

基于图象的交互绘制和数据压缩

李新肖 郑南宁 张汀

(西安交通大学人工智能与机器人研究所, 西安 710049)

摘要 体数据的绘制速度是交互可视化的瓶颈。将基于图象的绘制方法和传统的体绘制方法相结合, 提出了一个新的基于图象的快速图形图象绘制系统, 大大提高了体数据交互可视化的速度。该方法首先用传统的体绘制方法得到一系列采样图象, 然后根据图象间象素的冗余性, 通过 Warping 变换压缩数据, 由压缩后的数据 Warping 生成任意视图的视图。为了进一步提高计算速度, 给出了递推 Warping 变换计算流程。

关键词 基于图象的绘制 Warping 变换 图象压缩 重投影

0 引言

体数据的交互可视化是计算机图形学中的难点, 传统的体绘制方法或者以较慢的速度获得高质量的图象, 或者以较粗的分辨率换取速度的提高。采用高性能工作站或并行体系结构达不到较高的性能价格比, 不利于系统的推广, 如何利用微机达到实时交互的体数据可视化是图形学研究者梦寐以求的。

基于图象的绘制 (IBR: Image-based Rendering) 方法利用二维图象变换代替原来复杂的三维体绘制算法, 数据量和计算的复杂性都大大降低^[1]。Peleg 和 Herman^[2] 提出用多个采样图象的交叠投影 (Manifold Projection) 重建全景图 (Panorama)。Regan 和 Ronald^[3] 的优先顺序绘制以及 Shade 等人^[4] 的分级绘制均是根据场景中各部分变化的快慢分层进行绘制, 在一定的帧数内利用以前绘制的图象 Warping 生成新的图象, 再进行各层合成。Seitz 等人^[5] 的 View Morphing 是用左右两幅图象对应点内插得到新的视图。这些方法只能针对视向变化不大或近似平面场景的情况, 我们用 Warping 变换压缩后的图象数据代替全景图, 能处理任意视向和复杂遮挡的场景。

一种分层深度图 (LDI: Layered Depth Images) 绘制^[6] 方法将物体的各个视向的采样图象变换到一个参考图象平面。在透视投影情况下, 不同深度层的

象素分辨率可能发生较大变化, 而通常相邻图象间的分辨率变化不大, 利用相邻采样图象间的 Warping 变换进行数据压缩, 能保持高压缩比和原有图象分辨率。

1 图象的获取

如何用尽可能少的采样图象得到体表面结构的完整描述是一个十分有价值的问题。我们可假设一个包围物体的球体, 采样图象的视场叠加至少应覆盖整个球体表面。对于单个凸物体可以找到该物体表面的最少覆盖图象数, 而对于任意表面形状和复杂遮挡关系的场景, 从严格意义上, 并不能由几个采样图象描述。在球体周围分布的采样图象越密, 物体描述越精确, 由 Warping 变换合成的图象越接近实际投影的图象。为了节省计算和存储量, 采样图象数应选择一个与物体表面复杂度相关的有限值, 我们在实验中根据物体的表面情况选择 3~16 个采样图象。如图 1(a) 所示, 点划线为视点的移动轨迹, 每个采样图象可看作是对有限区域光场^[1] 的采样, 交互绘制是由这些采样图象重建连续光场的过程。为简化描述, 本文将视点的轨迹限制在一个圆周上, 很容易将其扩展至整个球面或空间任意轨迹。图 1(b) 是各视图的视场重叠关系, 重叠区是本文进行图象压缩的基础。

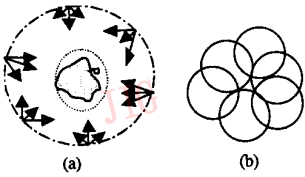


图1 采样图象的视点和视场分布

采样图象由传统的体绘制方法产生,将其 Z-buffer 值作为采样图象对应的深度图。本文的方法适用于绘制物体的表面或等值面结构,对于具有透明度的体绘制,可通过分类函数将感兴趣区(ROI: region of interest)分配较小的透明度,其它区域分配较大的透明度。该思想与强调组织表面结构的体绘制方法一致^[7]。

