

现代测量数据绘制技术研究

花向红

(武汉测绘科技大学)

摘 要 介绍完成几何数据至图像数据的转变的有关算法,并讨论了体绘制技术的理论和方法,为最终实现测量数据可视化提供了技术基础。

关键词 绘制算法;坐标变换;抗走样技术;体绘制技术

中国图书资料分类号 P20; TP391.7

Study on Drawing Technology of Modern Surveying Data

Hua Xianghong

(Wuhan Technical University of Surveying and Mapping, Wuhan, 430079)

Abstract In order to accomplish the transformation from geometry data to image data some algorithms are discussed in this paper. The theory and method of volume rendering technology are introduced. The technique base is offered in the visualization of modern surveying data.

Key words Drawing algorithms; Coordinate transform; Antialiasing technology; Volume rendering

在现代测量数据可视化研究中,模型的建立完成了测量数据至几何数据的转变,但还不能输出直观的图形、图像和体,必须采用一定的绘制技术手段,以完成几何数据至图像数据的转变,最终实现测量数据可视化。常见的基本绘制算法有坐标转换、光照模型、消影处理、明暗处理、纹理映射、抗走样技术等。随着计算机技术、图像技术特别是采集数据的手段等技术的发展,人们对数据可视化的要求愈来愈高,需要研究新的绘制技术,如体绘制技术,以满足各种需要。例如,在石油开采过程中,为了制定切合实际的石油开采方案,一般要经常测量井下的石油分布情况。衡量石油分布的一个重要参数之一就是渗透率,渗透率分布在小层面上,由测井数据得到。传统的分析方法是忽略小层面的深度,将小层面近视为平面,在平面上用等值线表示渗透率的分布。这种表示方法不直观。采用体绘制技术,可以显示小层面的空间趋势,把井位坐标(X, Y)及小层面的深度Z当成采样点的空间位置,渗透率看成是采样值,用伪彩色在小层面上表示渗透率的分布,如用深色表示渗透率高的区域,用浅色表示渗透率低的区域。在工业生产过程控制中,用户使用图形技术实现与其控制或管理对象之间的相互作用。工业生产管理的监控人员可以根据设备或产品质量控制关键部位的传感器送来的图像和数据,对设备的运行过程或产品质量进行有效地监视和控制,若发现异常状态,可以采取相应措施来加以调整。

1 绘制技术的几个关键算法

我们知道,一个物体在计算机的显示屏幕上通常可用线框图、消影图及真实感图像三种形式表现出来。从线框图中能够表现物体原来的形状,但由于有时线框图上的被其它面挡住的线也被显示出来,形成多个形状不同的物体而产生二义性,解决这种二义性的办法是用消影法生成消影图。消影图可以表现物体间的相互关系,增强图形深度感和层次感,但它不能反映物体表面的特性(如物体表面的粗糙度、纹理、物体的颜色、吸光率、反光性和透光性和物体的材料构成等特性)。而真实感图像即可弥补消影图的不足,它是由计算机生成的图象。真实感图像通过光照下物体所形成的阴影,极大地改善场景的深度和层次感,充分体现物体间的相互遮挡关系。利用计算机图象综合技术生成真实感图像的关键在于充分考虑影响外观的各种因素,建立合适的光照模型,并通过显示算法将物体的图像在显示器上显示出来。其具体过程是:首先建立物体的几何模型^[2],设定物体的光学属性,设定光源的位置、形状及光学特性和设定视点 and 视屏位置。其次计算视屏上各象素点的颜色。在计算象素颜色时,必须进行不可见面消除、阴影计算及光照颜色计算等工作。第三,在计算机的显示屏幕上显示计算结果,形成真实感图像。

下面就几个关键算法作如下介绍:

1.1 坐标转换

要实现几何数据至图像数据的转变,在计算机的显示屏幕(二维)上显示三维图形和形体,必须对形体各端点的坐标进行透视变换,即完成由世界坐标系到观测坐标系以及屏幕坐标系的坐标变换。一般而言,决定两个坐标系间的关系需要有 6 个参数,即观察点的三维坐标和绕三坐标轴旋转的三旋转角。世界坐标系通常以形体中的某点为坐标原点(如汽车车身外形设计或测量所采用的汽车坐标系的原点位于汽车前轮两中心连线的中点,其 x 轴为汽车前轮两中心连线, y 轴为过原点与 x 轴相垂直的线, z 轴为过原点垂直向上的线),而观察坐标系是以观察点为原点。

