

国际计算机图形会议译文集

(1986)

上 册

国家机械工业委员会武汉计算机外部设备研究所

一九八八年三月

不规则网格局部曲面插补法

理光公司软件研究中心

Hiroaki Chiyokura

摘 要

本文介绍了一种不规则曲线网格的曲面插补法。当在网格中插入一个面时,根据局部边界信息能在该面上单独地产生出一个碎片曲面。碎片曲面的切面是连续的。此方法把一种改进过的贝齐碎片作为曲面方程。只要沿边界曲线单独确定法向导数,就能定义碎片曲面。因此,生成碎片的全部过程既快又省。

关键字: CAD/CAM, 自由形式曲面, 立体造型, 不规则网络, Gregory碎片。

1. 导 言

自由形式曲面计算机表示法的重要意义已广为CAD/CAM界人士所认识。自由形式曲面计算机表示法能支持CAD/CAM中的各种不同工作,如数控机械加工和图形显示。本文提出了一种用来表示带有自由形式曲面的工程物体形状的方法。

设计师在用计算机设计自由形式曲面时,首先要利用设计系统现有的工具产生一种曲线网格模型,并根据曲线表示出合乎要求的自由形式曲面的特征。然后由设计系统生成插入到网格模型上的曲面。这一方法的优点是用户能够方便地处理自由形式曲面和修改曲线网格模型中的曲线形状。在采用此方法时,若用户能任意添加或删除模型中的曲线,则曲线网格为不规则网格。例如,网格模型内包含有与三条曲线相连接的三角形侧面和结点。为此,我们提出了一种产生关于不规则曲线网格的自由形式曲面的新方法。

2. 不规则曲线网格的插补

在我们以前提出的不规则曲线网格插补法〔1, 2〕中(如图1所示),网格上的自由形式曲面是由局部边界信息生成出来的,其切面是连续性的。如图2所示,当插入面F1时,可由边 E_1 , E_2 , E_3 和 E_4 的边界产生一个自由形式曲面。这种局部插补法具有如下优点:

(1) 因为只涉及到局部信息,所以曲面的生成过程十分简单。

(2) 因为能够很快地产出曲面,所以设计系统的内部表示法中不必要有曲面方程。因而,内部表示需要占用的存贮空间较小。

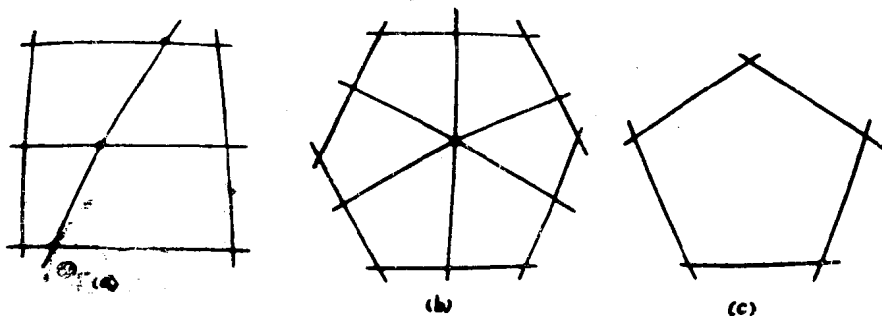


图1 不规则曲线网络

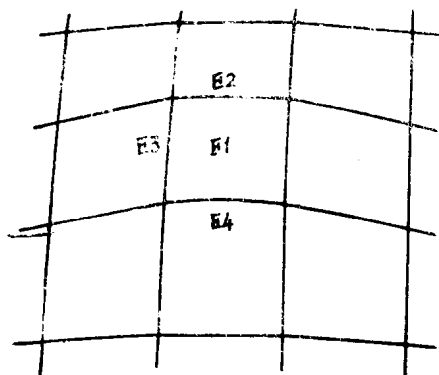


图2 被插入的面及其边界

正因为这种方法只涉及到局部信息，所以它存在以下两个问题：

(1) 时而产生出整个表面不平滑的曲面。

(2) 很难产生出这样的曲面，即对于图3所示的曲线网络来说是连续的切面。从图3可以看出，顶点 V_1 是 E_1 、 E_2 、 E_3 这三条边的交点，所以， E_1 、 E_2 两边的曲线是无间断的切线。我们把结点 V_1 称为T结点。

T结点往往出现在表示自由形式曲面特征的曲线网络中。模型中的T结点 V_i ($i=1 \cdots 4$) 如图4所示。面 F_1 中加入边 E_1 时，会出现T结 V_1 与 V_2 ，如图5所示。

本文提出了一种能克服以上两个问题的局部曲面插补新方法。采用此方法插入面 F_1 时 (如图6所示)，由其边界边 E_i ($i=1 \cdots 5$) 及同这些边界边连接的边 E_j ($j=6 \cdots 4$) 产生出曲面来。这种新方法已经在我们的立体造型系统DESIGNBASE[3]中得到实现。

