

三维非线性特技算法的研究

程 坚 林 鹏

(中国科学院自动化所图象部 北京 100080)

摘 要 特技是电视台节目后期制作中广泛采用的一种技术。通过特技可以提高节目制作质量、丰富节目表现形式。本文对特技中算法难度较大的三维非线性特技进行了研究,并给出了对卷页和转球特技算法。其中卷页算法紧紧围绕着硬件直线发生器进行,可采用硬件使之实时实现。

关键词 三维非线性特技,纹理映射,卷页,球变

1 引 言

随着电视及计算机技术的发展,人们对电视图象质量的要求也越来越高,希望不同场景画面的过渡要自然、流畅。这就有赖于采用特技技术。因此,特技作为一种提高节目制作质量,丰富节目表现形式的图象处理技术,已越来越多地使用在电视台后期制作中。

数字特技就是对采样进来的图象进行存贮,通过改变样值的量化电平和色度电平,或通过改变帧存的读写地址,来改变原来象素在画面上的位置,从而得到不同的特技效果。这类特技可分为二维特技和三维特技两大类。

一幅图象是一个平面,在数学上用 X, Y 二个坐标轴来表达 $f(X, Y)$ 。所谓二维特技,就是将 X, Y 坐标值分别乘上二个比例系数,产生放大缩小效果,如果将 X, Y 再分别加上二个常数又会形成漫游的效果,变换这四个常数即可形成图象的放大、缩小、漫游、反转等二维特技。

这里所谓的三维特技是对图象而言的,是指对一幅平面图象作各种三维动作,如绕 X, Y 和 Z 轴的旋转,使图象变形等。三维特技必须考虑透视效果。

目前,市场上有关实现特技这一主要功能的设备较多,有靠软件实现的,也有靠硬件实现的。靠硬件实现的特技设备又称为数字特技机(DVE)。两者的区别在于,数字特技机对视频信号进行实时处理,主要依靠硬件来实现,而软件特技则是在对图象处理完后再进行播放。

数字特技机发展到今天,功能越来越强,特技花样越来越多,也越来越令人惊奇。英国CEL公司推出的M220特技机能够将平面图象实时包裹成任何立体形状,并可作任意角度的翻滚。其它一些公司,如AMPEX公司、SONY公司、GRASS VALLEY公司也相继推出了功能齐全的三维数字特技系统。在这类三维特技系统中,最激动人心的是非线性三维特技。但由于各公司对技术的保密,很难知道它们实现的具体方法。

在国外不断推出特技机的同时,中国科学院自动化研究所与中央电视台也联合推出了我国第一台电视实时特技、字幕、图形处理系统。它集特技、图形、字幕、切换于一体,具有超高速的硬件处理能力和精深的软件处理能力,实现了二维、三维、非线性的实时特技处理,属国内首创。但也必须看到,纯算法研究虽然已较成熟,但有些算法不便于用硬件实时完成,特别是一些实时的三维非线性特技功能还

没有实现,尚有待于进一步探索。本文的算法研究,尤其是卷页算法,是建立在硬件可实现基础上的算法研究。

2 特技算法

三维非线性特技本身是靠纹理映射的方法来实现的,即将二维平面图象纹理映射到任意三维曲面上去。1974年,Catmull^[1]首先提出了一种可将二维矩形图象映射到三维双立方体的迭代细分算法。在Catmull算法中,曲面片不断地被分割,直至每一子曲面片仅包含一个象素中心为止。然后将子曲面片中心或象素中心的参数值映射到纹理空间中,根据纹理空间中相应点处的花纹图案值决定该象素处的光强。但如同Catmull所指出的,这种逐点采样方法会导致图形严重变形。针对这种变形,人们在不断地进行改进,也提出了一些新的算法。下面先介绍一下这些通用的纹理映射算法。

此处的空间曲面用一段参数来表示:

$$\begin{cases} X = x(u, v) \\ Y = y(u, v) \\ Z = z(u, v) \end{cases}$$

我们要求曲面在各点的二阶导数必须连续,两簇等参数直线彼此之间不相切(在每点存在一正常切平面)。首先,在参数空间中按等参数将曲面划分成一三维网格,这种划分方法必须精细到沿着参数方向的两个连续点的弧线距离与它们的欧氏距离基本相等。在下述中,沿着 u 和 v 方向的曲线(图1)相应地表示为 $C_j(v = v_j)$ 和 $C_i(u = u_i)$ 。我们把网格上的点表示为 M_{ij} ,它们在平整开的面上的对应点为 P_{ij} ,两点 M_1 和 M_2 的欧拉距离表示为 $d(M_1, M_2)$ 或 $\|M_2 - M_1\|$ 。

