

一种面向移动计算终端的几何压缩方法

林谋广

(中山大学计算机应用研究所, 广州 510275)

摘要 鉴于移动计算终端具有显示屏小、对模型精度要求较低和处理能力相对较弱、处理高细节度的模型十分吃力,以及受带宽所限,需要对模型进行渐进传输等特点。而已有的几何压缩和简化方法又对移动计算终端的这些特点针对性不够,为此,围绕在移动计算终端上进行 3 维图形的显示,根据移动计算终端的特点,提出了一个实现过程简单、简化效率较高的几何压缩方法,同时提出了一个基于顶点相邻三角形单位法向量变化的边折叠几何压缩算法,并通过计算顶点相邻三角形单位法向量差值来识别出模型的特征点,提出了一个特征保留的策略。实践表明,完整的基于单位法向量变化和特征保留的边折叠几何压缩算法可以在保持模型外观的同时,有效地降低模型的规模。最后给出了该压缩方法在移动计算终端上的应用情况。通过用该压缩算法对模型进行预处理,实现了在移动计算终端上进行 3 维图形显示的这一目的。随着移动计算技术的发展,移动 3 维图形的应用将会越来越多,因此该压缩方法在移动 3 维图形计算方面具有较好的应用前景。

关键词 移动计算终端 几何压缩 移动 3 维图形 渐进传输

中图法分类号: TP391.41 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2007)07-1301-06

A Geometry Compression Method for Mobile Computing Terminal

LIN Mou-guang

(Computer Application Institute, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275)

Abstract The characteristics of the mobile computing terminal are the following: the display is small and it need not much information in detail, the performance is low and it is difficult to process the models with high details, the bandwidth of wireless network is narrow and it needs a progressive transmission. Because other geometry compression or simplification methods did not aim at these characteristics, this paper focuses on displaying 3D graphics on mobile computing terminals and is designed for terminals with these characteristics, proposed a simple and effective compression method. This paper puts forward an edge collapse arithmetic based on the change of triangle normal, which surrounds the vertex. We also proposed a characteristic preservation method based on computing the difference of triangle normal. The whole method reduces the size of 3D model while retaining the appearance. After applying this arithmetic to 3D models, the goal of displaying 3D graphics on mobile computing terminals is accomplished. With the development of mobile technology, the application of mobile 3D graphics will be increased, and this method will have a wider prospect in mobile 3D graphics field.

Keywords mobile computing terminal, geometry compression, mobile 3D graphics, progressive transmission

1 引言

在计算机图形学日渐广泛的应用之中,大量地

使用着 3 维几何数据。随着计算机图形学及其相关理论和技术的快速发展,3 维几何数据的规模和复杂程度在不断地急剧增长着。近年来,移动通讯技术快速发展,但 PDA(personal digital assistant)、移动

基金项目:国家杰出青年科学基金项目(60525213);国家自然科学基金重点项目(60533030)

收稿日期:2005-11-17;改回日期:2006-06-13

第一作者简介:林谋广(1981~),男。现为中山大学信息科学与技术学院博士研究生。主要研究方向为计算机辅助几何图形设计、几何图形简化压缩、移动图形计算,发表 EI 检索文章 1 篇。E-mail: garnettlam@21cn.com

电话等移动计算终端的处理能力和存储容量都相对较低,因此随之而来的一系列移动计算方面的问题,逐渐引起了众多科学家的注意,而移动终端上的 3 维图形计算便是其中一个具有挑战性的课题。

要解决由于 3 维几何数据量和复杂度的急剧增长以及移动计算终端相对较低的 3 维图形处理能力所带来的问题,仅仅依靠提高处理器的处理速度和能力、增加存储器容量和网络带宽等硬件方面的措施是不够的。因此,3 维几何数据压缩成为计算机图形学和网络技术中令人感兴趣的重要课题。目前几何压缩已经有了一系列的经典压缩算法^[1-8]和针对网络渐进传输的多分辨率方法^[9-16]。但由于已有的几何压缩和简化方法对移动计算终端的针对性不够,因此研究新的针对移动计算终端特点的 3 维几何数据压缩方法有着十分重要的意义。