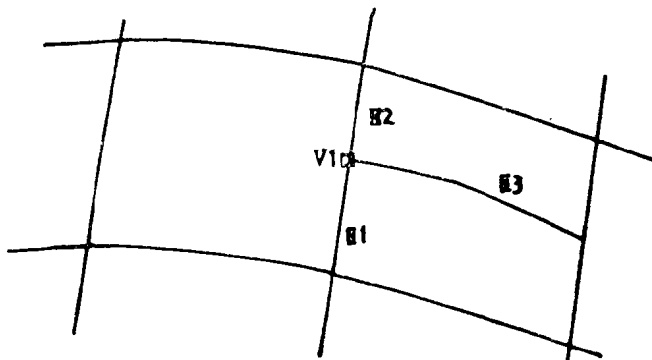


图3 曲线的不规则网格

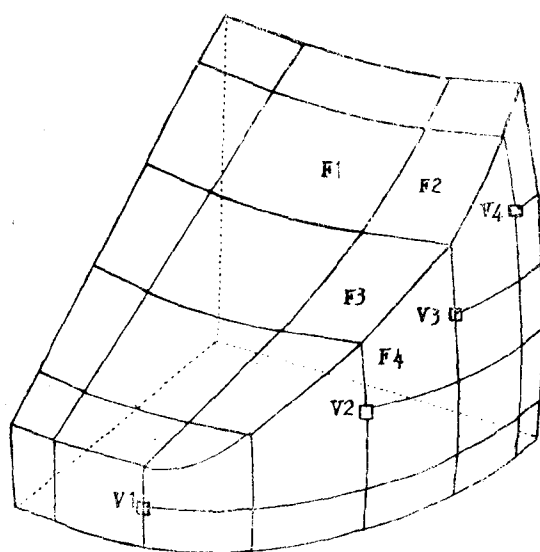


图 4 带有 T 结点的曲线网络

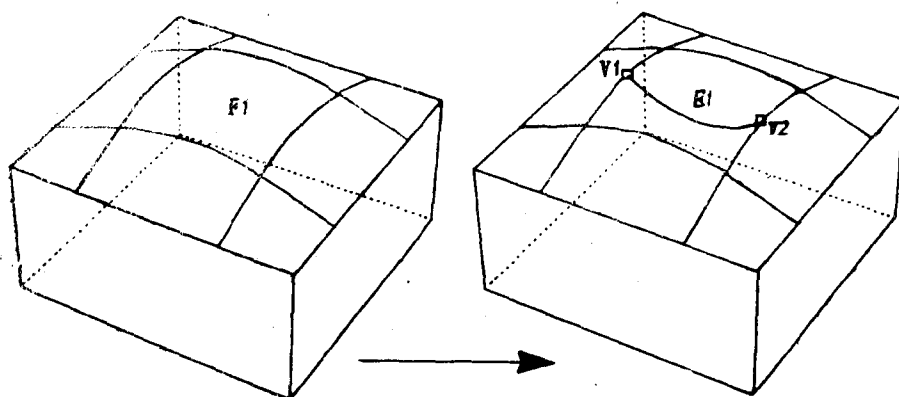


图 5 带有 T 结点的曲线网络

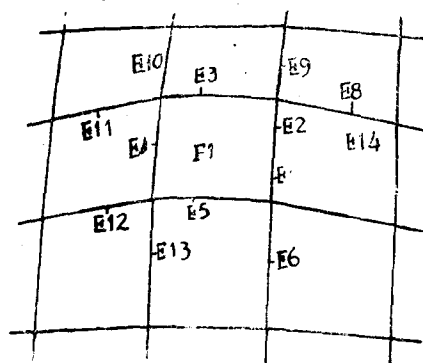


图 6 被插入的面及其边界边

3. 自由形式曲面的输入方法

3.1 常规输入方法

自由形式曲面的常规输入方法大体可分为两类。一类是“截面法”(CS法),另一类是“特征多面体法”(CP法)。在采用CS法时,先由用户定义所需形体的截面,然后由系统插入给定的截面而生成曲面。CS法的优点是用户能准确定义形体,并能直接修正截面,对形体作细小的修改。但是,不容易改变整个形体。

在采用CP法时,用户可以通过特征多面体来定义自由形式曲面。典型的CP法采用的是B样条曲面[5]。用户为了定义B样条曲面,需要输入一个所有面为矩形且其顶点在四条边上的多面体。通过修正该多面体,很容易做到对形体作整体修改,但很难做到对形体进行准确的定义。近年来,人们为了改进B样条法进行了许多努力[6、7、8],但他们提出的方法不能象CS法那样做到对形体进行准确的定义和细小的修改。

在DESIGNBASE中,用户首先输入一特征多面体。此多面体不是定义曲面而是用来定义曲线网格模型的。然后,由系统插入被定义的网格模型。在对形体作总体修改时,改变特征多面体。在作细小修改时,改变网络模型中的曲线。这样,此方法可使用户享受CS法和CP法两者的优点。

3.2 DESIGNBASE中的输入法

在DESIGNBASE系统中,带有自由形式曲面实体的输入按如下步骤完成:

[步骤1]设计框架模型

用户利用局部运算和集运算设计出大体表示所需要形体的“框架模型”。实体的所有边是直线段,但面不一定是平面。一部电话的框架模型如图7所示。

[步骤2]设计曲线网格模型

利用园化运算[1],由框架模型生成曲线网格模型。在园化运算前,用户要从0、1、和2三数中选定每条边的园化值:

0. 被弯曲成圆的边。在生成自由形式曲面时用此值。
1. 保持不变的边。所指定的边根据邻近边的值变成一条弯曲边。
2. 按给定半径弯曲成圆的边。此边变成一个圆角曲线。