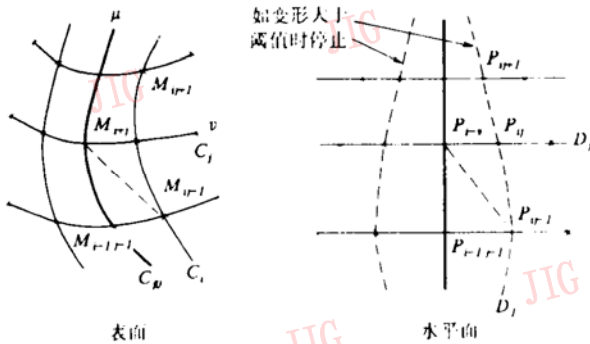


图1 曲面的分段平整算法

Fig. 1 Pvevious flattening of surfaces of revolution

纹理映射的算法通常可分为下面二步:

步骤 I:首先在网格上选择一初始弦曲线(等参数方程的一部分),然后曲面沿着这一曲线展开,直到小于初始规定的一变形阈值。在网格未处理的部位重复同样的步骤,直到感兴趣的部位全部被展开。

步骤 II:对处理过的网格区域进行三角化。在对应三角形之间建立内部仿射变换,完成纹理变换。

步骤 I 是算法的分段平整部分,更精确地说,对各种已提出的平整技术而言,各定义了一合适的变形准则。一般的变形准则可由:

$$c_r(c_i) = \frac{1}{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} \frac{|d(M_{ij}, M_{ij+1}) - d(p_{ij}, p_{ij+1})|}{d(M_{ij}, M_{ij+1})}$$

来确定, N 为曲线 C_i 上的样本点数。初始曲线根据需何处纹理的变形最小,手工来选择。

步骤 II 是算法的纹理映射部分。三角化过程就是将处理过的区域四个邻近的样本点 $\{M_{i-1j-1}, M_{i-1j}, M_{ij-1}, M_{ij}\}$ 分离为两个三角形 $\{M_{i-1j-1}, M_{ij-1}, M_{i-1j}\}$ 和 $\{M_{i-1j}, M_{ij-1}, M_{ij}\}$ 。这将在纹理平面上得到两个三角形 $\{P_{i-1j-1}, P_{ij-1}, P_{i-1j}\}$ 和 $\{P_{i-1j}, P_{ij-1}, P_{ij}\}$ 。此处 P_{ij} 是 M_{ij} 的对应点通过平整过程得来的。这样三维的三角形表面便被映射到了屏幕空间上去。在屏幕空间的每个象素的纹理值通过从纹理空间到屏幕空间的三角形到三角形的仿射插值实现。

但前面提到的纹理映射算法很复杂,需要迭代计算,耗时较大,且此方法不可避免地会带来映射图象的变形问题。对广播级的电视图象来说,质量要求相当之高,这种变形不适合于电视信号的播出,因此必须建立自己的算法。

2.1 转球算法(图2)

对于屏幕上的任意一点 $M(x_1, y_1)$,可由方程:

$$\begin{cases} x^2 + y^2 + z^2 = R^2 \\ x = x_1 \\ y = y_1 \end{cases}$$

得出物体空间上相应的一点 $M(x_1, y_1, Z_1)$ 。求出 $M'O'$ 的最短弧长, $\widehat{M'O'} = R \cdot \arccos \frac{Z_1}{R}$ 。以原屏幕空间上的 θ 角为方向,以 $\widehat{M'O'}$ 为距离,可在纹理空间上找出一对应点 M^* ,用纹理空间上的 M^* 的纹理值作为屏幕空间上的值,这样就建立起一个一一对应关系。这种对应关系即将纹理空间上的一个圆完全映射到了物体空间的一个球上去了。保持了球上所有点到 O' 的弧线距离与圆上的所有点 O' 的距离不变。