本文围绕移动计算终端上进行 3 维图形的显示,根据移动计算终端的特点,针对由三角形网格表示的几何模型,对模型的压缩策略和模型的特征点进行研究,提出了一个基于单位法向量变化和特征保留的边折叠几何压缩算法,该算法可以在保持模型外观的基础上对几何模型进行压缩、简化,并且压缩后的模型可以适应在移动计算终端上进行显示。

2 基于向量变化的边折叠几何压缩

在移动计算终端上进行 3 维图形显示,由于其显示屏幕较小,因此对模型精度的要求相对较低;另外,其处理能力相对较弱,要处理高细节度的模型十分吃力。针对移动计算终端的这些特点,可选择一个虽然简化效果一般,但简化过程简单、简化效率较高的几何压缩方法。因此本文以边折叠(edge collapse)^[9]几何压缩算法作为基础来对折叠的策略进行研究。

针对移动计算终端对精度要求不高的特点,同时为了以后可以方便实现渐进传输,并可在移动计算终端上重构模型,这里采用子集定点策略。在子集定点策略中,如何对折叠点进行选择,以尽量使模型外观的变化最小是十分关键的。面片的单位法向量定义了面片的朝向,因此模型面片的单位法向量对模型的形状结构、光照等外观属性起着至关重要的作用,同一三角形单位法向量变化越大,对模型外观的影响则越大。根据以上的分析,这里提出一种基于相邻三角形单位法向量变化大小的折叠策略,

目标是在折叠时尽量使单位法向量变化较小,以达到尽量不改变原模型外观的目的。

2.1 基于相邻三角形法向量变化的折叠策略

这里把与顶点相邻的三角形的单位法向量变化量作为该点的权值,再依据两点的权值进行取舍,权值较小的点向权值较大的点折叠。此权值不但跟每个相邻三角形单位法向量的变化有关,同时也跟与该点相邻的三角形的数量有关。顶点的权值表示如下:

$$W_{\text{vertex}} = \sum (N_{\text{new}} - N_{\text{old}}) \quad (1)$$

式中, W_{vertex} 表示顶点的权值, N_{new} 和 N_{old} 分别是指同一个相邻三角形在折叠后和折叠前的单位法向量。而 $N_{\text{new}} - N_{\text{old}}$ 则表示相邻三角形单位法向量的变化量。

注意,式(1)中,求和的范围是该顶点的所有相邻三角形,而将相邻三角形中被删除的两个,其单位法向量的变化量作为 0 来计算。

2.2 对单位法向量的变化量进行量化

由于单位法向量的模为 1,因此这里所讨论的单位法向量的变化就是指其向量方向的变化。如图 1 所示, V 表示变化前的单位法向量, U 表示变化后的单位法向量,则直观上夹角 θ 的大小就可以用于表示单位法向量的变化量。

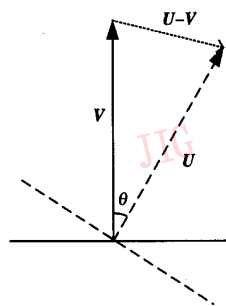


图 1 三角形法向量的变化

Fig. 1 The change of triangle normal

为了避免引入在程序实现时显得较为繁琐的三角函数,需要寻找其他元素用于表示单位法向量的变化量。这里选择 $\|U - V\|^2$ 作为单位法向量的变化量。用程序实现时, $\|U - V\|^2$ 可用下式计算:

$$\|U - V\|^2 = (U_x - V_x)^2 + (U_y - V_y)^2 + (U_z - V_z)^2 \quad (2)$$

2.3 基于向量变化的边折叠几何压缩算法

综合前面的内容,这里给出在已知两点(设为 A 和 B)的情况下,基于相邻三角形单位法向量变化大

小的边折叠几何压缩算法(算法1)如下:

```

for (点 A 的所有相邻三角形)
{ 计算该三角形新的和旧的单位法向量 U 和 V;
 $W_A + = (U_x - V_x)^2 + (U_y - V_y)^2 + (U_z - V_z)^2$ ;
}
for (点 B 的所有相邻三角形)
{ 计算该三角形新的和旧的单位法向量 U 和 V;
 $W_B + = (U_x - V_x)^2 + (U_y - V_y)^2 + (U_z - V_z)^2$ ;
}
if (  $W_A < W_B$  )
    点 A 向点 B 折叠;
else
    点 B 向点 A 折叠;
模型的顶点总数减 1;

