

一种新的计算机图象生成技术

王新成

(清华大学自动化系 北京 100084)

朱维乐 朱晓昆 顾德仁

(电子科技大学电子工程系 成都 610054)

摘要 本文提出的灰度/深度图象序列的三维内插方法,摆脱了原实摄路径限制,可在空间内任意巡行,采用空间稀疏化采样,从而达到大量节省存储量和高度灵活地可控再现空间场景的目的。为解决三维内插中庞大的计算量,本文研究了快速而实用的散点算法和深度适应的 Warp 算法。通过介绍三维内插的几种简单情形,导出了一些简单、实用的算法。计算机仿真结果显示了这一新方法是完全可行的。

关键词 灰度/深度图象,三维空间内插,图象生成,算法

1 引言

在 CIG 技术中迄今普遍应用的基于计算机图形学的方法,其缺点是对自然景物逼真度差,并随着场景复杂化使计算量增加。而基于实摄图象序列可调速重放的图象序列法光学环境仿真的优点是逼真度高,概念简单,但其缺点是存储量庞大,且可控性差。本文提出的灰度/深度图象序列的空间内插法可克服上述缺点。为完成三维内插,必须提供更多的被模拟空间环境的三维信息,而引入灰度/深度图象序列就是一个适宜的选择。观察到的景物,一般只是物体表面的亮度记录,在其内部或其后的物点均被遮挡而不能被观察到,因而只需存储被观察到的“壳状”表面的灰度(含义包括彩色)和深度,就能充分反映景物的三维性质。特别是通过图象序列的三维内插,就可达到大量节省存储量和高度灵活地可控再现空间场景的目的。

2 三维内插的原理和算法

2.1 灰度/深度图象序列的空间稀疏化采样

如图 1 平面巡行情况所示,各空间采样点 $A_1 \cdots D_4 \cdots$ 等点,以环视摄像机摄取 360° 的环视图象进行存储,得到灰度图。同时设法获得各象素的深度也同时存储,就得到各采样点的灰度/深度图象序列,采样点距离可依需要取为 $10 \sim 20\text{m}$ 间隔。在活动频繁的三维平面上可按平面网格点进行环视采样;在一维线道上,可按直线间距点进行环视采样。例如,设有 10km 道路,则有 1000 幅灰度/深度图象;设有 $400\text{m} \times 400\text{m}$ 场地,

1992-12-05 收到,1994-04-13 定稿

王新成 男,1965 年生,博士后,现从事三维计算机视觉及立体成像技术研究。

朱维乐 男,1942 年生,教授,现从事图文电视及 HDTV 研究。

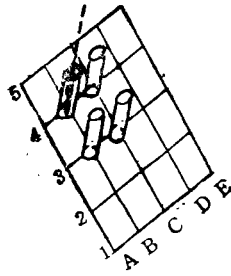


图 1 空间稀疏化采样配置

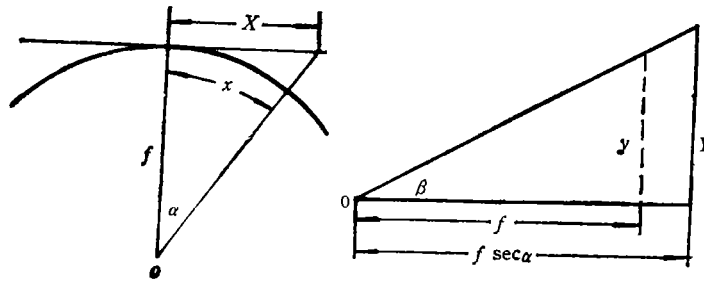
(a) α 角表示(b) β 角表示

图 2 Warp 交换公式推导

则有 1600 幅灰度/深度图象。一般说来,有 2000~1 万幅灰度/深度图象序列,就可满足多数场景的实际需要,因而极大地节省了存储设备。

平面网格环视取样适用于地面环境仿真——平面巡行及绕垂直轴旋转,可有局部高度变化及垂直轴摆动。对空间环境仿真,也可采用空间网格的球形(半球形)扫视取样(如鱼眼摄象机等)进行图象序列存储。

