

基于 Loop 细分格式的虚拟作物果实建模

刘晓东 姚兰 赵飞蓉 杨保明
(西安交通大学 电子与信息工程学院, 西安 710049)

摘要 为真实模拟作物果实以增强虚拟作物环境的真实感,提出一种基于 Loop 细分格式的虚拟作物果实建模方法。根据果实形态结构特征建立相应的控制网格,定义适当的细分规则生成果实模型,并扩充已有的细分规则实现对果实非光滑特征的模拟。对小麦和玉米果实形态建模的实例表明,本方法用于作物果实建模效果逼真,满足虚拟作物环境的需要。

关键词 虚拟作物; 细分; Loop; 非光滑特征

中图分类号 TP 391

文章编号 1007-4333(2007)02-0072-04

文献标识码 A

Modeling of virtual crop fruit based on loop subdivision scheme

Liu Xiaodong, Yao Lan, Zhao Feirong, Yang Baoming

(School of Electronic and Information Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract In order to simulate the crop fruit and make the virtual crop environment more realistic, an approach for modeling the virtual crop fruit based on loop subdivision scheme is proposed. It creates models of fruit by constructing control mesh according to the features of the configuration of the fruit and defining proper subdivision rules. New rules are added to the existing ones to solve the problem of simulating non-smooth features of the fruit. The modeling of wheat fruit and corn fruit is realized by Java3D API. The experimental results show that this method used for modeling crop fruit gives a verisimilitude solution, which can meet the needs of a virtual crop environment.

Key words virtual crop; subdivision; Loop; non-smooth feature

对虚拟作物果实进行形态建模是虚拟作物研究的重要组成部分。传统的多边形技术可以表示任意拓扑,但用其进行作物果实建模比较复杂,运算量大。20世纪70年代提出的非均匀有理B样条(NURBS)方法^[1],把有理和非有理Bezier曲线、B样条曲线曲面、圆锥曲线和初等解析曲面用统一方式表示,使NURBS成为一种现代建模的流行技术。采用单张NURBS曲面描述作物果实比较困难,若采用多张,则处理曲面片间的拼接有一定难度,不仅运算量大,还容易产生裂缝。针对NURBS曲面的不足,又出现了隐式曲面技术,这种方法适于构造任意拓扑复杂形体;但要模拟作物果实的生长,模型必须易于控制,而用这种方法构造一张复杂形状曲面需要大量基本体素,且用户对曲面难以有效控制^[2]。

近年来,细分曲面技术快速发展并得到广泛应用,该方法通过低分辨率的控制网格和定义控制网格的细分规则来表示光滑曲面,规则简单,拓扑适应能力强。作物果实形态相对于其他作物器官比较复杂,采用细分曲面技术对其建模不仅可自动满足切平面连续,不需要处理像NURBS一样的拼接,而且由于初始网格简单,所以控制方便。自细分算法提出以来,已经出现了多种细分格式,例如Catmull-Clark格式、Loop格式、蝶形格式、Doo-Sabin格式等^[3-4],各有其特色和适用范围。Loop细分曲面显示速度快、质量高,而且规则简单,连续性好;但Loop细分规则存在着使曲面过于光滑的问题^[5]。针对这一问题,出现了一系列解决途径^[6-8],适用于不同的场合。作物果实存在尖锐点、折痕等非光滑

收稿日期: 2006-07-04

基金项目: 国家高技术研究发展计划资助项目(2003AA209021)

作者简介: 刘晓东,副教授,主要从事人工智能与虚拟现实技术的研究, E-mail: liuxd@nwpu.edu.cn

特征, 并有其自身特点, 采用细分曲面建模时应根据其特点构造相应的细分规则。本研究旨在通过对 Loop 细分规则的扩充, 更好地模拟作物果实的非光滑特征。

1 Loop 细分格式及规则扩充

Loop 细分格式是一种基于三角网格的细分曲面算法^[4], 该算法在每一次细分过程中将三角形面片一分为四, 在三角网格的每条边上分裂出一个新顶点, 称为 e 顶点, 原网格的顶点在变换之后称为 v

顶点, 重新连接 e 顶点和 v 顶点便得到细分 1 次后的 4 个新三角形面片。为了进行更加逼真和细致的建模, Hoppe 等对 Loop 格式进行了分段细化^[5]。本文中针对作物果实特征, 利用分段思想, 在 Loop 细分规则的基础上扩充了 3 条规则, 对尖锐顶点和折痕顶点采用与内部顶点不同的规则进行细分。对 Loop 细分规则的描述如下^[4]：