如要作了细小的调整,用户必须向模型添加一条边或修改被弯曲边。由框架模型产生的电话曲线网格模型如图8所示。

[步骤3],生成自由形式曲面。

在曲线网格模型的各面上生成自由形式曲面。本文将对一种曲面生成算法作深入探讨。

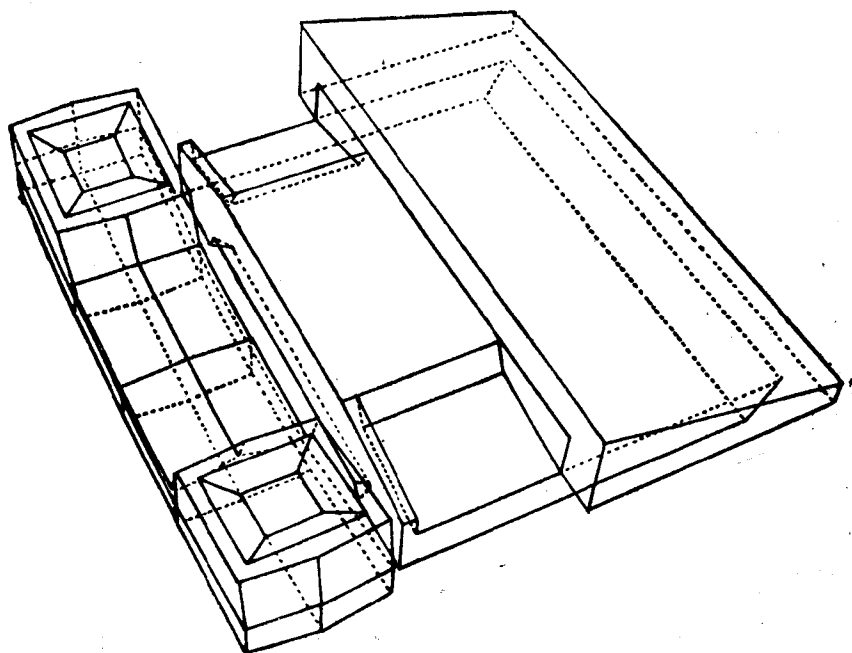


图 7 电话的框架模型

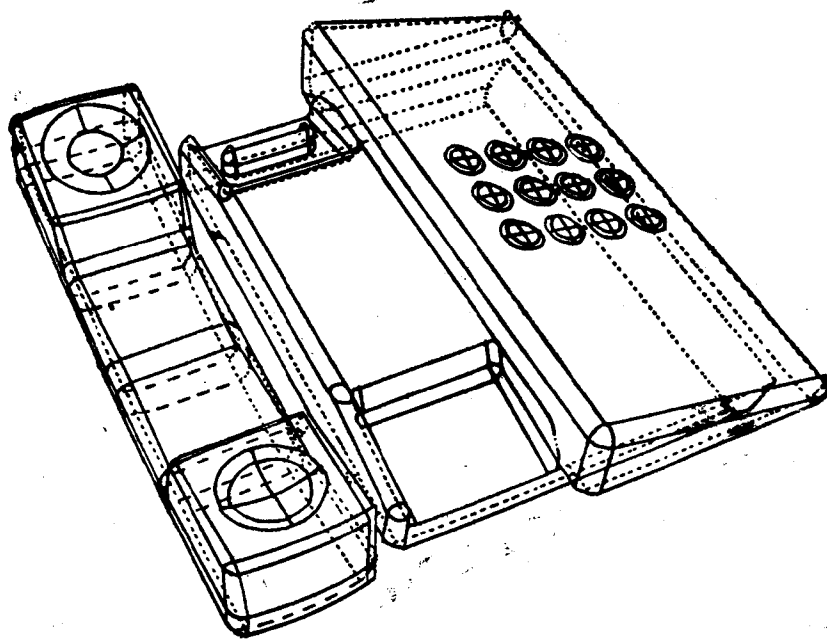


图 8 电话的曲线网络

4. Gregory碎片曲面

为了能够独立地规定碎片边界上的法向导数, Gregory对Coons碎片曲面作了改进[9]。这一改进被称为“相容性修正”[10]。Chiyokura和Kimura对双三次贝齐曲面作了同样的改进[1]。在我们提出的插补方法中, 经过改进的贝齐碎片曲面作为数学方程, 被称为“Gregory碎片”。下面我们将介绍Gregory碎片曲面的特点及这两种曲面之间的联系, 为后面阐述插补法作准备。

4.1 Gregory碎片曲面的特点

如图9所示, 一个Gregory碎片曲面由一组20个控制点 $P_{i,j,K}$ ($i=0\cdots 3, j=0\cdots 3, K=0\cdots 3$)来定义。碎片曲面的方程式如下:

$$S(u, w) = \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 B_i(u)B_j(w)Q_{i,j}(u, w) \quad 0 \leq u, w \leq 1$$

$$B_i(u) = \binom{3}{i} u^i (1-u)^{3-i}$$

$$Q_{i,j}(u, w) = P_{i,j,0} = P_{i,j,1} \quad (Q_{1,1}, Q_{2,1} \text{ 将 } Q_{2,2} \text{ 除外})$$

$$Q_{1,1}(u, w) = \frac{uP_{1,1,0} + wP_{1,1,1}}{u+w}$$

$$Q_{2,1}(u, w) = \frac{(1-u)P_{2,1,0} + wP_{2,1,1}}{1-u+w}$$

$$Q_{1,2}(u, w) = \frac{uP_{1,2,0} + (1-w)P_{1,2,1}}{u+1-w}$$

$$Q_{2,2}(u, w) = \frac{(1-u)P_{2,2,0} + (1-w)P_{2,2,1}}{1-u+1-w}$$

Gregory碎片曲面具有以下三个主要特点:

(1) Gregory碎片曲面具有类似于贝齐曲面的凸包特性, 即: 曲面上的任何一点总是包含在由20个控制点定义的凸包内。这一特点有利于作曲面凸凹不平度干扰检查。