2.2 环视至平面的 Warp 变换

三维内插的第一步就是将存储的“变形”场景图进行“扭曲”复原为平面。以环视为例,“Warp”公式为

$$\begin{cases} x = f \cdot \alpha, \\ y = f \cdot \beta, \end{cases} \quad \begin{cases} X = f \cdot \operatorname{tg} \alpha = f \cdot \operatorname{tg}(x/f), \\ Y = y \cdot \operatorname{sec} \alpha = y \cdot \operatorname{sec}(x/f), \end{cases}$$

式中 f 为焦距, α 为水平方向视场角, β 为垂直方向视场角, X, Y 为平面象素坐标, x, y 为环面象素坐标。如图 2 所示。

在环视深度记录中,深度 Z 以径向深度在水平面上之投影为准: $Z(X, Y)$ 。转换为平面投影时,则应为: $Z = Z \cdot \cos \alpha = Z \cdot \cos(x/f)$ 。其系统实现中,这一 Warp 变换可作为管道运算的第一步实时解出。

2.3 平面图象序列的三维内插

设在某观察点附近,已得到了“邻近”的二帧平面图象。我们的任务就是足够精确地“内插”出该视点所看到的视景图象。见图,我们有

$$P: \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \text{ 运动前物点坐标,}$$

$$P': \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = [R] \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \delta x \\ \delta y \\ \delta z \end{bmatrix} \text{ 运动后物点坐标.}$$

在以摄象机摄影中心(光心)为参考的坐标系中,所有的运动均归算至物空间的运动从而造成的象面的表现运动。这是非常适用于 CIG 系统的(图 3)。从已知图象帧的象点 (X, Y) 和一确定的刚性运动参数 $[R], \delta$ 中,可导出新的一帧图象,其基本方程为

$$\frac{Z'}{f} \begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ f \end{bmatrix} = \frac{Z}{f} \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ f \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \delta X \\ \delta Y \\ \delta Z \end{bmatrix}, \quad (1)$$

亦即

$$\begin{aligned} X' &= f \cdot \frac{(r_{11}X + r_{12}Y + r_{13}f)Z + f \cdot \delta Z}{(r_{31}X + r_{32}Y + r_{33}f)Z + f \cdot \delta Z}, \\ Y' &= f \cdot \frac{(r_{21}X + r_{22}Y + r_{23}f)Z + f \cdot \delta Z}{(r_{31}X + r_{32}Y + r_{33}f)Z + f \cdot \delta Z}, \\ Z' &= \frac{(r_{31}X + r_{32}Y + r_{33}f)Z}{f} + \delta Z, \end{aligned}$$

其中 $Z = Z(X, Y)$ 为深度图象, $[R]$ 为绕 O 点的旋转矩阵, δ 为位移矢量。

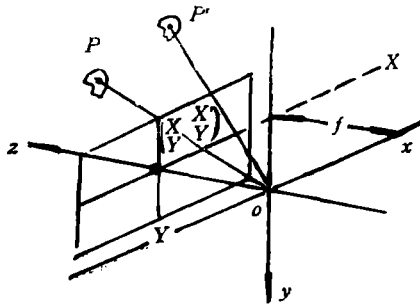


图3 三维内插原理说明



图4 散点算法

从基本式中可以看出: 灰度/深度图象在任意的三维运动中, 原图象中每个象素的运动矢量及新的深度均由基本式唯一地加以确定。因而三维内插的问题实际就是将每个象素(连同灰度或彩色)按位移矢量场“搬家”形成新的图象的问题。在这个意义上, 三维内插的解是“完备”的。

