

文章编号:1001-9081(2009)06-1687-03

基于多不动点约束的网格模型局部编辑

李 环^{1,2}, 周帅锋²

(1. 东莞理工学院 计算机学院, 广东 东莞 523808; 2. 西安交通大学 电子与信息工程学院, 西安 710049)
(lihuan@dgut.edu.cn)

摘要:传统的自由变形方法通过计算控制晶格来变形, 不适用于精确变形的情况。针对此问题, 提出一种基于多不动点约束的网格模型局部编辑算法, 该算法通过多个不动点的合理配置设定多种复杂的约束条件, 实现网格模型的局部编辑, 进而精确的变形模型。实验表明算法计算代价低, 可实现精确变形。

关键词: 多不动点; 网格模型; 局部编辑; 影响因子; 亲密度

中图分类号: TP391.72 文献标志码:A

Local deformation of mesh model based on restriction of multiple fixed points

LI Huan^{1,2}, ZHOU Shuai-feng²

(1. School of Computer Science, Dongguan University of Technology, Dongguan Guangdong 523808, China;
2. School of Electronic and Information Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an Shaanxi 710049, China)

Abstract: The traditional free-form deformation methods by using control lattices are not suitable for precise control of deformation. In order to solve this problem, a local deformation of mesh model based on restriction of multiple fixed points method was proposed, in which many complex restriction conditions were managed by using appropriate settings of fixed points and exact partial deformation model was obtained. Experimental results show that this algorithm can achieve exact deformation with low calculation cost.

Key words: multi-fixed points; mesh models; local deformation; impact factor; contact degree

0 引言

自由型变形方法(Free Form Deformation, FFD)能对任何形式、任意幂次的曲面进行变形, 可整体也可局部使用。然而, 面对多种多样的物体形状, FFD 算法所用的控制框架只能是长方体, 极大地限制了 FFD 的应用。针对 FFD 的问题, 出现了许多改进的自由变形算法, 主要有扩展 FFD(Extended Free-Form Deformation)算法^[1]、NURBS FFD(NURBS Free-Form Deformation)算法^[2-3]、Dirichlet 自由变形(Dirichlet Free-Form Deformation, DFFD)算法^[4]等。虽然变形算法越来越多, 应用越来越广, 但大都是关于曲面的自由变形算法^[5-6], 都是通过移动控制点使控制框架产生变化, 进而变形模型。这是一种间接的变形方法, 很难准确编辑模型的形状, 因此对于需要快速、准确的进行变形的情况并不完全适用。

为克服传统曲面变形方法的不足, 本文以网格模型为研究对象^[7], 提出了一种能够直接编辑模型的变形算法——基于多不动点约束的网格模型局部编辑算法。该算法可以不需要控制晶格, 而是通过多个不动点的合理设置, 限定多种复杂的约束条件, 进而实现精确的局部变形。这是一种直接变形方法, 可以直接操纵复杂的物体模型。

车身造型设计中, 需对大量的汽车模型部件进行编辑, 其异体部件的缝合变形变得尤为重要。利用基于多不动点约束的网格模型局部编辑算法, 可将汽车两个异体部件进行缝合变形, 灵活性和精确性较好。

收稿日期: 2008-12-08; 修回日期: 2009-03-16。 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60673024)。

作者简介: 李环(1977-), 女, 河南济源人, 讲师, 博士研究生, 主要研究方向: 智能设计理论、多媒体水印; 周帅锋(1984-), 男, 河南洛阳人, 硕士, 主要研究方向: 智能设计理论。

1 相关定义

定义 1 不动点。

用 O_1, O_2, \dots, O_m 表示多个不动点。以不动点 O 为基准原点, 建立参考系。

定义 2 操作点。

用户直接操作的网格点称为操作点, 用 P 表示。

定义 3 当前点。

当前要计算位置变化的网格顶点, 用 P_1, P_2, \dots, P_n 表示。

定义 4 基准向量。

\vec{d} 表示不动点到操作点的基准向量, 长度为 d 。对于操作点 P , 基准向量为 m 个, 分别与 m 个不动点相对应, 用 $\vec{d}_1, \vec{d}_2, \dots, \vec{d}_m$ 表示。

定义 5 控制向量。

$\Delta\vec{d}$ 表示操作点移动的向量, 长度为 Δd 。

定义 6 当前向量。

对于当前点 P_k , 当前向量为 m 个, 分别与 m 个不动点对应, 用 $\vec{d}_{1k}, \vec{d}_{2k}, \dots, \vec{d}_{mk}$ 表示。