1) 对内部边 V_0, V_1 设共享此边的 2 个三角形面片为 V_0, V_1, V_2 和 V_0, V_1, V_3 , 则其对应的 e 顶点定义为 $V_e = \frac{3}{8}(V_0 + V_1) + \frac{1}{8}(V_2 + V_3)$ (图 1(a))。

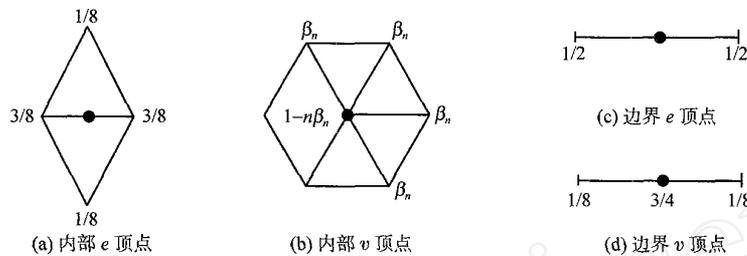


图 1 Loop 细分规则

Fig. 1 Loop subdivision scheme

2) 对内部顶点 V , 设其相邻顶点为 V_0, V_1, \dots, V_{n-1} , 则相应的顶点定义为 $V_v = (1 - \frac{n}{n})V + \sum_{i=0}^{n-1} \frac{1}{n} V_i$ (图 1(b)), 其中 $n = \frac{1}{n} \left(\frac{5}{8} - \left(\frac{3}{8} + \frac{1}{4} \cos \frac{2\pi}{n} \right) \right)$ 。

3) 对边界边 V_0 和 V_1 上的 e 顶点定义 $V_e = \frac{1}{2}(V_0 + V_1)$ (图 1(c)), 边界顶点 V 上的 v 顶点定义为 $V_v = \frac{1}{8}(V_0 + V_1) + \frac{3}{4}V$ (图 1(d)), 其中 V_0 和 V_1 为其相邻顶点。

对扩充的规则描述如下：

1) 对尖锐顶点 V , 为了在细分之后仍突出其尖锐特征, 适当增加了该顶点的权值, 减小了其相邻顶点的权值(图 2(a)), 则相应的 v 顶点定义为

$$V_v = \frac{2^{n-1} - n}{2^{n-1}} V + \frac{1}{2^{n-1}} (V_0 + V_1 + \dots + V_{n-1})$$

2) 对折痕边 (V_0, V_1), 类似的, 为了在细分之后仍然有折痕特征, 非折痕边上的点权值都设为 0。 v 顶点定义为 $V_v = \frac{1}{16}(V_0 + V_1) + \frac{7}{8}V$ (图 2(b)); e 顶点定义为 $V_e = \frac{1}{2}(V_0 + V_1)$ (图 2(c))。

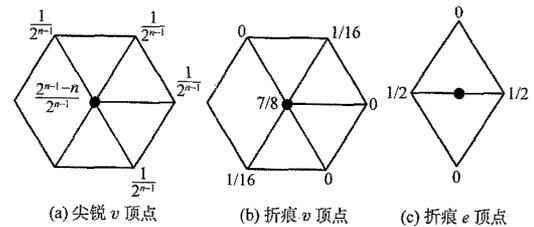


图 2 Loop 细分规则的扩充

Fig. 2 New rules added to loop subdivision scheme

2 作物果实形态模拟

将作物果实分成若干部分, 利用 Loop 细分曲面对作物果实关键部分建模, 采用 Java3D API 进行绘制渲染。下面以小麦穗和玉米果实为例说明基于 Loop 细分格式的建模过程。

2.1 小麦穗形态模拟

通常将小麦穗分为麦穗杆(以区别于麦秆即茎)、麦粒、麦芒 3 部分, 分别建模。

1) 麦穗杆。可看作整个小麦穗的骨架, 麦粒长在上面。将其分为 2 部分: 与麦秆顶端连接的圆柱部分和阶梯状部分(图 3(a))。阶梯状部分由多个小楔状体排列而成, 分前后 2 排。为叙述方便, 沿 y