实验结果表明(图版 I),用这种算法产生的图 象视觉效果好,时间较快。

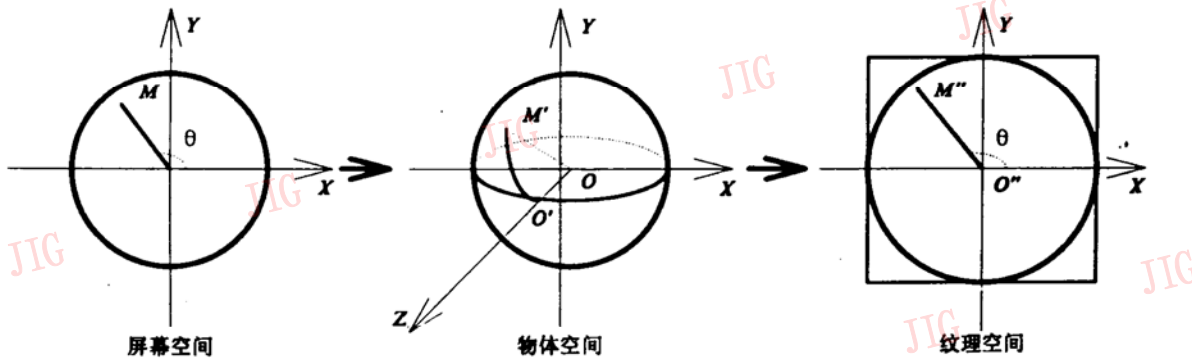


图 2 裹球算法示意图

Fig. 2 Sphere mapping algorithm

2.2 卷页算法

由于卷页特技是模仿翻书,因此使用率很高,是数字特技中最主要的非线性特技。

平行卷页的情况,如图 3 所示。对离中心线左边的任一直线,有可能经三条直线重叠而成。真实卷的情况,有可能由许多直线重叠而成,但在具体处理时,可以只考虑此三条直线。设这三条直线为 L_1, L_2, L_3 ,其中 L_2 有可能完全覆盖 L_1 。在写点过程中,必须按 L_1, L_2, L_3 的顺序进行。 L_1, L_2, L_3 的直线又分别由源图上的 L'_1, L'_2, L'_3 直线搬运过来,不存在缩放关系。对应于 L_1, L_2, L_3 可算出源图上的 L'_1, L'_2, L'_3 。这种对应关系是由 L_1, L_2, L_3 离中心线的距离确定下来的。在运算过程中, L'_1, L'_2, L'_3 对应的点有可能是小数,此时采用线性插值。

当离中心线左、右两边 R 范围内的图象都处理完后,当前时间情况下的卷页就完成了。

对处于中心线右边的点,处理 L_4, L_5 及其对应的 L'_4, L'_5 即可。因与左边 L_1 相应的点线与源图象原位置的点线完全相同,在搬源图象未变化部分时,

已将它拷贝过来了。

对于斜卷的情况,相当于将坐标轴旋转 θ 角,然后进行平行卷,卷完后旋转 θ 角,回到原坐标系(图 4)。从算法上说,这样做是可行的,但从硬件实现的角度来看,不可行。前后进行两次坐标变换,再加上卷的计算,计算量太大。仔细分析斜卷的情况发现:在新坐标系中的垂线搬移,就相当于在原坐标系中的斜线搬移,对于目的图上的每一条斜线 L ,根据此斜线离目的图中心线的距离,可算出在源图上对应 L 的斜线 L' , L 与 L' 的斜率相同。这也就决定了它们之间的对应点关系是确定的,即:目的图上的点 (x, y) ,对应于源图上的点 (x', y') , $X' = x + \Delta X; y' = y + \Delta Y$ 。 $\Delta X, \Delta Y$ 仅随斜线 L 离中心线的距离而变。

在计算过程中还存在 L 的起始点的确定问题,这可由 L 离中心线的距离算出 L' 离源图上中心线的距离,进而知道 L' 的直线方程,求出与 $y = Win y_2$ 的交点,由 $\Delta X, \Delta Y$ 即可求出 L 的起点。