但是, 由于 $Z(X, Y)$ 函数的不规则性(不连续性及不够精确), 三维内插问题又大大地不同于一般的 Warp 问题。关键在于不能事先求出 (X, Y) 依赖于 (X', Y') 的反函数, 从而找出整数坐标 (X', Y') 点在原图象中的网格点中的位置进行插值。而要首先计算出 (X', Y') 的非整栅格坐标加以存储, 然后再一次对 (X', Y') 的整数栅格值加以插值计算。这个双重计算过程的计算量是相当大的, 必须研究快速算法及实用算法。在研究过程中, 我们对下述二种类型的算法进行了研究。

2.3.1 散点算法 其要点在于避免 (X', Y') 的非整数栅格值的存储, 而是直接将 (X', Y') 点的灰度值“分配”给其四邻的整数栅格点, 以避免第二次再取样过程(如图4所示)。其缺点是给图象带来一定程度的模糊, 并且需要对灰度值进行一定程度的修正, 以补偿“面积比”带来的影响。

2.3.2 深度适应的 Warp 算法 由(1)式可以看出, 在 Z 为常数的区域中, (X', Y') 是可以求逆的, 因而可以直接求取 (X', Y') 整数栅格点在原 (X, Y) 栅格网中的取样插值。这相当于将图象按深度分为“块片”, 对不同深度的“块片”按扭曲算法求出新图象。这

一算法能大大降低对“深度”的精度要求,且计算规整,易于发展快速算法,有较好的实用效果。

3 三维内插的几种简单情形

通过 IBM386 微机, VG-32 图象处理板、VEGA 高分显示卡及彩显为主的 RISG 原理系统,我们完成了几种三维内插的情况,化简了基本式,并导出了一些简单、实用的算法。

3.1 正向位移

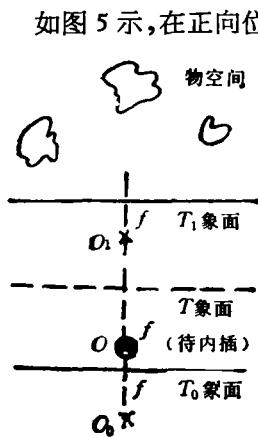


图5 正向位移原理

如图5示,在正向位移情形下,当运动方向沿着象平面投影中心的视线方向时,我们得到正向 zoom 的情形。当由 T_0 移至 T 时,物象膨胀;当由 T_1 移至 T 时,物象缩小。

一个重要的概念是象素运动矢量场。在正向 zoom 的情形下,每一象素均沿象面径向辐射状地移动了一段距离,这一位移矢量即称为象素的位移矢量 Δ 。全体位移矢量 $\Delta(X, Y)$ 即称之为象素的运动矢量场:

$$\Delta X = -X \cdot \frac{\delta Z}{Z + \delta Z}, \quad Z = Z(X, Y) \text{ 为深度};$$

$$\Delta Y = -Y \cdot \frac{\delta Z}{Z + \delta Z}, \quad \Delta X, \Delta Y \text{ 为 } \Delta \text{ 之 } X, Y$$

方向分量。

本节所述正向位移与简单平面 zoom 存在根本区别。简单平面 zoom 存在:(a)与实际空间投影关系不符;(b)不可能出现新现的观察内容;(c)当由序列中一帧转至下一帧时,存在由空间关系失调引起的画面跳动等弊病。而三维内插完全克服了以上诸种原理上的弊病,得到合乎空间投影关系的平滑图象序列。

3.2 横向位移

当运动方向与象面投影中心视线方向成直角时,就得到横向位移的情况。此时象素位移矢量场为

$$\Delta X = f \cdot \delta X / Z, \quad \Delta Y = f \cdot \delta Y / Z, \quad \delta X, \delta Y \text{ 为横向位移。}$$

3.3 斜向位移

当运动方向与象面投影中心视线方向成一般角度时,就得到斜向位移的情形。它可看作正向位移之后又作横向位移的结果。

象素运动矢量场为

$$\Delta X = \frac{-X \cdot \delta Z + f \cdot \delta X}{Z + \delta Z}, \quad \Delta Y = \frac{-Y \cdot \delta Z + f \cdot \delta Y}{Z + \delta Z}.$$