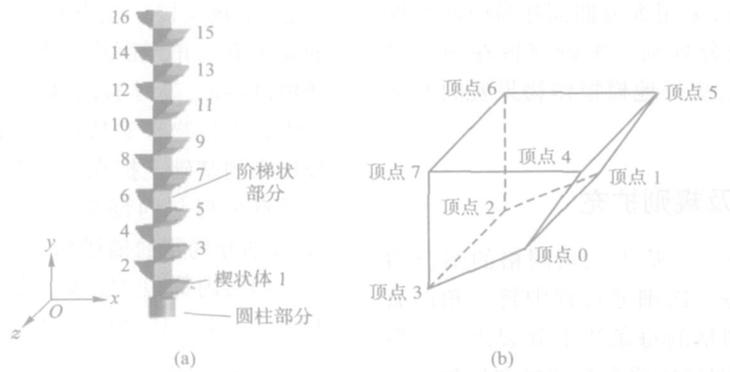


图3 麦穗杆填充图(a)和楔状体模型(b)

Fig. 3 Shank of wheat fruit (a) and sphenoid model (b)

轴从下至上依次记为楔状体 1、楔状体 2……,所有的楔状体形状相同,其单个模型见图 3(b)。

2) 麦粒。对麦粒的建模是整个小麦穗形态建模的关键,这里采用扩充后的 Loop 细分规则生成细分曲面,从而建立麦粒网格模型。

麦粒以段为存储单位,每一段 5 颗麦粒。各段从下至上依次记为段 1、段 2……。段 1 的麦粒长在楔状体 1 的顶点 4、顶点 5、顶点 6 和顶点 7 构成的正方形上(图 3(b))。每段的 5 颗麦粒从左至右依次记为麦粒 4、麦粒 3、麦粒 0、麦粒 1、麦粒 2。在这 5 颗麦粒中,中间的麦粒 0 是最重要的,其他 4 颗都由它得到。麦粒 1 和麦粒 2 通过麦粒 0 旋转一定角度得到,麦粒 3 和麦粒 4 则分别是麦粒 1 和麦粒 2 关于 yOz 平面的镜像。各段麦粒的生成方法完全一样,可看作是段 1 沿 y 轴的平移,所以所有麦粒的建模实际上可以归结为段 1 麦粒 0 的建模。下面详细说明段 1 麦粒 0 的建模过程。

首先建立麦粒 0 的初始控制网格。由于控制网格只需反映麦粒的大致形状特征,所以只用少量的三角面片。麦粒的形状大致是中间凸起,从中间到两端逐渐变细,且上端尖些,下端圆些。体现这些特征的初始控制网格见图 4(a)。麦粒初始控制网格顶端采用扩充的尖锐 v 顶点的细分规则,其他部分采用一般的 Loop 细分规则。经 2 次细分后得到麦粒 0 的网格模型,然后通过麦粒 0 的旋转得到麦粒 1 和麦粒 2,将麦粒 1 和麦粒 2 关于 yOz 平面取其镜像得到麦粒 3 和麦粒 4,从而得到段 1 麦粒,其网格模型见图 4(b)。

3) 麦芒。利用锥体对麦芒建模,可体现麦芒从根部到末梢逐渐变细的效果。设根部半径为 0.7

mm,末梢半径 0.07 mm。给定的半径只是初始值,其值可以改变,以动态模拟麦芒由细变粗的过程。经过渲染之后的小麦穗效果见图 5。

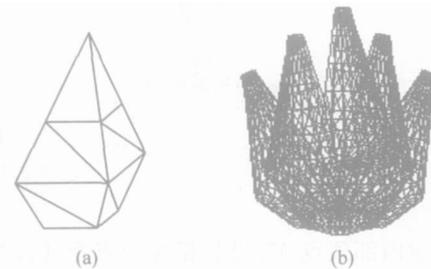


图4 麦粒 0 的初始控制网格(a)和段 1 麦粒的网格模型(b)

Fig. 4 Preliminary control mesh of kernel 0 (a) and meshed model of segment 1 (b)