定义 7 当前移动向量。

当前点经过变形操作以后需要移动的向量, 用 $\vec{\Delta d}_1, \vec{\Delta d}_2, \dots, \vec{\Delta d}_n$ 表示, 它们的长度为 $\Delta d_1, \Delta d_2, \dots, \Delta d_n$ 。

定义 8 影响因子。

操作点对当前点影响的大小程度, 用 $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n$ 表示。

定义 9 亲密度。

表示当前点和不动点的亲密程度,亲密度值越大,表示该不动点对当前点的影响程度越大。亲密度用 $\rho_{11}, \dots, \rho_{ik}, \dots, \rho_{mn}$ 表示。其中 $1 < i < m, 1 < k < n, \rho_{ik}$ 表示当前点 P_k 和不动点 O_i 的亲密度。亲密度 $\rho_{ik} \in [0, 1]$ 。

定义 10 独立当前移动向量。

表示不考虑其他不动点,当前点单受一个不动点影响时的移动向量。独立当前移动向量用 $\overrightarrow{\Delta d_{11}}, \overrightarrow{\Delta d_{12}}, \dots, \overrightarrow{\Delta d_{ik}}, \dots, \overrightarrow{\Delta d_{mn}}$ 表示,它们的长度用 $\Delta d_{11}, \Delta d_{12}, \dots, \Delta d_{ik}, \dots, \Delta d_{mn}$ 表示。

定义 11 可变形区域。

在变形操作中,网格顶点发生位移的区域。

定义 12 不变区域。

在变形操作中,网格顶点位置不变的区域。

2 网格模型局部编辑算法

2.1 确定不动点及其变化后的位置

用户首先确定不动点和操作点,然后通过操作得到控制向量,再计算出当前移动向量,从而确定当前点在形变以后的位置。具体算法如下。

输入 不动点 O_1, O_2, \dots, O_m ; 操作点 P_1, P_2, \dots, P_n

输出 操作点 P_1, P_2, \dots, P_n 的新位置 P'_1, P'_2, \dots, P'_n

算法步骤如下。

1) 逐个扫描网格的所有顶点 $P_k (k \in [1, n])$, 得到当前向量: $\overrightarrow{d_{1k}} = \overrightarrow{o_1 p_k}, \dots, \overrightarrow{d_{mk}} = \overrightarrow{o_m p_k}$ 。

2) 计算亲密度。计算方法为:

a) 如果当前点 P_k 和不动点 O_i 的距离 $d_{ik} < \varepsilon$ (ε 是一个极小值), 可以认为 $d_{ik} = 0$, 此时, $\rho_{ik} = 1$, 而 $\rho_{jk} = 0$, 其中 $0 < i, j < m, j \neq i$ 。

b) 如果当前向量 $\overrightarrow{d_{ik}}$ 在基准向量 $\overrightarrow{d_k}$ 上的投影方向和 $\overrightarrow{d_k}$ 方向相反, 则独立当前移动向量 $\overrightarrow{\Delta d_{ik}}$ 为 0, 此时认为 $\rho_{ik} = 0$, 而 $\rho_{jk} = 1$, 其中 $0 < i, j < m, j \neq i$ 。

c) 如果不存在 a) 和 b) 中的情况, ρ_{ik} 则按式(1)计算:

$$\rho_{ik} = \frac{1/d_{ik}}{\sum_{j=1}^m (1/d_{jk})} \quad (1)$$

3) 计算当前移动向量 $\overrightarrow{\Delta d_k}$ 。

在多不动点的网格变形中,当前移动向量等于独立当前移动向量的加权平均值,权值为当前点和各个不动点的亲密度。即:

$$\overrightarrow{\Delta d_k} = \sum_{i=1}^m (\rho_{ik} \cdot \overrightarrow{\Delta d_{ik}}) \quad (2)$$

4) 将当前点 P_k 移动到新的位置 P'_k :

$$P'_k = P_k + \overrightarrow{\Delta d_k} \quad (3)$$

5) 扫描网格,看是否所有顶点都已被处理,是则转 6),否则转 1); 循环控制,保证所有的网格顶点都被处理,跟随控制点移动到准确的位置。

6) 监测用户是否有新操作,有则转 1), 无则转 7); 循环控制,保证能够响应所有的请求。

7) 结束,存储结果。

算法结束,将新的顶点位置存储在顶点数组中。

2.2 局部编辑

如图 1 所示, O 为不动点, P 为操作点, P_i 为当前点, 从图

中可以看出,当前向量 $\overrightarrow{OP_i}$ 在基准向量 \overrightarrow{OP} 上的投影为 \overrightarrow{OD} , 它的方向和基准向量方向相反,因此当前点 P_i 在变形过程中位置不变。从这个简单的例子可以看出: 图 1 中, 以当前向量 \overrightarrow{OP} 为 x 轴建立坐标系, 则如果当前点落在第 II、III 象限中的话, 当前点在变形过程中位置不变, 如果当前点落在 I、IV 象限的话, 在变形过程中位置改变。因此, 第 I、IV 象限就构成了可变形区域, 第 II、III 象限构成了不变区域。

