve interpolation based on quartic blending functions. (a) $\lambda_i = 1, i = 3, 4, 5, 6, 7$ and (b) $\lambda_3 = -2, \lambda_4 = -2, \lambda_5 = 0, \lambda_6 = -2, \lambda_7 = 1$.

图 4 基于四次调配函数的曲线插值实例. (a) $\lambda_i = 1, i = 3, 4, 5, 6, 7$; (b) $\lambda_3 = -2, \lambda_4 = -2, \lambda_5 = 0, \lambda_6 = -2, \lambda_7 = 1$

5 结论及将来工作

本文所给出的两种带局部形状参数的分段多项式曲线, 是对三次均匀 B 样条曲线的扩展, 具有与它相类似的端点性质. 调整形状参数可使三次多项式曲线在三次均匀 B 样条曲线远离控制多边形的一侧摆动, 而四次多项式曲线在三次均匀 B 样条曲线的两侧摆动. 因此, 当形状参数大于零时, 四次多项式曲线比三次均匀 B 样条曲线更接近控制多边形. 本文所给出的曲线的最大优点是在不改变曲线的 G^1 连续性的同时可任意调整局部形状参数 λ_i , 来对每一段曲线的形状进行修改, 而不使其他各曲线段的形状受到影响, 因而具有重要的应用价值. 所给出的造型实例也说明了该曲线设计方法的有效性. 由曲线式(2)可构造带局部形状参数的张量积样条曲面. 另外, 构造带局部形状参数的高阶分段多项式曲线, 也是值得进一步研究的课题.

参 考 文 献

- [1] Guo Bin, Zhou Dengwen. Weight-based shape modification of NURBS curve and its application in face modeling[J]. Journal of Computer Research and Development, 2004, 41(1): 142-147 (in Chinese)
(郭斌, 周登文. 基于权因子调整的 NURBS 曲线形状修改算法及其在人脸建模中的应用[J]. 计算机研究与发展, 2004, 41(1): 142-147)
- [2] B A Barsky. Computer Graphics and Geometric Modeling Using Beta-Spline[M]. Berlin: Springer-Verlag, 1988
- [3] B Joe. Multiple-knot and rational cubic beta-splines[J]. ACM Trans on Graphics, 1989, 8(2): 100-120
- [4] Zhang Jiwen. C-curves: An extension of cubic curves[J]. Computer Aided Geometric Design, 1996, 13(3): 199-217
- [5] Lü Yonggang, Wang Guozhao, Yang Xunnian. Uniform hyperbolic polynomial B-spline curves[J]. Computer Aided Geometric Design, 2002, 19(6): 379-393
- [6] Han Xuli, Liu Shengjun. An extension of the cubic uniform B-spline curves[J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2003, 15(5): 576-578 (in Chinese)
(韩旭里, 刘圣军. 三次均匀 B 样条曲线的扩展[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2003, 15(5): 576-578)
- [7] Wang Wentao, Wang Guozhao. Uniform B-spline with shape parameter[J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2004, 16(6): 783-788 (in Chinese)
(王文涛, 汪国昭. 带形状参数的均匀 B 样条[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2004, 16(6): 783-788)
- [8] Wang Wentao, Wang Guozhao. Trigonometric polynomial uniform B-spline with shape parameter[J]. Chinese Journal of Computers, 2005, 28(7): 1192-1198 (in Chinese)
(王文涛, 汪国昭. 带形状参数的三角多项式均匀 B 样条[J]. 计算机学报, 2005, 28(7): 1192-1198)
- [9] Wang Wentao, Wang Guozhao. Hyperbolic polynomial uniform B-spline with shape parameter[J]. Journal of Software, 2005, 16(4): 625-633 (in Chinese)
(王文涛, 汪国昭. 带形状参数的双曲多项式均匀 B 样条[J]. 软件学报, 2005, 16(4): 625-633)
- [10] Pang Yongjuan, Wang Guojin. Monotonicity-preserving interpolation with a kind of plane parameter curves[J]. Journal of Software, 2003, 14(8): 1439-1447 (in Chinese)
(潘永娟, 王国瑾. 一类平面参数曲线的保单插值[J]. 软件学报, 2003, 14(8): 1439-1447)

- [11] Hoschek J, Lasser D. Fundamentals of Computer Aided Geometric Design[M]. Wellesley, MA: A K Peters, 1993



Xu Gang, born in 1981. Ph. D. candidate. His main research interests include computer graphics, geometric design & computation, mesh processing and freeform deformation.