为讨论问题方便起见,在保证较为完整地观察到全部三维形体,又不失一般性的前提下,作如下假定:设视点为观察坐标系的原点 O_e ,视点坐标由世界坐标系给出 $O_e(a, b, c)$;观察坐标系的 Z_e 轴与视线平行, Z_e 轴正方向与视线方向一致;视点 to 投影平面(与 Z_e 轴相垂直的平面)的距离为 D ;并规定 X_e 轴在用户坐标系 $Z_w = c$ 的平面内, Z_e 轴从视点指向用户坐标系原点;世界坐标系定义为右手坐标系,观察坐标系定义为左手坐标系,则两坐标系间的关系如下:

$$\begin{aligned} (X_e, Y_e, Z_e, 1) &= (X_w, Y_w, Z_w, 1) \cdot T \\ T &= \begin{pmatrix} -b/lu & -ac/hv & -a/lu & 0 \\ a/hv & -bc/hv & -b/lu & 0 \\ 0 & v/lu & -c/lu & 0 \\ 0 & 0 & u & 1 \end{pmatrix} \end{aligned} \tag{1}$$

式中, $(X_e, Y_e, Z_e, 1)$ 和 $(X_w, Y_w, Z_w, 1)$ 分别为三维点在观察坐标系和世界坐标系下的坐标 $v = \sqrt{a^2 + b^2}$; $u = \sqrt{a^2 + b^2 + c^2}$ 。

完成世界坐标系到观察坐标系的变换后,应进行透视变换及屏幕坐标变换。为了得到三维形体的透视投影图,还必须将三维形体投影到投影平面上,而要在投影平面上表征投影图必须建立一个在投影平面上的二维直角坐标系,常称为屏幕坐标系。如图 1 所示,该坐标系以 Z_e 轴与投影平面的交点为原点,其水平轴 X_s 为平行于观察坐标系的 X_e 轴,其垂直轴 Y_s 平行于观察坐标系的 Y_e 轴,则在观察坐标系空间任一点 $P_e(X_e, Y_e, Z_e)$ 在屏幕坐标系中的投影点为 $P_s(X_s, Y_s)$,其公式如下:

$$\left. \begin{aligned} X_s &= \frac{D \cdot X_e}{Z_e} \\ Y_s &= \frac{D \cdot Y_e}{Z_e} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

考虑到常见的屏幕坐标系,利用数学转换手段,可以得到如下一般形式:

$$\left. \begin{aligned} X_s &= V_{cx} + k \cdot D \cdot X_e / Z_e \\ Y_s &= V_{cy} - k \cdot AR \cdot D \cdot Y_e / Z_e \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

式中, V_{cx}, V_{cy} 为屏幕中心坐标; AR 为屏幕的长宽比; k 为空间单位距离所对应的屏幕坐标点数。

1.2 光照模型

当光照射在某一物体表面时,它可能被吸收、反射或折射。其中入射到物体表面上的一部分光能够被吸收转化为热,其余部分被反射和折射,正是由于反射或折射部分的光使物体可见。从物体反射出来的光决定于光源中光的成分、光线的方向、光源的几何性质以及物体表面的朝向和表面性质等等。光照模型用于计算确定由图像中的每一点(像素)射到观察者眼中的光强。光照模型可以分为局部光照模型和整体光照模型,前者考虑是物体表面对直接光照的反射和折射;后者除考虑是物体表面对直接光照的反射和折射外,还考虑了物体间的光的相互作用,这两种模型可根据具体情况选用。

1.3 消隐处理技术

消影算法是决定相对于空间给定位置的观察者,哪些线、面或体是可见的,哪些是不可见的。消隐不仅与消隐对象,还与观察物体的方式,即投影方式有关。随着观察点、观察方向或投影面的改变,形体上某些可见的部分将会变成不可见,某些不可见的部分将会变成可见。所有消隐算法都涉及到排序,一般说来,先对那一个几何坐标进行排序对算法的效率是无关紧要的。因此,为了确定消隐对象之间的遮挡关系,通常在 X, Y, Z 三个方向上进行排序,一般先在 Z 方向排序,后在 X, Y 方向上进行,并确定体、面、边、点相对于观察点的距离,以确定遮挡关系。按距离排序是基于一个物体离观测点愈远,它愈有可能被另一距观测点较近物体部分地遮挡或全部遮挡的前提下进行的。消隐算法的效率在很大程度上取决于排序的效率。通常利用连通性,即画面的性质在局部区域内保持不变的倾向来提高排序过程的效率。