(2) Gregory曲面在一种情况下可退化成一个双三项贝齐曲面。当八个内部控制点均满足方程 $P_{i,j,0} = P_{i,j,1}$ ($i=1\cdots 2, j=1\cdots 2$)时, Gregory曲面就变成一个贝齐曲面。

(3) 碎片曲面边界上四法向导数能被单独地确定为三次曲线。

碎片曲面 $S(u, w)$ 的法向导数表达如下:

$$\partial S(u, w) / \partial w |_{w=0} = S_w(u, 0)$$

这样, 这些法向导数根据控制点定义如下:

$$S_w(u, 0) = 3 \sum_{i=0}^3 B_i(u) (P_{i,1,0} - P_{i,0,0})$$

$$Sw(u, 1) = 3 \sum_{i=0}^3 Bi(u)(Pi, 3, 0 - Pi, 1, 0)$$

$$Su(0, w) = 3 \sum_{i=0}^3 Bi(w)(P1, i, 0 - P0, i, 1)$$

$$Su(1, w) = 3 \sum_{i=0}^3 Bi(w)(P3, i, 0 - P2, i, 1)$$

正是Gregory曲面的最后一个特性使得我们有可能提出新的局部插补法。

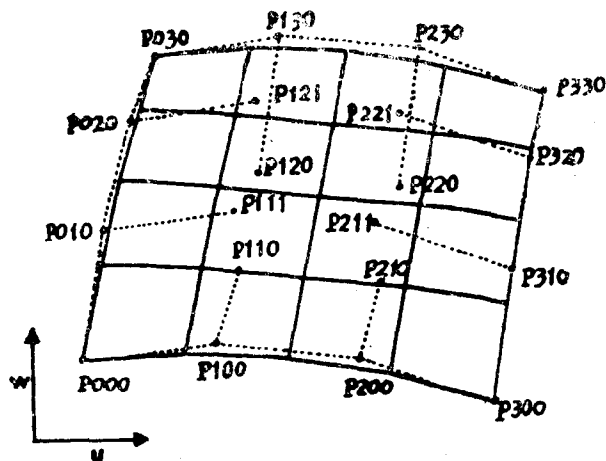


图9 Gregory碎片曲面的控制点

4.2. 碎片连接

本小节将叙述切面具有连续性条件下两个Gregory碎片的连接问题。图10示出了两个需要连接的Gregory碎片 $S(u, w)$ 和 $S'(u, w)$ 。图中，矢量 $ai(i=0 \dots 3)$, $bi(i=0 \dots 3)$ 及 $ci(i=0 \dots 3)$ 为：

$$ai = P3, i, 1 - P2, i, 0$$

$$bi = P'1, i, 1 - P'0, i, 0$$

$$ci = P'0, i+1, 0 - P0, i, 0$$

式中， Pi, j, k 与 $P'i, j, k$ 分别为碎片曲面 $S(u, w)$ 和 $S'(u, w)$ 的控制点。对于两个成为关于边界为连续切面的碎片曲面，交于顶 $V0$ 的三条矢量 $a0, b0$ 和 $c0$ 必须在同一平面上。矢量 $a3, b3$ 和 $c2$ 也应在同一平面上。其表达式如下：

$$b0 = K0a0 + h0c0$$

$$b3 = K1a3 + h1c2$$

其中， $K0, K1$ 及 $h1$ 为数量值。两个碎片曲面成为连续切面的条件是 $Su(1, W)$ 为二项曲面，且控制点间的矢量应满足以下关系式〔1〕：

$$b1 = (K1 - K0)a0/3 + K0a1 + 2h0c1/3 + h1c0/3$$

$$b2 = K1a2 - (K1 - K0)a3/3 + h0c2/3 + 2h1c0/3 \dots \dots \dots (1)$$

因为 $Su(1, W)$ 是一个二次方程，所以，其二次贝齐函数必须由 $a0, a1$ 及 $a3$ 这三个矢量来确定。接下来我们用如下方程式来确定矢量 $a1$ 和 $a2$ ：

$$\begin{aligned} a_1 &= (a_0 + 2q)/3 \\ a_2 &= (2q + a_3)/3 \dots\dots\dots (2) \end{aligned}$$

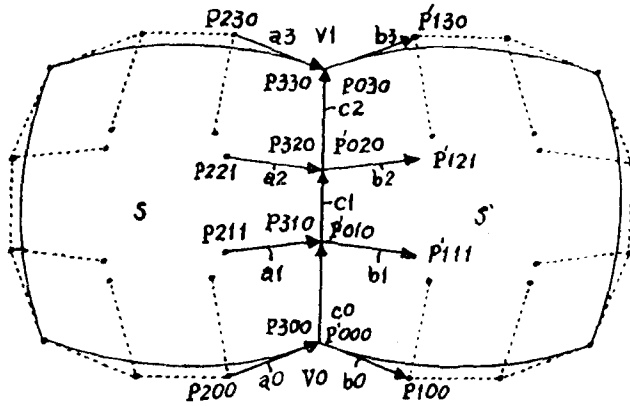


图 10 两个Gregory碎片曲面的连接

5. Gregory碎片的生成过程

由Gregory碎片插入的面F如图11所示。碎片的生成过程叙述如下。

(1) 边界边正交切线的定义

沿面F的边 E_i ($i = 1 \dots\dots 5$) 定义边界边正交切线 $g_i(t_i)$ ($0 \leq t_i \leq 1$) ($i = 1 \dots\dots 4$)。如图11所示, 如要插入F和F'两个面, 需要沿边E1分别定义两条切线 $g_1(t_1)$ 和 $g'_1(t_1)$ 。若F和F'两面上的碎片曲面的切面是连续的, 则边E1上的两切线有 $g_1(t_1) = -g'_1(t_1)$ 。图中, 边E3和E4连接在T结点顶点V1上。因为E3E4被表示成一条三次贝齐曲线, 所以