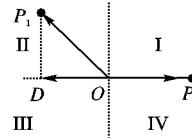


图 1 局部变形原理示意图

图 1 给出了单不动点变形的情况, 多不动点的变形是单不动点变形的扩展, 因此也具有这个特点。从 2.1 节的算法描述看出, 只要当前点受一个不动点的影响, 落在了以该不动点为原点建立的坐标系的第 II、III 象限中的话, 该点在变形中位置均不发生改变。再利用这一点, 可以巧妙的设置多不动点的位置并选取合适的操作点来实现局部变形。

图 2 给出一个恐龙的网格模型, 如果选取 O_1, O_2, O_3 为不动点, 以 P 为操作点, 则图中虚线 ABCD 左边的恐龙头部区域在操作点 P 的影响下, 是各个不动点的可变形区域的交集, 是可变形区域, 在这个区域内, 网格的顶点随 P 的移动发生位移; 而在 ABCD 右侧, 网格的顶点均不移动, 为不变区域。这样, 拖动操作点 P 到合适的位置, 就实现了对恐龙头部的局部变形操作。

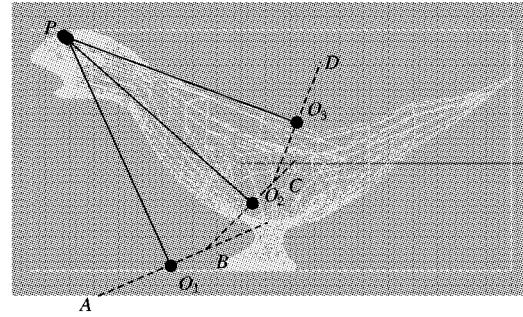


图 2 恐龙网格模型局部变形原理示意图

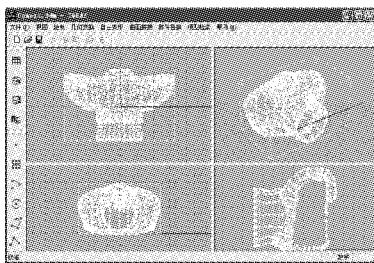
3 实验

以左上和右上两点为不动点的相机模型变形实验如图 3 所示。恐龙模型头部局部变形实验如图 4 所示。

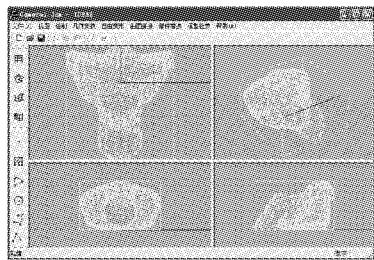
实验结果表明, 算法很好的实现了网格的均匀变形, 既保持了原有的特性, 又精确地实现了模型局部编辑。与传统的 FFD 算法比较, 本算法主要有以下优点: 计算量小, FFD 需要三重循环来实现三维模型变形, 时间复杂度为 $O(n^3)$, 而本算法两重循环即可实现, 时间复杂度为 $O(nm)$; 通常情况下, 网格顶点数 n 要远远大于不动点数 m , 因此时间复杂度要远小于 FFD 方法; 本算法只需要设置几个不动点就可方便实现局部变形, 操作容易。

4 实例应用

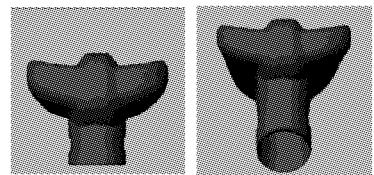
基于多不动点约束的网格模型局部编辑算法已经成功地运用到所设计的车身造型设计系统中, 实现对汽车模型部件