```

3 几何模型特征点的识别方法

在一个几何模型中,总会有一些顶点对模型的形状和外观起着关键的作用。当这些顶点发生改变的时候,就会对模型的形状外观产生重大的影响,使之对比原模型发生较大的变化。因此,为了尽量保持原模型的形状和外观,就应该尽量避免模型的这些特征被弱化,甚至消除,也就是说需要避免这些描述特征的顶点被删除或改变。显然,这种描述了模型的关键特征的顶点就可以被称为几何模型的特征点。

3.1 基于相邻三角形法向量差值的特征点识别法

要使模型的特征点能得以保留,前提是先把特征点识别出来。特征点的一个重要特点是:从视觉的角度分析,模型的特征部分,即特征点以及其相邻三角形所形成的一小块区域,具有较大的起伏变化;与之对应,非特征点以及其相邻三角形所形成的一小块区域则显得较为平坦。根据以上分析,这里提出一个基于相邻三角形单位法向量差值的特征点识别法。

这里提出:把顶点的所有相邻三角形的单位法向量两两进行比较,将其差值的总和作为衡量顶点起伏程度的准则。顶点的起伏程度表示如下:

$$D_{\text{vertex}} = \sum W_N \quad (3)$$

式中, D_{vertex} 表示顶点的起伏程度, W_N 表示该顶点其中一个相邻三角形的单位法向量 N 的权值,式(3)求和的范围是该顶点的所有相邻三角形。其中单位法向量的权值表示了该单位法向量与被计算起伏程度的顶点上其余各相邻三角形的单位法向量的差异程度。注意,计算所涉及的只是在一个顶点及其所有相邻三角形的这一小范围内。显然,对于不同的

顶点,该权值也不同。单位法向量权值表示如下:

$$W_N = \sum (N - N_{\text{else}}) \quad (4)$$

式中, W_N 是单位法向量权值, N 表示该顶点其中一个相邻三角形的单位法向量, N_{else} 则是被计算起伏程度的顶点的其余任意一个相邻三角形的单位法向量,而 $N - N_{\text{else}}$ 就是这两单位法向量之差值。式(4)求和的范围是该顶点的所有相邻三角形。

接下来的问题就是对单位法向量之间的差值进行量化。这里按照前面的论述,采用两向量差的长度的平方即 $\|U - V\|^2$ 进行量化。

根据式(2)、(3)、(4)可得,求取顶点起伏程度的算法(算法2)如下:

```

for (模型的所有顶点)
{ if (顶点 x 有相邻三角形)
{ for (点 x 的所有相邻三角形)
{ U 为  $\Delta u$  的单位法向量;
for (点 x 的所有相邻三角形)
{ V 为  $\Delta v$  的单位法向量;
累加差值之和 +  $\|U - V\|^2$ ;
} 顶点起伏程度 = 累加差值之和;
}
}
}

```

3.2 参考值的选取和特征点的识别

当一个模型所有顶点的起伏程度计算完毕后,就可以按照某一参考值对顶点进行区分。显然,该参考值必须与被压缩的模型相关。这里采用模型所有顶点起伏程度的平均值作为该参考值,即一个顶点为特征点,当且仅当

$$D_{\text{vertex}} > \bar{D}_{\text{vertex}} \quad (5)$$

式中, D_{vertex} 表示顶点的起伏程度, \bar{D}_{vertex} 表示模型所有顶点起伏程度的平均值。

3.3 折叠顶点对选取算法

算法1的前提是已经知道两个待折叠的点。为此应该在执行算法1前,先选择每次需要进行折叠操作的顶点对。具体做法是在对顶点进行选择时,加入是否特征点的判断条件即可,对于所有的特征点,都不作为压缩的对象。折叠顶点对的选取算法(算法3)如图2所示。