此时,所有象点的象素运动矢量均指向象面 $(f \cdot \delta X / \delta Z, f \cdot \delta Y / \delta Z)$ 处。

3.4 绕投影中心的旋转

当位移矢量为 ζ , 绕投影中心的纯旋转公式化为

$$\left. \begin{aligned} X' &= f \cdot \frac{r_{11}X + r_{12}Y + r_{13}f}{r_{31}X + r_{32}Y + r_{33}f}, \\ Y' &= f \cdot \frac{r_{21}X + r_{22}Y + r_{23}f}{r_{31}X + r_{32}Y + r_{33}f}, \\ Z' &= \frac{r_{31}X + r_{32}Y + r_{33}f}{f} Z. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

化简为

$$\left. \begin{aligned} X' &= f \cdot \frac{X \cos \theta - f \sin \theta}{X \sin \theta + f \cos \theta}, \\ Y' &= f \cdot \frac{Y}{X \sin \theta + f \cos \theta}, \\ Z' &= \frac{X \sin \theta + f \cos \theta}{f} \cdot Z. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

特别当绕垂直轴旋转(平面巡回)时,有

$$[R] = \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 & -\sin \theta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \theta & 0 & \cos \theta \end{bmatrix}.$$

(2)式化简为(3)式.

在纯旋转时,象素坐标 (X', Y') 与 (X, Y) 间的关系为分式线性式,且与深度无关,这就使纯旋转时的三维插值问题简化为普通的 Warp 问题.

在坐标系取为环视面的情形下,通过空间取样点的垂直轴的旋转问题更可简化为沿 X 轴的横滚问题.可在平面化算法之前简单地更改存取地址完成.

3.5 绕垂直轴旋转+斜向位移.

这是“平面巡回”情况下最复杂的情况.此时,采用“深度适应 Warp 算法”的公式为

$$\begin{aligned} X' &= f \cdot \frac{(X \cos \theta - f \sin \theta)Z + f \cdot \delta X}{(X \sin \theta + f \cos \theta)Z + f \cdot \delta Z}, \\ Y' &= f \cdot \frac{Y \cdot Z + f \cdot \delta Y}{(X \sin \theta + f \cos \theta)Z + f \cdot \delta Z}, \\ Z' &= \frac{(X \sin \theta + f \cos \theta)Z}{f} + \delta Z. \end{aligned}$$

$$\text{由 } Z' = \frac{(Z + \delta Z) \cdot f}{-X' \sin \theta + f \cos \theta},$$

可得

$$\left. \begin{aligned} X &= f \cdot \frac{X' \cos \theta + f \sin \theta}{-X' \sin \theta + f \cos \theta} \left(1 + \frac{\delta Z}{Z}\right) - f \cdot \frac{\delta X}{Z}, \\ Y &= f \cdot \frac{Y'}{-X' \sin \theta + f \cos \theta} \left(1 + \frac{\delta Z}{Z}\right) - f \cdot \frac{\delta Y}{Z}. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

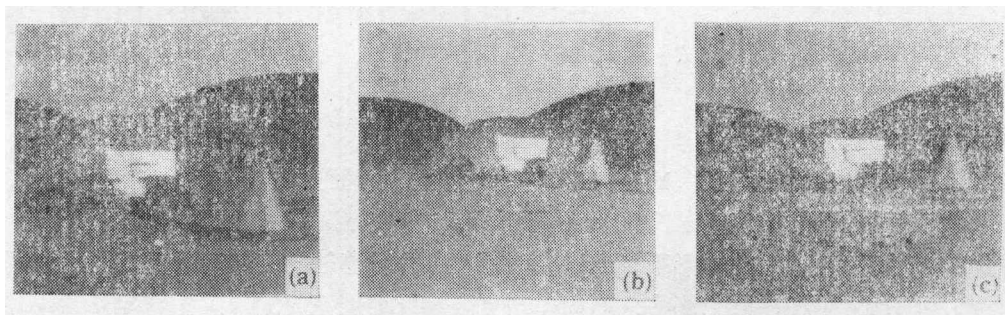
在每一深度的物面上, $Z(X, Y) = \text{const}$, 均可按上式找出新象面整数栅格点 (X', Y') 在原象面中的位置,从而进行三维内插.在适当的边界上更换物面的深度层次是算