(a) 相机模型变形前显示网格顶点

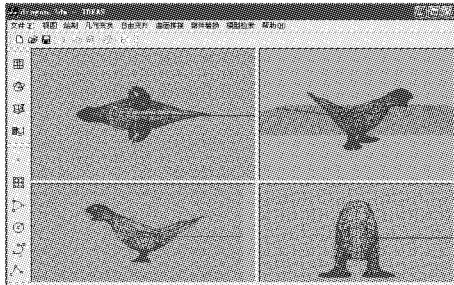


(b) 相机模型变形后显示网格顶点

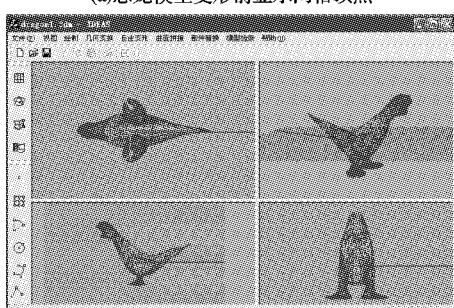


(c) 相机模型变形前后渲染效果

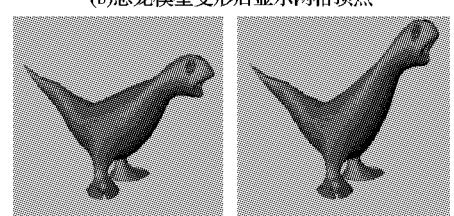
图3 相机模型变形



(a) 恐龙模型变形前显示网格顶点



(b) 恐龙模型变形后显示网格顶点



(c) 恐龙模型变形前后渲染效果

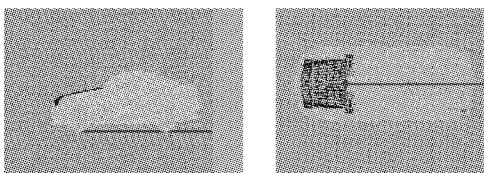
图4 恐龙模型头部局部变形

的编辑。车身造型设计系统采用基于部件替换的设计思想，并利用多不动点约束变形算法达到部件替换以后与周围部件较好结合的效果。FFD方法虽然也可以实现部件替换以后的变形操作，但是FFD方法需要复杂的控制晶格，并且很难实

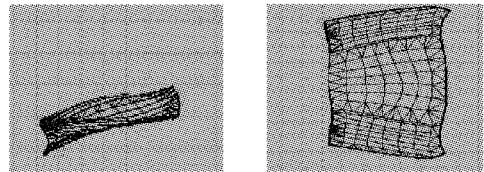
现精确的变形操作，时间复杂度大，因此与FFD方法相比，本文算法更适用于替换以后异体部件的缝合变形效果处理。

5 结语

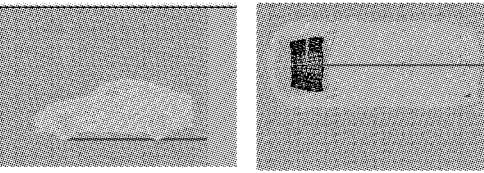
与传统的自由变形方法不同，本文提出一种基于多不动点约束的网格模型局部编辑算法，不使用控制晶格，仅通过多个不动点的合理设置，形成多种复杂的约束条件，进而实现精确的网格模型的局部编辑。本算法计算量小，易于实现。实验效果证明，通过该算法可以实现网格模型的均匀变形，既可以达到变形效果，又可以保持模型原有的特性。算法在车身造型设计系统中得到应用，具有很强的实用性。



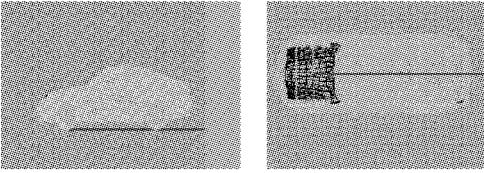
(a) 汽车模型的主视图和俯视图



(b) 用于替换的汽车前盖的网格模型



(c) 前盖部件替换以后，并缩放至合适的比例



(d) 完成替换后异体部件间的缝合变形效果图

图5 汽车模型部件的局部编辑

参考文献:

- [1] SEDERBERG T W, PARRY S R. Free-form deformation of solid geometric models computer graphics [J]. ACM SIGGRAPH Computer Graphics, 1986, 20(4): 151–160.
- [2] LAMOUSIN H J, WAGGESPACK W N. NURBS-based free-form deformation [J]. IEEE Computer Graphics and Its Applications, 1994, 14(6): 59–65.
- [3] 唐小凤, 王维, 李焱, 等. 一种简化的三阶NFFD变形算法[J]. 计算机仿真, 2008, 25(1): 177–183.
- [4] MOCCOZET L, THALMANN N M. Dirichlet free-form deformations and their application to hand simulation [C]// Proceedings of the Computer Animation. Washington, DC: IEEE Computer Society, 1997: 93–102.
- [5] 刘国荣, 林金花, 刘晓东, 等. 一种基于三维曲面变形的自由变形算法[J]. 微电子学与计算机, 2008(7): 160–165.
- [6] 潘青, 徐国良. 曲面变形的水平集方法[J]. 计算机学报, 2009, 32(2): 213–220.
- [7] 赵向军. 网格曲面造型技术研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2006.