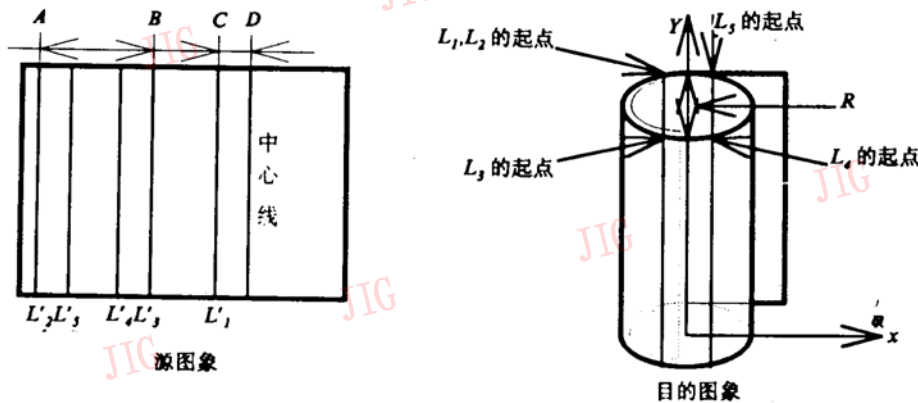


图 3 平行卷页的情况

Fig. 3 Parallel rolling case

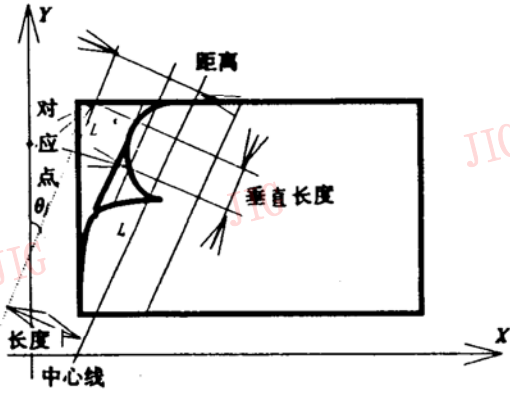


图4 卷页后的情况

Fig. 4 Slant rolling case

为了保证填满目的图,起始斜线都从 $Winy_2$ 开始,按直线发生器加法,加到起始点后再开始写点。

在开始用这种算法处理图象时,发现图象仍存在较大的变形,经仔细分析,发现了误差的来源。

因为光栅显示器可以看成有一个网格存在。表示一条直线,就是要用最靠近直线的一些网格点来代表这一直线,即计算机的实际实现中,对于斜线都是采用折线代替的方法,这种方法不可避免地会带来误差。现对误差做一定性分析(图5)。为了清楚起见,对折线进行了夸大,图中 L 为已卷过 $90^\circ-180^\circ$ 的直线(其它情况类似),即相当于图3中的 L_3 。

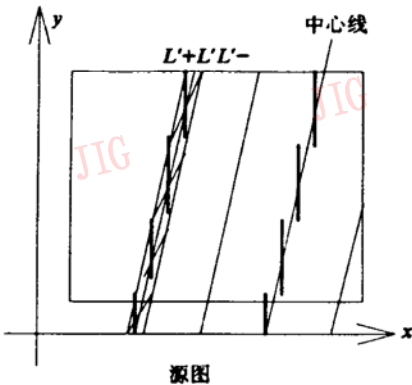


图5 误差来源分析图

Fig. 5 Error source analysis

对于 L 的折线,都是以 L 算出的 $\Delta X, \Delta Y$ 去算相应的点的,于是取出的源图上的点如左图所示(粗折线)。而真实情况下, $L-$ 对应于 $L'-$, $L+$ 对应于 $L'+$, 即应取细折线的点,由此产生了误差,此种误差在目的图上反映为半个象素。在源图上,当距离接近半径时,反映出的误差是相当大的。