法研究的重要内容。

4 实验结果及讨论

4.1 实验结果

通过三维内插的方法,我们完成了正向位移、横向位移、斜向位移,绕投影中心的旋转,垂直轴横滚,绕垂直轴旋转+斜向位移,平面巡行,鱼眼图象等计算机仿真“三维”效果是令人满意的。原始图象大小可按要求进行选取,在实验中我们取了 256×256 及 512×512 两种尺寸。序列图象多少可任意选择,在实验中我们用了 145 幅,在彩显上可观察到图象的连续变化。特别是在巡行中,被“遮蔽”部分的逐渐重现(移近)与消失(移远),更体现了灰度/深度图象的优越性。平面巡行及鱼眼图象更达到了根据仿真需要有选择地加以重放和一定程度的可控的仿真效果的目的。仅举一例,图 6 中示出了三维内插的计算机仿真结果(正向位移)。



(a) 相对深度为 600 的图象 (b) 相对深度为 800 的图象 (c) 相对深度为 700 的内插图象

图 6 三维空间内插的计算机仿真结果(正向位移)

4.2 讨论

由我们的仿真结果得知,灰度/深度图象序列的三维内插的方法是完全可行的,计算先是相对固定并可望实时解决的(三维内插的计算量约相当于图象实时 Warp 的 4~6 倍)。对于深度的求取,我们采用了两种方法:一是脱机生成逼真度极高的灰度/深度图象序列加以存储;二是设法恢复实摄图象序列之深度(4~6bits/pixel)。后一工作还在继续进行中。我们的仿真工作展示了这一套方法的极为突出的特点和广阔的应用前景。

5 结 束 语

本文介绍的灰度/深度图象的三维空间内插算法,形式简单,可同时完成消隐运算,易于实时实现,且运算量固定,不随景物复杂度的增大而变化,是 CIG 中背景生成的一种新方法。通过“灰度/深度”综合图象处理,数据量压缩与原始图象序列法相比可达 10~15 倍。这是光学环境仿真、视景背景生成的一个新的发展方向。

参 考 文 献

- [1] Zhu Xiaokun, Cheng Cunxue, Zhu Weile. AMSE REVIEW, 1991, 19(3): 25—32.
- [2] Kim W Y, Kak A C. IEEE PAMI, 1991, 13(3): 224—252.
- [3] Unser M, Aldroubi A, Eden M. IEEE PAMI, 1991, 13(3): 277—285.
- [4] Wolfe W J, Mathis D, Weber Sklair C, Magee M. IEEE PAMI, 1991, 13(1): 66—73.
- [5] Seibert M, Waxman A M. IEEE PAMI, 1992, 14(2): 107—125.
- [6] Ayache N, Lustman F. IEEE PAMI, 1991, 13(1):73—85.

A NEW TECHNIQUE OF COMPUTER GRAPHICS SYNTHESIS

Wang Xincheng

(Tsinghua University, Beijing 100084)

Zhu Weile Zhu Xiaokun Gu Deren

(University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054)

Abstract A three-dimensional space interpolation method of grey-depth image sequence is presented. The way breaks away from the limit of original practical photographing route. The pictures can cruise at will in space. By using space sparse sampling, the memorial capacity can be decreased greatly and the reproduced scenes can be controlled. To solve complex computations in three-dimensional interpolation algorithm, a fast and practical algorithm of scattered space lattice and the Warp algorithm with proper depth are studied. By several simple aspects of the three dimensional space interpolation, some simple and practical algorithms are developed. Some results of simulated experiments with computers show that the new method is absolutely feasible.

Key words Grey-depth image, Three-dimensional space interpolation, Computer graphics synthesis, Algorithms