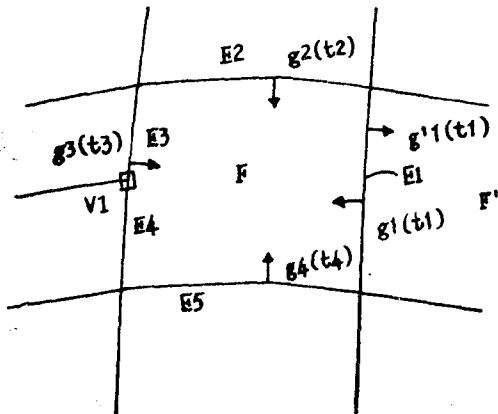


图 11 边界曲线及边界边正交切线

所以沿边E3和E4只定义一条边界边正交切线 $g_3(t_3)$ 。因为切线是二次曲线, 所以能够按式(1)和式(2)将其转换成碎片曲面的法向导数。

(2) 控制点的确定

因为边界边正交切线可以用二次贝齐函数来表示, 而贝齐函数由 a_0 、 a_1 和 a_2 三条矢量定义, 所以, 若给出这三条矢量, 就可以按式(1)和式(2)求出意义碎片曲面法向导数的各控制点。当边界边正交切线数等于4时, 按此方法求出的控制点用来定义一个Gregory碎片, 至此, 完成Gregory碎片生成的全部过程。

(3) 面的细分

若某一个面是一个非矩形面, 则必须将其定解成若干个小矩形面, 以便能在每一小面生

成Gregory碎片曲面（如图12所示）。在我们的系统中，所有的面只由矩形Gregory碎片插入。但已经有人提出了非矩形碎片插入法[1', 12]。如果三角形或五角形碎片也作为系统的内部表示法，则每一碎片需要有自身的处理程序。例如，需要有一个单独的程序用来计算各碎片与一平面间的每一个截面。这样就势必加大了系统程序。因此，在我们的系统中只采用矩形Gregory碎片。

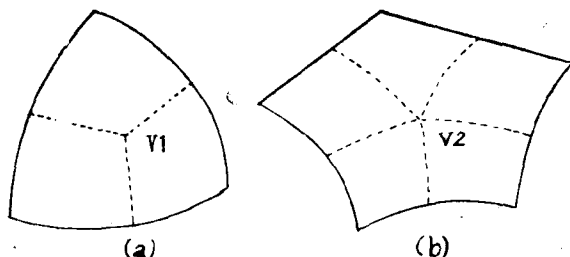


图12 非矩形面的细分

6. 边界边正交切线的定义

我们提出的新方法 with 老方法的主要区别在于边界边上切线的定义。本小节将详细叙述切线的定义方法。边界边正交切线的定义方法依照边是否连接到T结而有所不同。下面将分别对两种情况加以叙述。

6.1 边不连接到T结点的情况

面F1和F2的相交边E0上边界边正交切线的定义如图13所示。图中，边E0连接V1和V2两顶点。点Z1和Z2是边E0的贝齐曲线控制点。边E1和E2连接在边E0和面F1上，同样，边E3和E4连接在边E0和F2上，设靠近顶点V1和V2的P1、P2、P3和P4各点分别为表示边E1、E2、E3和E4的各贝齐曲线的控制点。切线定义分以下三步进行：

(1) 计算法矢量

我们的系统能自动生成用户设计的某曲线网格的插入曲面。边界曲线一般用来表示要在交于某一边的两个面上产生的曲面切面的连续性，例如，图4中的F1和F2两个面上的曲面是连续的。但是，F3和F4两面上的曲面需要单独地产生出来。若想检查图13中F1和F2两面的连续性，必须将由V1、P1和Z1定义的平面上的法矢量 $n_{1,1}$ 的值与由V1、P4和Z1三点定义的平面上法矢量 $n_{1,2}$ 的值进行比较。若比较结果表明这两条法矢量的值相同，则面F1和F2对于顶点V1是连续的。若两条矢量值不相同，则要对法矢量 $n_{2,1}$ 和 $n_{2,2}$ 的值再作一次比较，以确定关于顶点V2的连续性的必要条件。

(2) 确定矢量 a_0 和 a_2

边E1上的切线是一个由 a_0 、 a_1 和 a_3 三矢量定义的二次贝齐函数。本小节将介绍确定顶点V0和V2上相切矢量 a_0 和 a_2 的方法。切矢量的方向虽然具有几何意义，但其长度却不具有

几何意义。设 a_0 和 a_2 为单位矢量。若仅在面 F_1 上产生一个平滑的曲面，则需要使 a_0 和 a_2 分别成为平行于矢量 P_1V_1 和矢量 P_2V_2 的矢量。为了把 F_1 和 F_2 连接起来，设矢量 P_1V_1 和 V_2P_4 的平均值等于单位矢量 a_0 。矢量 a_2 的定义采用与此相类似的方法。矢量 a_0 和 a_2 表达如下：

$$\begin{aligned} &\text{若 } n_{1,1} = n_{1,2}, \\ &\text{则 } a_0 = (P_1 - P_4) / |P_1 - P_4| \\ &\text{或 } a_0 = (P_1 - V_1) / |P_1 - V_1| \dots\dots\dots (3) \\ &\text{若 } n_{2,1} = n_{2,2} \\ &\text{则 } a_2 = (P_2 - P_3) / |P_2 - P_3| \\ &\text{或 } a_2 = (P_2 - V_2) / |P_2 - V_2| \end{aligned}$$