4 压缩算法的实现与应用

综上所述,就可以得出完整的基于单位法向量变化和特征保留的边折叠几何压缩算法。该算法

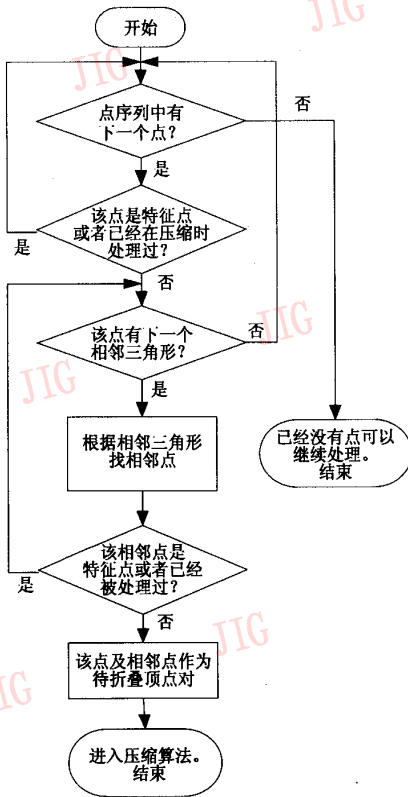


图 2 折叠顶点对选取算法

Fig. 2 A couple of vertices selection arithmetic

(算法 4) 伪代码如下:

压缩算法 ()

{ 计算顶点的起伏程度, 即算法 2;

for(从 0 号顶点开始, 递增处理)

{ 根据顶点的起伏程度和处理状态选择顶点对, 即算法 3;

if(有合适的顶点对可以进行处理)

{ 进行基于单位法向量变化的边折叠, 即算法 1; }

为了验证该算法的效果, 这里用 Carter Lake、War Chief 和 Helicopter 3 个模型进行了实验。另外为简单起见, 本实验的模型只包含顶点的坐标以及面的信息 (即顶点索引), 而且所有面都是三角形。面的单位法向量由定义三角形的 3 个顶点求得。

4.1 压缩模型外观效果

图 3 为 3 个模型的效果对比图, 其中上边一行从左到右依次是 Carter Lake、War Chief 和 Helicopter 的原模型, 下边一行是对应的经过一次压缩后的压缩模型。

4.2 数据分析

表 1、表 2、表 3 分别是这 3 个模型压缩前后的相关数据。其中每秒显示的帧数由软件 Fraps 检测得到。

总体来说, 本算法可以有效地减少模型的顶点数和面数, 有效地压缩文件的大小, 提高模型的显示速度。这对于实时交互和手持设备的应用有着尤其重要的意义。本算法可以有效地提升模型的显示速度, 为这些应用提供基础。