深度缓存算法是一种最简单的面消隐算法,属于图象空间消隐算法。但这种算法需要一个深度缓存数组 ZB 来记录物体的长度,数组的大小与屏幕上像素点的个数相同。其算法的最大优点在于简单,它可轻而易举地处理隐藏面以及显示复杂曲面之间的交线,缺点是需占用大量存储单元。多边形区域排序算法是将线消隐和面消隐结合起来的一种物体空间的消隐算法。其基本思想是:在规格化图象空间中,将多边形深度值 Z 自小至大排序,用离视点近的可见多边形去切割其后面离视点远的多边形,使得最终每一个多边形要么是完全可见,要么完全被遮挡,不可见。列表优先算法是介于物体空间与图象空间的一种消隐显示算法。算法约定距视点近的优先级高,距视点远的优先级低。算法首先按多边形离视点的远近进行排序,建立一张优先级表。然后在生成图象时,优先级低的多边形先画,优先级高的多边形后画,这样,后画上去的多边形自然就会将先

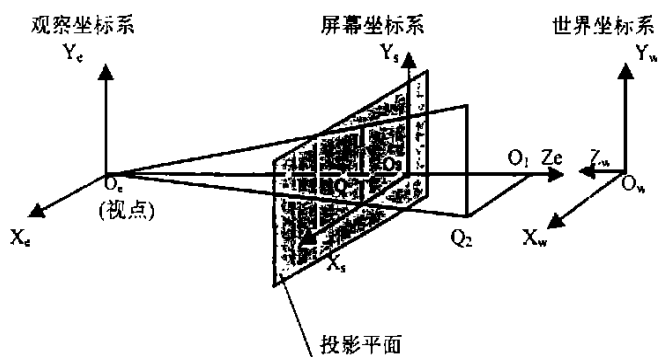


图 1 各坐标系之间关系

画上去的多边形遮住,从而达到消隐的效果。

1.4 抗走样技术

众所周知,走样的产生是因为直线、多边形边、彩色边界等都是连续的,而光栅则是由离散的点组成。为了在光栅显示设备上表现直线、彩色边界等,必须在离散点上采样,由于采样的频率过低,这可能导致绘制失真或称走样,走样现象影响图象的质量,降低了图象的真实感。就目前而言,可以采用两类抗走样技术。一类是提高采样频率。这种方法看起来去掉走样现象,但实际上,只不过是用模糊的方法淡化了走样现象。其缺陷是:技术上,增加分辨率会受到各种因素限制;理论上,由于图象频谱可以扩展到无限,所以无论如何增加采样频率都不能彻底解决走样问题,它只能降低走样现象。另一类是把像素作为一个有限区域,而不是作为一个点来处理。它的理论基础是采用卷积积分的数学方法。为了实现反走样,需对图形信号作含核的卷积,其结果可用于确定像素的属性。

1.5 纹理映射技术

在现代测量领域中,例如测量汽车车身、飞机和船舶的外形、大型文物外表等,为了逼真地利用测量数据显示物体的形状,需要对物体的表面细节(计算机图形学中称为纹理)进行描述并表示出来。纹理映射是生成纹理的一个重要技术。当在光滑表面上描绘图案花纹时,若图案花纹绘出之后,其表面仍然为光滑表面,这一过程可用一映射函数来处理;当在表面上呈现出凹凸不平的纹理时,这类纹理可以看成是由于物体表面的几何特性发生了细微的变化而形成的,这一过程可用一个扰动函数处理。由于扰动量较小,不会影响原有表面的大致形状,但足以在物体表面产生明显的粗糙视觉效果。

在纹理映射技术中,最常见的纹理是二维纹理。映射将这种纹理变换到三维物体的表现上,形成最终的图象。对于有规律的纹理图案,可用数学方法简单地予以描述成纹理函数,对于无规律的纹理图案,很难找到相应的数学函数,这时,常用数字化图象(二值图象、彩色图象等)表示二维纹理,用双线性插值法可以在纹理图象上构造近似的纹理函数。纹理映射是要设计一个映射函数 $F()$ 使得 $(u, v) = F(x, y, z)$, 其中, (x, y, z) 为被映射物体的坐标(通常在物体空间中定义); (u, v) 为纹理域中的坐标。最常用的纹理映射函数是圆柱映射函数和球映射函数。对于那些不是球或圆柱的纹理映射可采取各种策略(如两步映射法、逆映射法等)来处理。

应当指出的是,纹理映射同样存在走样问题。纹理映射中最常见的一种抗走样方法是 mip 映射,它实质上是空间可变滤波器的一种近似。其最大特点是计算时间与象素的映射域(正方形)的大小无关。