(3) 矢量 a_1 的确定

要想产生出一个平滑的曲面，边界边正交切线必须是平滑的。为简便起见，设切线是线性的。矢量 a_1 可表达如下：

$$a_1 = (a_0 + a_2) / 2 \dots\dots\dots (4)$$

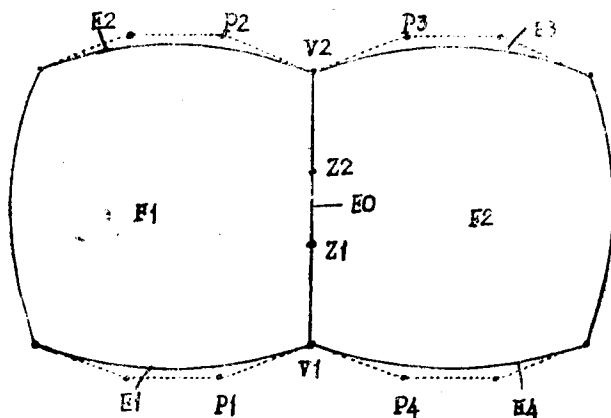


图13 边界曲线

6.2 边与T结点相连接的情况

需插入的面 F_1 如图14所示。 F_1 与T结点顶点 V_3 与 V_1 和 V_2 两顶点相接。顶点 V_3 为 E_1 、 E_2 和 E_3 三边的交点。边 E_1 和 E_2 最初用三次贝齐曲线表示，直到除以原始边得出顶点 V_3 。设边 E_1 、 E_2 和 E_3 上贝齐曲线的控制点为 Z_1 、 Z_2 和 P_5 。边 E_1 和 E_2 上切线的定义方法叙述如下：

(1) 计算法矢量

顶点 V_1 上的法矢量 $n_{1,1}$ 和 $n_{1,2}$ 及顶点 V_2 上的法矢量 $n_{2,1}$ 和 $n_{2,2}$ 按6.1(1)小结中介绍的方法计算。

(2) 矢量 a_0 和 a_2 的确定

按式(3)确定切线 a_0 和 a_2

(3) 矢量 a_1 的确定

若 $n_{1,1} \neq n_{1,2}$ ， $n_{2,1} \neq n_{2,2}$ 则利用式(4)确定矢量 a_1 。否则，先利用 $b_3 = (V_3 - P_5) / |V_3 - P_5|$ 计算出顶点 V_3 上的单位切矢量 b_3 。若边 E_1 和 E_2 能表示成一个三次

贝齐曲线，则由下式求出顶点V3位置上的参数值 t_3 ，

$$t_3 = |V_3 - E_1| / |2E - E_1|。$$

二次贝齐函数

$$P(t) = \sum_{i=0}^2 B_i(t) a_i$$

中用以插入 $V_1(t=0)$ 、 $V_3(t=t_3)$ 和 $V_2(t=1)$ 三点的矢量 a_1 由下式求出，

$$a_1 = (b_3 - B_0(t_3)a_0 + B_2(t_3)a_2) / B_1(t_3)$$

这条矢量用来定义边界边正交切线。

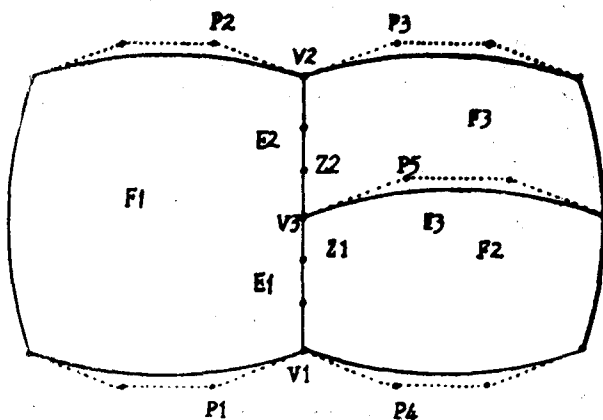


图14 接于T结点的边界曲线

7. 例子

图15示出了一个不规则网格模型的例子。模型中的面F1接于V1和V2两T结点顶点。该模型产生的自由形式曲面的截面如图16所示。图17和图18分别是图4和图5中介绍的模型中自由形式曲面的截面。