2 图象压缩和快速绘制

2.1 数据压缩

为了得到足够的采样精度,采样图象的视场间有一定重叠,见图 1(b)。重叠区域内的空间点可能形成多次采样,找出并剔除多次采样形成的冗余象素,能有效地压缩图象数据。我们选择相邻采样图象进行压缩是因为相邻图象间有最大的重叠区,它们的视向和象素分辨率变化不大,可更好地保留原采样信息。对于空间遮挡的情况,视场的重叠区并不对应象素的重叠,本文的压缩方法能够保留每一个被采样到的不同空间点。压缩方法如下:

对于同一场景或物体的 n 个采样图象,按视向相邻次序形成一个 $n+1$ 序列 $\{I_1, I_2, \dots, I_n\}$ 。顺次将后一个采样图象(图象 2)中的每一个象素利用 Warping 变换映射到前一个图象(图象 1)对应点(包括坐标和深度值),然后比较 Warping 变换得到的象素与同一位置原象素的深度值,若相等则表明它们对应空间中的同一点,把图象 2 中的对应象素标记为空,若不相等则保留图象 2 中原象素点。经过上述处理后得到 n 幅经过标记的图象 $\{I_1, I_2, \dots, I_n\}$,相邻图象的非空象素点对应的空间点不同,所有图象的非空象素点之和构成该物体表面的一个近似。这些图象中有大量的象素被标记为空,利用传统的图象压缩方法(如游程编码)可完成更大的压缩比。采样图象沿物体周围的分布越密,压缩比越大。

2.2 快速绘制

n 幅经过压缩的图象可以直接生成新的视图。

依次扫描每个采样图象,如果该段象素为空,则跳过这些象素,否则将该象素的坐标和深度值 Warping 变换到新的视平面。投影到同一图象坐标点的象素进行深度比较,取出距视点最近的象素,形成最终图象。

显而易见,距新视点越近的采样图象,对新视图的贡献越大,与新视点没有视区重叠的采样图象,对新视图没有任何贡献。一般地,我们仅需将新视点附近的采样图象 Warping 到新的视图。如图 2 所示,设投影图象的尺寸为 s ,新视点为 N ,距该视点由近及远的采样图象依此为 A, B, C, D, \dots , 其非空象素数分别为 $m_1, m_2, m_3, m_4, \dots$ 。顺次取出每个图象重投影到新的视图,并计算取出的非空象素数,当 $m_1 + m_2 + m_3 + \dots + m_j > \xi$ 时,停止重投影过程。一个新的视图需要最多 ξs 个象素的 Warping 运算。其中 ξ 为常数,选取适当的 ξ 值,可以在图象质量和速度之间进行折衷,其中 $\xi > 1$,一般选取 2 ~ 3。

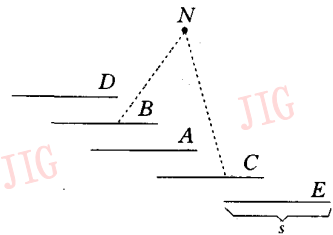


图2 选取视点附近的采样长图象进行 Warping 变换

3 算法的实施

3.1 快速重投影公式

在上述的压缩和绘制过程中, Warping 变换决定了该方法的计算效率。Warping 变换重投影类似于纹理映射过程,如图 3 所示,图象 1 中的 \hat{x}_1 和图象 2 中的 \hat{x}_2 对应同一空间点 P (位于物体表面),它们的对应关系如下式:

$$\hat{x}_2 = M_2^{-1}(C_1 - C_2) + M_2^{-1} \frac{M_1 x_1}{|M_1 x_1|} r_1(\hat{x}_1) \quad (1)$$

其中 C_1, C_2 为视点坐标; r_1 为视点 C_1 到表面点的距离,我们在此简称之为深度; \hat{x}_1, \hat{x}_2 是图象平面的齐次坐标; M_1, M_2 是对应的变换矩阵。在前处理过程中将深度值转化为 $\lambda_1 = \frac{r_1(\hat{x}_1)}{|M_1 x_1|}$, C_1, C_2, M_1, M_2, r_1 均为已知参数,重投影过程分别扫描图象的行和列,递推公式如下:

$$\begin{aligned}\hat{x}_2 &= M_2^{-1}(C_1 - C_2) + \lambda_1 M_2^{-1} M_1 \hat{x}_1 \\ &= \text{start}C + \lambda_1 \text{start}P\end{aligned}\quad (2)$$