2 体绘制技术

体绘制的目的就在于提供一种基于体素的绘制技术,实际上是三维数据场重够技术。它利用三变量函数的采样数据使该函数可视化,这些采样数据叫做体数据。其独特之处在于要绘制的数据是真实数据,而不是用数字方法定义的数据,这是传统的曲线或曲面造型方法所无法表示的。体绘制技术包括数据的表示、操作和绘制等内容,其具体作法是根据数据点值对每一数据点赋以不透明值和颜色值,再根据各数据点的梯度及光照模型计算出各数据点的光照强度,然后将投射到图象平面中同一象点的各数据点的透明度和颜色值综合,形成最终的图象数据。

体光照模型是体绘制技术的基础。它是用数学模型来描述光线通过体素时光强变化,提供了

体数据中各数据点光照强度的计算方法。在目前体绘制技术中,采用得最多的有源-衰减模型、变密度发射模型、材料分类及组合模型等。前两者从物理角度出发,找出光线穿过体空间时的光强趋势,后者从分割的角度出发,找出光线在介质内和两种介质间的光强变化。

体绘制所处理的对象不再是曲线、曲面等几何对象,而是一个标量场,用常规的绘制方法难以表达。根据表现的重点不同,已发展出许多体绘制算法。主要有两种即体光线跟踪法及体单元投影法,这些算法适用于正规网格空间中的数据。对于非正规化网格空间数据集必须通过三维扫描变换将其转换成正规化网格空间中的数据集。一个正确的三维扫描变换要满足保真性、连通性和高效率三个要求。

体光线跟踪法是以图象空间为序的一种体绘制方法,如图 2 所示。它从屏幕上的每一像素点出发,根据设定的视点方向,发出一条射线,这条射线穿过三维数据场的体素矩阵,沿这条射线选择 K 个等距采样点,由距离某一采样点最近的 8 个体素的颜色及不透明度值做三维线性插值,求出采样点的不透明度及颜色值。在求出该条射线上所有采样点的颜色值及透明度值以后,可以采用由后到前或由前到后的两种不同方法将每一采样点的颜色及不透明度进行组合,从而计算出屏幕上该像素点处的颜色值。按照所采取的技术手段不同,其算法主要有光线投射的体绘制算法、优化光线投射体绘制算法、X 光线跟踪算法等。

体单元投影法是以对象空间为序的一种体绘制方法,如图 3 所示。它从对象空间的三维数据场出发,依次计算每个数据点对屏幕上各像素点的贡献,将同一平面和不同平面上各数据点对各像素点光亮度的贡献合成起来得到最后的图象。

3 结束语

在现代测量数据可视化技术中,为了实现几何数据至图像数据的转变,必须进行绘制技术研究,它是可视化技术的又一个重要方面。作者根据现代测量数据特点,所介绍的绘制技术的几个关键算法,特别是体绘制技术,为测量数据可视化提供了技术基础。

参考文献

- 1 石教英,蔡文立.科学计算可视化算法与系统.北京:科学出版社,1996
- 2 [美]D. F. 罗斯著,梁友栋,石教英,彭群生译.计算机图形学的算法基础.北京:科学出版社,1987

作者简介: 花向红 武汉测绘科技大学地学测量工程学院副教授,现从事工程测量数据处理技术及专用仪器设备的研究。发表论文二十余篇,其中“北京正负电子对撞机注入器复测分析”一文获 1997 年度湖北省自然科学优秀论文一等奖,参加科研项目成果获国家测绘科技进步二等奖两项。

地址: 武汉市珞瑜路 129 号; 邮编: 430079

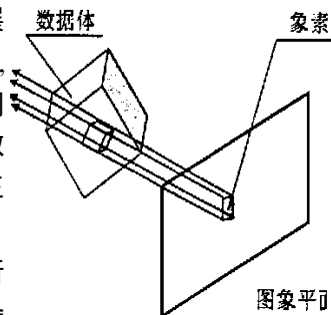


图 2 图象空间的体绘制算法

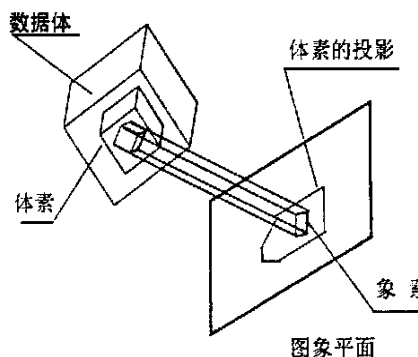


图 3 对象空间的体绘制算法