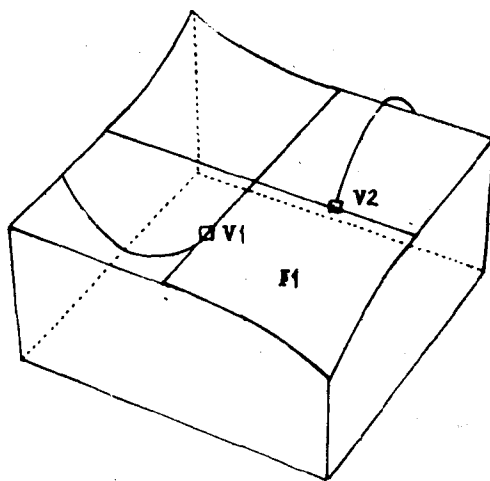


图15 带T结点的曲线网络

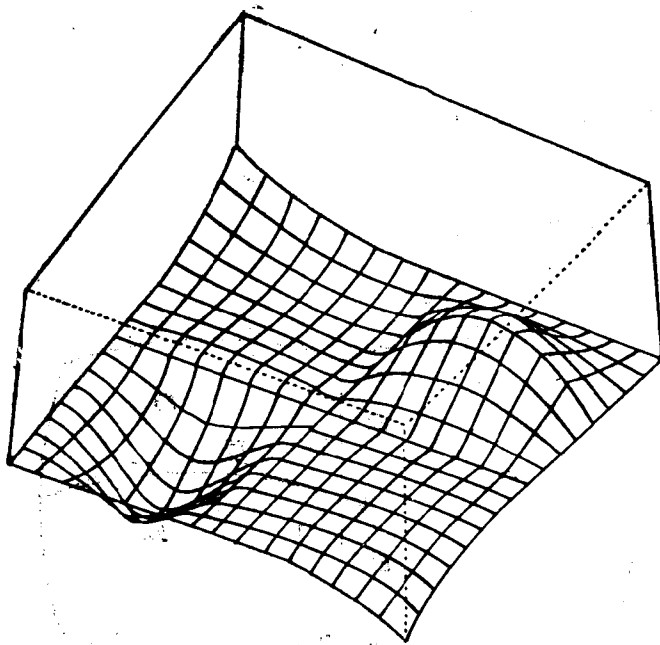


图16 曲面的截面

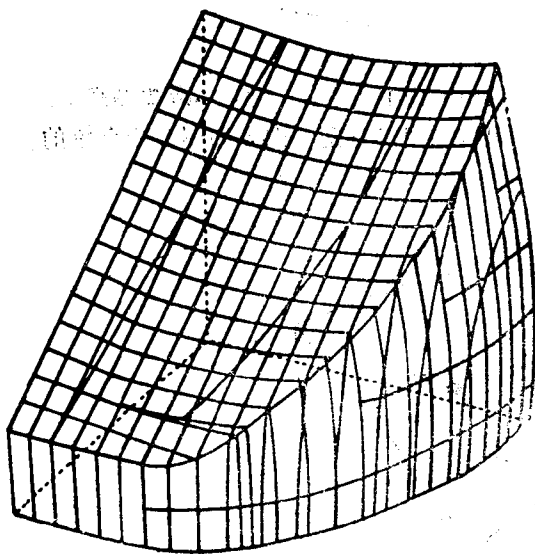


图17 曲面的截面

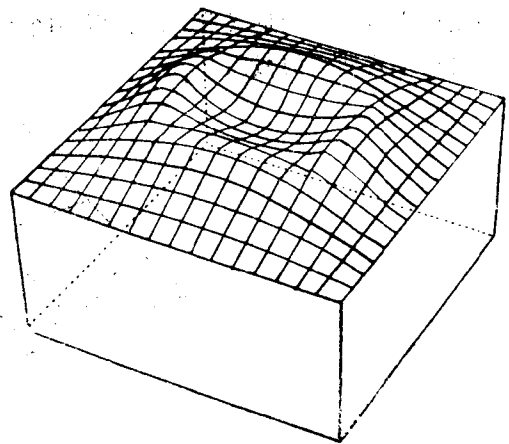


图1 曲线的截面

8. 结束语

本文提出了一种带有T结点的不规则曲线网格插补法。此方法中,插入到一个面上的自由形式曲面单独由局部边界信息产生。因此,曲面生成过程简单、迅速。

Gregory碎片当作曲面方程使用。碎片曲面共由20个控制点控制,具有凸包特性。此外,碎片曲面还能插入到单独在各边界曲线上定义四个法向导数上。

参 考 文 献

- [1] H. Chiyokura and F. Kimura "Design of Solids with Free-form Surfaces," Computer Graphics (Proc. SIGGRAPH' 83), Vol. 17, No 3, July 1983, pp. 289-298.
- [2] H. Chiyokura and F. Kimura, A New Surface "Interpolation Method for Irregular Curve Models," Computer Graphic Forum (J. of EUROGRAPHICS), Vol. 3, No. 3, 1984, pp 209-218.
- [3] H. Toriya, T. Sato, K. Ueda and H. Chiyokura, "Invertible Set Operation for Solid modeling," Computer Graphics-Visual Technology and Art (Proc. Computer Graphics Tokyo' 85), T. L. Kunii (ed.), Springer-Verlag, Tokyo, 1985, pp. 3-20
- [4] I. D. Faux and M. J. Pratt, Computational Geometry for Design and Manufacture, Ellis Horwood, London, 1979.
- [5] R. F. Riesenfeld, Applications of B-spline Approximation to Geometric Problems of Computer Aided Design, Ph. D. thesis, Syracuse University, Ma 1973.
- [6] D. Doo, "A Subdivision Algorithm for Smoothing Down Irregular Shaped Polyhedrons," Proc. Conf. Interactive Technique in CAD, IEEE Computer Society, 1978, pp. 157-165.
- [7] E. Catmull, and J. Clark, "Recursively Generated B-spline Surfaces on Arbitrary Topological Meshes," Computer Aided Design, Vol. 10, No. 6, November 1978, pp. 350-355.
- [8] B. A. Barsky and J. C. Beatty, "Local Control and Bias and Tension in Betaspline," Computer Graphics (Proc. SIGGRAPH' 83), vol. 17, No. 3, July 1983, pp. 218.
- [9] J. A. Gregory, "Smooth Interpolation without Twist Constraints," Computer Aided Geometric Design, R. E. Barnhill and R. F. Riesenfeld (Eds.), Academic Press, New York, 1974, pp. 71-87.
- [10] R. E. Barnhill, J. H. Brown and I. M. Klucewicz, "A New Twist in Computer Aided Geometric Design," Computer Graphics and Image Processing,

Vol. 8, 1978 pp. 78-91.