当扫描行时:

$$\begin{aligned}\text{start}P_{n+1} &= M_2^{-1} M_1 \begin{bmatrix} x_1 + 1 \\ y_1 \\ 1 \end{bmatrix} \\ &= M_2^{-1} M_1 \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ 1 \end{bmatrix} + M_2^{-1} M_1 \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \\ &= \text{start}P_n + \text{incr}X\end{aligned}\quad (3)$$

当扫描列时:

$$\begin{aligned}\text{start}P_{n+1} &= M_2^{-1} M_1 \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 + 1 \\ 1 \end{bmatrix} \\ &= M_2^{-1} M_1 \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ 1 \end{bmatrix} + M_2^{-1} M_1 \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} \\ &= \text{start}P_n + \text{incr}Y\end{aligned}\quad (4)$$

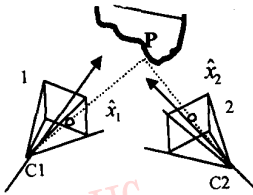


图3 投影图象间的关系

对一幅图象进行重投影时,首先计算常数 $\text{start}C$ 、 $\text{incr}X$ 、 $\text{incr}Y$ 以及图象坐标原点的重投影项 $\text{start}P$ 作为初始值,然后按照行和列的顺序扫描每一个象素点,遇到空的象素点跳过,计算流程如下:

```
FastWarp( starC, startP, incrX incrY)
{
  for( column = 0; column < 列数; column ++ )
  {
    temp = startP;
    for( row = 0; row < 行数; row ++ )
    {
      startP += incrX;
      if(  $\hat{x}_1 \neq \text{Null}$  )  $\hat{x}_2 = \text{start}C + \lambda_1 * \text{start}P$ ;
      startP = temp + incrY;
    }
  }
}
```

每个重投影坐标的计算仅需6次标量加法和3次标量乘法。深度值的重投影计算与上述方法相同。

3.2 改进象素压缩判据

由于计算过程中的误差和象素重采样过程中本

身的近似,将深度值相等作为空间点重叠的判据容易引起漏判。为此我们在纵向上(深度差)和横向上(相邻象素)适当放宽限制。设两射线方向夹角为 θ ,重投影后两射线方向一致(对应同一象素位置),深度差和象素差分别为 r_d 和 $grey_d$,修改后的判据如下:若 $|2 - \cos\theta| r_d > \xi_1$ 或 $grey_d > \xi_2$,则两条射线对应的不同的表面点,不能对象素进行压缩;否则,可将其中一条射线对应的象素标记为空。 ξ_1 和 ξ_2 在计算前确定,应大于重投影和重采样过程引入的总误差。

4 实验结果

实验用一台 Pentium166 微机, $59 \times 133 \times 133$ 医学体数据, 300×300 采样图象由等值面 Ray-Tracing 方法得到。附图 1(b) 是单幅采样图象重投影的结果,它与体绘制得到的采样图象图 4(c) 有十分相似的立体效果。用附图 1(c) 对附图 1(a) 进行压缩,压缩比可达 3.39 (原图象尺寸/压缩后的非空象素数)。

附图 2 是附图 1(a) 通过重投影生成的图象序列,旋转角度为 $0^\circ \sim 90^\circ$,转角越大,图象中的表面点越少。当旋转超过一定角度 θ 后,生成的视图明显出现前后表面重叠(见附图 3(a))。附图 3(b) 是用新视点附近的 3 幅采样图象重投影合成的新视图,它与 Ray-Tracing 得到的图象(附图 4(c)) 在视觉效果上几乎相同,但绘制时间提高了 725 倍。

附图 4 是用四幅采样图象重投影合成的 300×300 动画序列,生成速度 > 50 帧/秒。用工作站或高档微机可望在全屏达到实时的速度。

5 结论

本文提出了一种基于图象的快速绘制方法,它分为两个阶段:在前处理阶段进行 Warping 变换数据压缩,在后处理阶段利用压缩后的数据进行快速绘制。它的优点在于能通过 Warping 压缩同时节省存储空间和加快绘制速度,利用 Warping 变换递推公式进一步减少了计算量。将该方法与传统体绘制方法相结合,能大大提高医学体数据交互可视化的速度。



(a) 采样图象,绘制时间 17.37s; (b) 由 a 旋转 45° Warming 生成的图象,时间 8.4ms; (c) 采样图象,绘制时间 15.82s,与 b 图的视向相同