从目的图上还可以看出,靠近中心线左边的斜线,当用折线代替时,有的折线上的点越过了中心线,到达中心线的右边。计算时是用左边的情况处理

的,与右边的实际情况不符,也引入了较大的误差。

对于靠近两条 R 边缘线的情况,存在折线上的点越出边缘线的情况时,也必须加以重视。

这些误差影响了图象的质量,必须设法消除。

考虑到折线与 L 的交点反映的是真实情况,可以用截取的办法,以图6所示的折线代替直线。

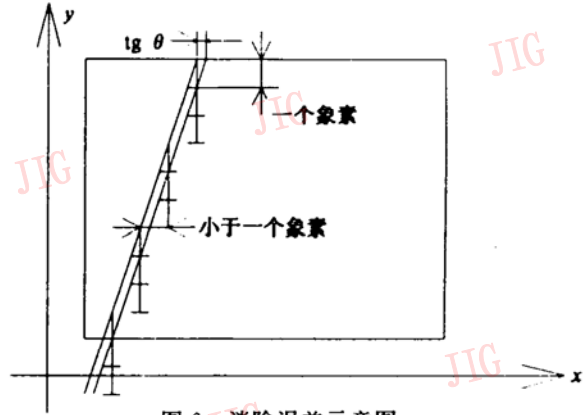


图6 消除误差示意图

Fig. 6 Sketch of error elimination

对于 X 方向的增量,并不以能填满目的图图象的点所取的 $\Delta x=1$ 为满足,而取 $\Delta x = \text{tg}\theta$, 即 Y 方向每变化一个象素距离时, X 方向所应变化的距离。对它进行重新计算,然后再写上屏幕,这样就能以无误差的点覆盖掉原来由 L 所决定的在 L' 象素有误差的点,其余类似。仿真结果表明,经此处理后,效果有极大地改善,消除了上面提到的误差。

采用这种改进后的算法仿真出的图象效果良好(图版I)。算法紧紧围绕着硬件直线发生器着手,易于硬件实时实现。

3 结论

本文提出的算法已应用到现已形成产品的“动画特技创作与播出系统”中^[2],在此系统中还采用了一些飘旗、转球等算法。从系统运行情况来看,生成的图象质量高,可直接应用于电视节目的录制中。

文中提出的卷页算法,是在便于硬件实现的基础上完成的,解决了图象的变形问题,所以是一种简单实用的算法,为今后实时特技硬件系统的开发打下了较好的基础。

参考文献

[1] E Catmull. A Subdivision Algorithm for Computer Display of Curved Surfaces. PH. D dissertation, Department of Computer Science, University of Utah (1974).

[2] 林鹏. 数字特技的几个基本概念. 电视字幕·特技与动画, 1993, (1): 39-43.



程坚,1991年毕业于清华大学,同年在华东冶金学院参加工作,1993年考入中国科学院自动化研究所攻读硕士学位,现在该所图象部工作。感兴趣的研究领域为计算机图形学,图象处理,计算机动画。

Research on 3-D Nonlinear Effect Algorithm

Cheng Jian Lin Peng

(Image Dept., Automation Institute, Academia Sinica, Beijing 100080)

Abstract Video effect is a technology which has been widely used in making program by TV station. It can improve programs' quality and enrich their styles. This paper focuses on 3-D nonlinear effect whose algorithms are very difficult. It gives two algorithms about page rolling and sphere mapping. Centering on line-generator closely, the algorithm of page rolling can be implemented by hardware and obtain real-time result.

Keywords 3-D Nonlinear effect, Texture mapping, Page rolling, Sphere mapping

MICROTEK——全球图象扫描仪与微处理开发系统的领导者

MICROTEK 股份有限公司于1980年10月23日在中国台湾硅谷——新竹科学工业园区创立。凭借她坚实的基础、雄厚的实力、准确的市场策略,使国际的高水平。由于MICROTEK公司具有了世界一流的科技开发能力,实力雄厚、设备先进、检测手段齐全的生产基地及严格的经营管理,因此它是科、

产品型号	规格说明	应用领域	所附软件
PageWiz	4 bit 灰度(插值到8 bit)300 DPI	办公自动化, 记者	PageSuite 赠 OmniPage 西文 OCR 尚书中文印刷体 OCR
ScanMaker E3	24 bit 真彩色 2400 DPI	OA 领域 图文资料库应用	Imagepals GO
ScanMaker E6	30 bit 真彩色 4800 DPI, 一次扫描	广告创意 DTP 应用	PHOTOSHOP 3.0(LE)
ScanMaker III	30 bit 真彩色 1200 DPI, 一次扫描	轻印刷、报业、出版业 专业印刷系统	PHOTOSHOP
ScanMaker 35t	24 bit 真彩色 3656 DPI	35mm 胶片专业扫描 记者、摄影行业	PHOTOSTAR
ScanMaker 45t	36 bit 真彩色 2000 DPI, 一次扫描	4 * 5 寸胶片专业扫描 印刷、出版、专业印刷	PHOTOSHOP
LS-8000	A0 幅面, 灰度扫描 800 DPI	大幅面工程图档 CAD	IMAGESTAR RvmasterII

(下转 165 页)