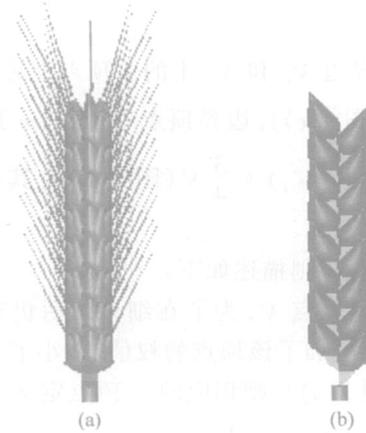


图5 小麦穗正面(a)和侧面(无麦芒)(b)效果图

Fig. 5 Front (a) and the side (b) of wheat ear model

2.2 玉米果实形态模拟

玉米果实的建模包括玉米棒和玉米粒 2 部分。

1) 玉米棒。设玉米棒为由很多网格构成的多面体,玉米粒就种植于这些网格上,网格的疏密决定了

玉米粒的大小和多少。根据玉米棒的大致形状,将其分为上部、中部、下部,建立初始控制网格(图 6(a))。对其具有尖锐特征的底端采用扩充后的尖锐 v 顶点细分规则;上部、中部、下部之间连接处折痕上的点采用折痕 v 顶点和折痕 e 顶点的细分规则,以保留折痕特征;其他部分采用一般的 Loop 细分规则。需要补充的是,初始网格顶部的小方块是为了模拟玉米棒顶端的凸起,由于比较小,所以不用严格的细分,与玉米棒主体的细分分开进行。经过 2 次细分之后,形成玉米棒网格模型(图 6(b))。

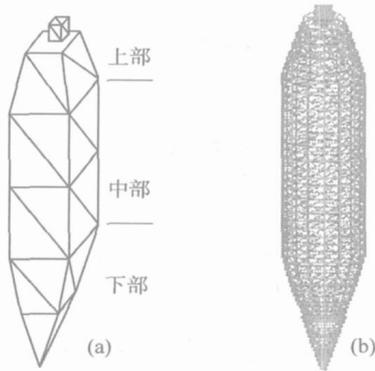


图 6 玉米棒初始控制网格(a)和 2 次细分后的网格模型(b)

Fig. 6 Preliminary control mesh of corn fruit (a) and meshed model after being subdivided twice (b)

2) 玉米粒。玉米粒的建模借助于球体和圆柱。首先创建一个球体,然后用一个平面将球体截为一个球冠;再创建一个与球冠相连接的圆柱,用 2 个平面从两侧将球冠和圆柱截下,从而形成一个玉米粒的形状。所有的玉米粒都可以用这一模型,但是其横截面长宽比例各自不同。

3) 将玉米粒依附到玉米棒上。每一部分玉米粒的长宽比例不尽相同,定义如下:

float UPSEEDSCALE = 1.5f; 上部
float MIDSEEDSCALE = 1.5f; 中部
float LOWSEEDSCALE = 1.2f; 下部

记录每一颗玉米粒底面的坐标和垂直于底面的向量,通过每一个网格的角点计算网格中点和垂直于其表面的向量,然后通过坐标系的旋转和平移将玉米粒种植到网格上。渲染之后的玉米果实效果图 7。

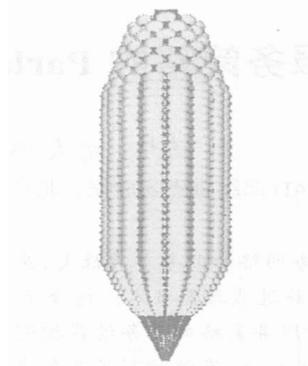


图 7 玉米果实效果图
Fig. 7 Picture of corn fruit model

3 结 论

本文中提出基于 Loop 细分格式的建模方法,根据果实特征建立初始网格并定义适当细分规则,生成果实三维模型,通过对 Loop 细分规则的扩充解决对非光滑特征的模拟问题。实例证明本方法对形态结构较为复杂的虚拟作物果实进行模拟效果良好。本方法还可应用于其他作物果实的建模,对于一般方法难以模拟的具有多颗粒特征的果实有较好效果。

参 考 文 献

- [1] 施法中. 计算机辅助设计与非均匀有理 B 样条[M]. 北京:高等教育出版社,2001:435-449
- [2] 王占东. 细分曲面关键技术研究[D]. 南京:南京航空航天大学,2003
- [3] 王金生,韩臻,施寅,等. 几种经典网格细分算法的比较[J]. 计算机应用研究,2004(6):139-141
- [4] Loop C T. Smooth subdivision surfaces based on triangles [D]. Salt Lake City, Utah: University of Utah, 1987
- [5] Hoppe H, deRose T, Duchamp T, et al. Piecewise smooth surface reconstruction [C] ACM SIGGRAPH. Computer Graphics Proceedings: Annual Conference Series. Orlando: Lynn Finch, 1994:295-302
- [6] Ma W, Ma X, Tso S K, et al. A direct approach for subdivision surface fitting from a dense triangle mesh [J]. Computer Aided Design, 2004, 36(6):525-536
- [7] 王建军,姜昱明. 基于 Loop 细分曲面的虚拟人跑动仿真[J]. 系统仿真学报,2005,17(7):1683-1685
- [8] 李桂清,马维银,鲍虎军. 带尖锐特征的 Loop 细分曲面拟和系统[J]. 计算机辅助设计与图形学学报,2005,6(17):1179-1185