附图 1 单幅图象的重投影的结果



附图 2 单幅图象重投影生成的图象序列 (由附图 1(a) Warming 变换生成,旋转角度分别为 30°、45°、60°、75°和 90°。)



(a)由附图 1(a)旋转 105° Warming 生成的图象,出现错误的重影; (b) 用 3 幅采样图象 Warming 合成的图象,时间 18.6ms; (c) 采样图象,时间 13.85s,与(b)的视向相同

附图 3 单幅和多幅图象重投影结果比较



附图 4 多幅采样图象重投影生成的图象序列 (图象 Warming 变换的旋转角度分别为 30°、60°、90°、120°、150°,生成时间为 19.3ms、19.5ms、19.8ms、19.2ms、19.8ms。)

参考文献

- 1 McMillan L, Bishop G. Plenoptic Modeling: An Image - Based Rendering System. Proc. ACM SIGGRAPH'95:39 ~ 46.
- 2 Peleg S, Herman J. Panoramic Mosaics by Manifold Projection. CVPR, 1997, 338 ~ 343.
- 3 Matthew R, Ronald P. Priority Rendering with a Virtual Reality Address Recalculation Pipeline. Proc. ACM SIGGRAPH'94:155 ~ 162.
- 4 Jonathdan S, Dani L, David H S, et al. Hierarchical Image Caching for

- Accelerated Walkthroughs of Complex Environments. Proc. ACM SIGGRAPH'96:75 ~ 82.
- 5 Chen S E, Williams L. View Interpolation and Image Synthesis. Apple Computer, Inc. Proc. ACM SIGGRAPH'93:279 ~ 286.
- 6 Gortler S J, Liwei H. Rendering Layered Depth Images. Microsoft Research: Technical Report MSR-TR-97-09, March 19, 1997.
- 7 Levoy M. Volume Rendering: Display of Surface from Volume Data. IEEE CG&A, May 1988:29 ~ 36.



李新肖 1970年生,西安交通大学电信学院博士生,研究方向包括医学可视化,基于图象的三维绘制,交互实时绘制等。



张汀 西安交通大学电信学院硕士生,研究方向为计算机图形学。



郑南宁 1952年生,西安交大博士生导师,国家有突出贡献的青年科学家,研究方向包括计算机视觉,模式识别,神经网络,数字电视等。

Image Based Interactive Visualization and Data Compression

Li Xinxiao, Zheng Nanning, Zhang Ting

(Institute of Artificial Intelligence and Robot, Xi'an Jiaotong University, Xian 710049)

Abstract The speed of volume rendering is the bottleneck of interactive visualization. In the paper, an original fast rendering system using image-based rendering is presented, which greatly improves the speed of interactive visualization by combining the image-based rendering and previous volume rendering. At first, a list of sample images is generated by ray tracing. Next these images are compressed by warping transformation. At last, random new view-images can be rendered in speed of faster than 50 frames per second. In order to improve the speed more, a fast warping formula is developed

Keywords Image based rendering, Warping transformation, Image Compression, reprojection

影雷者驱动程序完全支援 Pentium III

Intel 所开发的新 Pentium III 中央处理器已经在 2 月 28 日正式上市了,而一项新产品的上市一定有许多人会有些疑虑,这样的新产品会不会与自己本身原有的系统与设备有所冲突,是否会造成当机的危险。

事实上,所有艾尔莎的用户并不需要担心这样的问题,艾尔莎一向以专业图形处理傲视全球,也一直不断的开发先进技术来维持这样的优势。针对 Pentium III 这项新产品,艾尔莎影雷者 II,完全与 Pentium III 做整合,并且高度应用 Pentium III 的 SSE 指令在 3D 立体图形运算上的优点以表现最佳的效能。

由于以往 3D 图形的运算有很大的部份是依赖处理器的性能来作运算,因此好的处理器就可以为图形运算节省很多的时间,Pentium III 是目前最新的处理器,所以它的问世势必会造成一股风潮,为符合这股潮流,艾尔莎的技术部门更立即整合所有的新技术,开发新的驱动程序,所以用户不必担心会有系统不相容的情形发生。目前影雷者系列图形卡的驱动程序已经完全更新以支援 Pentium III,使 3D 图形运算效能上可以更加增强。艾尔莎已经将最新的驱动程序公布在艾尔莎网站上,用户可以随时上网下载。艾尔莎网站:www.elsa.com;经销代理:致荣信息。