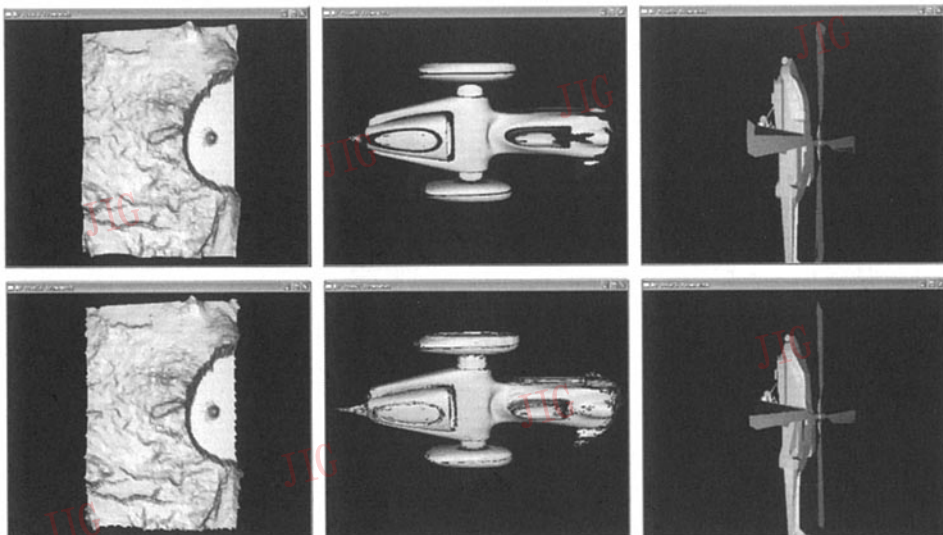


图 3 Carter Lake, War Chief, Helicopter 的压缩结果

Fig. 3 Results of compressed Carter Lake, War Chief, Helicopter

表 1 Carter Lake 相关数据

Tab.1 Carter Lake statistic

	原模型	1 次压缩	2 次压缩	3 次压缩
顶点数	9 890	6 012	3 948	2 688
面数	19 380	11 678	7 582	5 080
光照显示速度 (fps)	68	102	133	155
网格显示速度 (fps)	101	139	158	177
模型文件大小 (KB)	642	386	250	167

表 2 War Chief 相关数据

Tab.2 War Chief statistic

	原模型	1 次压缩	2 次压缩	3 次压缩
顶点数	49 928	27 002	17 992	14 199
面数	97 406	52 077	34 212	26 694
光照显示速度 (fps)	14	26	39	49
网格显示速度 (fps)	22	40	58	72
模型文件大小 (KB)	3 445	1 825	1 186	918

表 3 Helicopter 相关数据

Tab.3 Helicopter statistic

	原模型	1 次压缩	2 次压缩	3 次压缩
顶点数	1 546	1 143	954	870
面数	2 438	1 657	1 287	1 127
光照显示速度 (fps)	245	280	299	309
网格显示速度 (fps)	272	301	314	321
模型文件大小 (KB)	86	60	48	43

4.3 在移动计算终端上的应用

移动计算终端的内存容量和处理能力都相对较低,直接把未经压缩的几何模型用于手持设备上,会出现内存不足而无法读取模型,或显示模型的速度非常慢的情形。利用本文算法则可以有效地降低模型

的规模,为手持设备更容易处理 3 维模型提供基础。

这里用 Palm OS Simulator 这个用 PC 模拟手持设备及其操作系统的软件进行实验。显示模型的程序是基于 Palm OS 操作系统的 Palm 3D-Viewer。

3 个模型在模拟手持设备上的显示结果如图 4 所示,应用结果如表 4 所示。

表 4 各模型在模拟手持设备上的应用结果

Tab.4 Experimental results of models being displayed on Palm OS Simulator

模型名称	原模型应用情况	可显示的模型
Carter Lake	内存不足,无法导入	经 2 次压缩
War Chief	内存不足,无法导入	经 8 次压缩
Helicopter	可以显示	原模型



(a) 经 2 次压缩的 Carter Lake



(b) 经 8 次压缩的 War Chief



(c) Helicopter 原模型

图 4 3 个模型在模拟手持设备上的显示结果

Fig.4 Displaying these 3 models on PalmOS Simulator

5 结 论

本文围绕在移动计算终端上进行 3 维图形显示这一目的,根据移动计算终端存储器容量不大、处理

能力相对较低、对精度要求不高的特点,对三角形网格模型的边折叠压缩策略和模型的特征点进行了研究。

本文提出了一个基于顶点相邻三角形单位法向量变化的边折叠几何压缩算法,该算法可以有效地

在两个顶点中选择使模型外观变化尽量小的顶点进行折叠,从而可保持模型的外观。本文通过计算顶点相邻三角形单位法向量差值得出顶点的起伏程度,进而识别出模型的特征点,提出了一个特征保留的策略。该策略可以正确地识别,并过滤模型的特征点,从而避免了因为特征点的丢失而导致的模型外观的较大失真。完整的基于单位法向量变化和特征保留的边折叠几何压缩算法可以在保持模型外观的同时,有效地减少模型的顶点数和面数,以降低模型的规模。