- [11] M. A. Sabin, "Non-Rectangular Surface Patches Suitable for Inclusion in a B-spline Surface," EUROGRAPULCS 83, P. ten Hagen (Ed.), North-Holland, Amsterdam, 1983, pp, 57-69.
- [12] M. Hosaka and F. Kimura, "Non-four Sided Patch Expression with Control Points," Computer Aided Geometric Design, Vol. 1, No. 1, 1984.

王世运 译

结构立体几何 (CSG) 的快速描述环境

日本图形计算机公司

Akira Fujimoto, Christopher G. Perrott, Kansei Iwata

摘 要

本文从算法和数据结构两方面对一组软件实体进行了叙述, 这组软件实体构成了一个有效描述由任意体积布尔结构定义的复杂图形的系统。该系统的三个关键性部分是

空间计算的辅助数据结构 (SEADS)

布尔编译程序 (B-COM)

光线跟踪程序 (ART)

SEADS是一种能够对物空间内每一长方体形体元有关信息作快速访问的数据结构。B-COM的作用是把CSG定义编译成SEADS的同时将其大部分进行分解。ART是我们前阶段开发研究工作的部分成果, 现经过推广, 用来处理SEADS中的剩余布尔信息, 使之能派各种不同用处 (其中包括物质性质计算、绘制图象等)。

如许多实验结果表明的那样, 此系统的主要优点是速度快。ART的处理时间基本上是一个常数, 与被处理的物体数目和CSG描述的复杂程序无关。B-COM的处理时间在某种程度上要受到被处理的物体数目及CSG描述的复杂性的影响, 但在几乎所有实际情况下, 它只占总处理时间中的极小部分。

导 言

现行的立体造型系统能支持功能极强的高级操作, 但用户普遍认为这些造型系统的速度太慢。因此, 人们在立体造型方面开展的研究工作着重于提高计算速度 (Atheron 1983, Sears 1984)。立体造型器效率的提高与共使用的表示法有着密切的关系。Requicha与Voelcker (1983) 及Atherton (1983) 已经对这个问题作过深入的阐述。CSG表示法优越的精确性和紧凑性 (科技文献已对此作过多次讨论) 推动CSG表示法不断地得到普及应用 (Wyvill 1985)。然而, 令人遗憾的是CSG表示的直接描述法因其处理时间过长而得不到人们的接受。为了提高CSG绘制速度, 有些研究人员选用了一种牺牲某些准确性和紧凑性的方案而提出了若干简单化的办法 (Atherton 1983, Sears 1984)。

CSG模型生成浓淡曲面图象中常用以下两种方法 (Atherton 1983; Requich与Voelcker 1983):

1. 直接法 光线投射
2. 间接法 先将CSG表示法变换成另一种表示法, 如边界表示法, 然后实施隐面消除算法, 从而达到分解CSG。

然而, CSG表方法最适合于光线跟踪算法。光线跟踪法是唯一直持反射和折射的切实可行的算法, 而且它产生的图象真实感在目前最佳。但是, 人们普遍认为光线跟踪算法的效率特别低 (Whitted 1980)。还有人认为光线跟踪法无法利用凝聚性质 (Atherton 1983)。

我们前阶段的研究结果表明, 如果采用一种辅助数据结构, 这种数据结构不但自身具有高度凝聚性, 而且还能利用原始模型中的凝聚性, 光线跟踪算法的计算速度能够得到最大的提高 (Fujimoto等人 1985)。这一结构中表现的凝聚性能为光线跟踪法直接使用的以三维线发生器的形式出现的快速遍历工具所利用。实验结果表明, 空间计算的三维网格的性能远远优于八叉树 (Fujimoto等人 1985)。实验已证明这一种结构优于八叉树分解法。特别是, 采用光线跟踪法达到的描绘时间与景中物体数目无关。实际上, 对于含有数以千计物体的复杂的景, 加速光线跟踪法的速度要高于常用的扫描线法 (Fujimoto 等人 1985)。

上述研究成果是我们开展对用光线跟踪法描绘复杂CSG结构研究的出发点。SEADS优于八叉树的根本之处是它的最终结构与物体形状无关; 在进行计算前, 有些参数如每一方向上的体元数可以固定下来。正如我们将在本文后面所看到的那样, SEADS的这一特性为实际描绘开始之前对各种体积运算实施有效预处理提供了良好的环境。例如, 它是实现作为 B-COM基本工具的平面发生器的基本条件。

环境成分

正如Requicha和Voelcker (1983) 所提出的那样, 一个造型系统能够被看成是:

1. 一个表示法的特定集合, 有些表示法是准确的, 有些是近似的, 还有一些是辅助性的。
2. 一个对表示法实施管理、完成表示法转换及其他几何演算的算法的集合。

下面我们将提出一组构成我们的CSG系统工作环境的表示法和算法。

一线发生器 (三维DDA): 一种快速的遍历工具, 用来找出所有与一任意光线相交的体元。

—SEADS: 是一种以具有与模型无关的高度凝聚性的特点的数据结构。

—B-COM: 一组有效的程序, 在预处理阶段, 它在将模型编译成SEADS的同时对体积布尔运算中重要部分进行分解。

—曲面发生器 (三维SG): B-COM用以有效计算出与某一物体曲面相交的体元的算法 (三维DDA的概念的推广, 使之从线运用到面)。

下面我们将逐一详细地讨论这些工具。