徐 岗,1981 年生,博士研究生,主要研究方向为计算机图形学、几何设计与计算、网格处理及自由变形。



Wang Guozhao, born in 1944. Professor and Ph. D. supervisor. His main research interests include computer graphics, computer geometric design and medical image processing.

汪国昭,1944 年生,教授,博士生导师,主要研究方向为计算机图形学、计算机辅助几何设计及医学图像处理。

Research Background

Cubic uniform B-spline curves are widely employed in CAD/CAM modeling systems. However, there are several disadvantages for cubic uniform B-spline curves. One of the disadvantages is the degree of freedom for shape modification. Previous work is concerned on the global shape parameters for shape modification. In this paper, we propose two novel extensions of cubic uniform B-spline curves with local shape parameters. By changing the values of the local shape parameter, we can manipulate the shape of the curves locally. Their applications in curve design and interpolation are also discussed in this paper. Our work is supported by the National Nature Science Foundation of China under grant No. 60473130 and the National Key Basic Research and Development Program of China under grant No. 2004CB318000.

第 7 届全国虚拟现实与可视化学术会议(CCVRV '07) 征文通知

由中国计算机学会虚拟现实与可视化技术专业委员会、中国图像图形学会虚拟现实与可视化技术专业委员会和中国系统仿真学会虚拟现实技术专业委员会主办,北京航空航天大学承办的第 7 届全国虚拟现实与可视化技术及应用学术会议将于 2007 年 10 月在北京举行。本次会议将聚集国内从事虚拟现实与可视化技术的研究人员和工程技术人员,广泛开展学术交流,研究发展战略,推动成果转化,共同促进虚拟现实与可视化技术的发展与应用。

本次大会录用的学术论文将在核心期刊《系统仿真学报》(增刊)发表。会议将邀请国内外著名专家作专题报告,同时将举办科研成果和最新产品展示会,为各研究开发单位及有关厂商展示自己的成果、产品提供场所。欢迎大家积极投稿。

征文范围(包括但不限于)

建模技术	动画技术	可视化技术	多媒体技术	人机交互技术
虚拟制造	仿真技术	分布式系统	空间化声音	模式识别应用
图形平台	网络技术	遥控操作技术	VRML 技术	逼真图形图像技术
增强现实	协同操作	数字博物馆	网络游戏	图像绘制技术
可视化地理信息系统	基于图像的视景生成技术	虚拟现实与可视化应用系统		

征文要求

- ① 论文未被其他会议、期刊录用或发表,不超过 10 页;
- ② 要求电子投稿(同时提交 Word 与 Pdf 格式文件);
- ③ 论文包含:题目、中英文摘要、正文、参考文献等;
- ④ 正式论文格式见论文录用通知;
- ⑤ 投稿者请在论文最后务必写清姓名、单位、通信地址、电话及 Email 地址。

重要日期

征文截止日期 2007 年 6 月 15 日(收到日期)

录用通知日期 2007 年 7 月 15 日(发出日期)

来稿联系方式(请注明 CCVRV07 征文)

联系单位:北京航空航天大学 6863 信箱;联系地址:北京市海淀区学院路 37 号;邮政编码:100083

联系人:伍潇潇,胡勇,范志强,王正光;电话:13161965259;电子邮件:ccvr07@vrlab.buaa.edu.cn

会议网站

<http://vrlab.buaa.edu.cn>

欢迎上网查询大会各项文件和最新通知。