在移动计算终端的应用中,使用本文的压缩算法来降低模型规模,既可以使超过内存容量的模型得到有效的处理,也可以使模型的显示速度得到提高。通过用压缩算法对模型进行预处理,在移动计算终端上进行 3 维图形显示这一目的基本得到实现。随着移动计算技术的发展,移动 3 维图形显示的应用将会越来越多,因此本文的成果具有较好的应用前景。

参考文献 (References)

- 1 Deering M. Geometry compression [A]. In: Proceedings of SIGGRAPH'95[C], New York: ACM Press, 1995: 13~20.
- 2 Taubin G, Rossignac J. Geometric compression through topological surgery[J]. ACM Transactions on Graphics, 1998, 17(2): 84~115.
- 3 Gumhold S, Straßer W. Real time compression of triangle mesh connectivity[A]. In: Proceedings of SIGGRAPH'98[C], New York: ACM Press, 1998: 133~140.
- 4 Xia J, Varshney A. Dynamic view-dependent simplification for polygonal models[A]. In: Proceedings of IEEE Visualization'96[C], Los Alamitos, CA, USA: IEEE Computer Society Press, 1996: 327~334.
- 5 Chow M. Optimized geometry compression for real-time rendering [A]. In: Proceedings of IEEE Visualization'97[C], Los Alamitos, CA, USA: IEEE Computer Society Press, 1997: 347~354.
- 6 Ho J, Lee K H, Kriegman D. Compressing large polygonal models [A]. In: Proceeding of IEEE Visualization'01[C], Los Alamitos, CA, USA: IEEE Computer Society Press, 2001: 357~362.
- 7 Xu Dong, Zhang Quan-fang, Liu Xin-guo, et al. Geometry compression for general polygon meshes[J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2002, 14(9): 815~819. [许栋, 张泉方, 刘新国等. 一般多边形网格的几何压缩[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2002, 14(9): 815~819.]
- 8 Liu Xiao-ning, Geng Guo-hua, Zhou Ming-quan. Simplify triangles with two local mapping[J]. Journal of Image and Graphics, 2004, 9(5): 594~597. [刘晓宁, 耿国华, 周明全. 采用两次局部映射法简化三角网格[J]. 中国图象图形学报, 2004, 9(5): 594~597.]
- 9 Hoppe H. Progressive meshes[A]. In: Proceedings of SIGGRAPH'96[C], New York: ACM Press, 1996: 99~108.
- 10 Hoppe H. View-dependent refinement of progressive meshes[A]. In: Proceedings of SIGGRAPH'97[C], New York: ACM Press, 1997: 189~198.
- 11 Hoppe H. Efficient implementation of progressive meshes[J]. Computer Graphics, 1998, 22(1): 27~36.
- 12 Hoppe H. Smooth view-dependent level-of-detail control and its application to terrain rendering[A]. In: Proceedings of IEEE Visualization'98[C], Los Alamitos, CA, USA: IEEE Computer Society Press, 1998: 35~42.
- 13 Pajarola R, Rossignac J. Compressed progressive meshes[J]. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 2000, 6(1): 79~93.
- 14 Cheng Chi-yi, Pan Zhi-geng, Shi Jiao-ying. A new representation method for multi-resolution models[J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2001, 13(7): 610~616. [成迟蕙, 潘志庚, 石教英. 一种新的多分辨率模型表示方法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2001, 13(7): 610~616.]
- 15 Qin Xu-jia, Liu Xin-guo, Bao Hu-jun, et al. Progressive geometry compression for meshes[J]. Journal of Software, 2002, 13(9): 1804~1812. [秦绪佳, 刘新国, 鲍虎军等. 网格的渐进几何压缩[J]. 软件学报, 2002, 13(9): 1804~1812.]
- 16 Yu Xing-zhou, Feng Jie, Zha Hong-bin. Progressive transmission of displaced butterfly subdivision surfaces[J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2004, 16(5): 625~631. [于行洲, 冯洁, 查红彬. 位移蝶形细分面片的渐进传输[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2004, 16(5): 625~631.]