

遥感影像三维可视化研究

张顺谦

(四川省农业气象中心,成都 610071)

摘要 利用 DEM 高程资料实现遥感影像的三维显示可大大提高遥感监测产品的使用价值,而商用软件成本高操作繁琐普及困难。利用计算机图形学知识和 Delphi 编程语言,开发了一套遥感影像三维可视化软件。对在开发过程中遇到的有关 DEM 数据的裁剪与拼接、图像配准、地表模拟、透视变换、消隐处理、光照和阴影效果以及颜色变换等问题的解决方案和实现方法作了简要的介绍。

关键词 遥感 三维可视化 地表模拟

引言

商用三维可视化 GIS 软件,一般采用高效算法,可以单独使用 DEM 资料生成数字高程图或地貌晕渲图,或与黑白(彩色)图像、向量地图等叠合进行三维显示和模拟飞行鸟瞰效果,可以调整透视参数,编辑飞行路径,飞行过程可存成 JPEG 等电影格式文件进行播放,这类软件包括 ERDAS 的 Virtual GIS、PCI 的 Fly 以及 ESRI 的 ARCView 中的 3D Analyst 等。但这类商业软件一方面因要对资料格式反复进行转换而造成应用上的诸多不便,另一方面因价格昂贵而无法普及,因此目前国内绝大多数遥感应用产品^[1]都是二维平面图像,反映不出地形的起伏和地貌的变化,影响了产品的服务效益。为此,我们利用计算机图形学知识和 Delphi 编程语言,开发了一个遥感影像三维透视软件,本文就开发过程中遇到的有关 DEM 数据的裁剪与拼接、图像配准、地表模拟^[2]及透视变换、消隐处理、光照和阴影效果^[3]等问题的解决方案和实现方法作一介绍。

1 DEM 数据的裁剪与拼接

国家基础地理信息数据库 1:25 万地面高程资料按东西间距 1.5°南北间距 1°的方式分幅存放,资料分辨率为 3",要获取某行政区域内的 DEM 资料,必须对图幅进行裁剪和拼接,其方法是:将行政边界

按 DEM 资料的分辨率绘制在屏幕上,并在边界内外着上不同的颜色,然后根据每个像素点的颜色值确定其是在区域内还是在区域外,并分别用 1 和 0 进行标识,从而生成一个由 0 和 1 组成的行政区域标识文件。行政边界点绘制转换公式为:

$$x = (\lambda - \lambda_0) / s$$

$$y = -(\varphi - \varphi_0) / s$$

式中 x, y 为边界绘制点的屏幕坐标, λ, φ 为边界点的地理经纬度, λ_0, φ_0 为行政边界外框左上角的地理经纬度, s 为放大系数,即 DEM 资料的分辨率,它等于 3"。

在裁剪和拼接过程中,对每幅 DEM 数据,去掉行政区域外接矩形框外的资料,对框内资料,根据区域标识文件,保留标识为 1 的点的高程资料,标识为 0 的点的高程资料赋 0,经过这样的处理后便可生成只包含区域内点高程资料的区域 DEM 数据文件。

2 图像配准

遥感影像投影方式包括等经纬间距投影、兰勃特投影、麦卡托投影、极射赤面投影等,由于 DEM 资料是等经纬间距网格资料,为问题的简单起见,遥感影像采用等经纬间距投影。但是,遥感影像的空间分辨率为 1000 m,即 0.01°,而 DEM 资料的空间分辨率为 3",两者相差 12 倍,为了使两者的分辨率一致,要么将 DEM 资料在经纬度方向分别按照每

隔 12 个点抽取一个点的方法抽样成 0.01° 空间分辨率, 要么将遥感影像资料采用双线性插值法重采样成 3" 空间分辨率。

3 地表模拟

DEM 高程资料是一组正方形网格格点数据, 为了模拟连续的地表起伏变化, 将每个正方形沿对角线剖分为两个三角形, 用每个三角形 3 个顶点所在的地面点连成的三角面模拟该三角形所围区域的地面, 将所有这样的三角面连接起来即可模拟整个地面。

4 透视变换

图 1 为眼坐标下的一点透视。

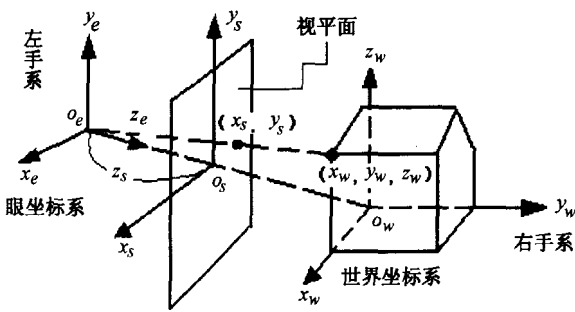


图 1 眼坐标系下的一点透视

如图 1 所示, 设在世界坐标系中视点坐标为 (a, b, c) , 地面某点的坐标为 (x_w, y_w, z_w) , 变换到眼坐标系中的坐标为 (x_e, y_e, z_e) , 经透视投影到视平面上的坐标为 (x_s, y_s) , 视平面在观察方向上离视点的距离为 z_s , 设 $u = (a^2 + b^2 + c^2)^{1/2}$, $v = (a^2 + b^2)^{1/2}$, 则透视投影变换公式为:

$$\begin{aligned}
 x_e &= -b/vx_w + a/vy_w \\
 y_e &= -ac/(uv)x_w - bc/(uv)y_w + v/uz_w \\
 z_e &= -a/ux_w - b/uy_w - c/uz_w + u \\
 x_s &= x_e z_s / z_e \\
 y_s &= y_e z_s / z_e
 \end{aligned}$$

视点的变化可实现从不同的方向和高度观察地面, 如要保持透视图像的正形效果, 即保持图像的南北方位不变, 则视点应处在 XZ 平面内; 视点高度 c 和视平面离视点距离 z_s 的大小共同决定透视图像的三维效果, 一般说来, 视点越低, 视平面越近, 透视三维效果越强; 另外, (x_w, y_w) 坐标不是地理经纬度坐标 (λ, φ) , 而是地理坐标系统 Z 轴顺时针旋转 90°

后的新坐标系中的 X, Y 坐标。

视平面窗区的坐标原点在左下角, 而屏幕视区的坐标原点在左上角, 其变换过程是: 假设视平面中透视投影图形外围边框四条边分别为 w_l (左边框)、 w_r (右边框)、 w_b (底边框)、 w_t (顶边框), 变换到屏幕坐标系后对应的四条边框分别为 v_l, v_r, v_b, v_t , 如图 2 所示, 则视平面上的点 (x_s, y_s) 对应屏幕坐标系中的点 (x_p, y_p) , 其变换公式为:

$$\begin{aligned}
 x_p &= (v_r - v_l) / (w_r - w_l) (x_s - w_l) + v_l \\
 y_p &= (v_t - v_b) / (w_t - w_b) (y_s - w_b) + v_b
 \end{aligned}$$

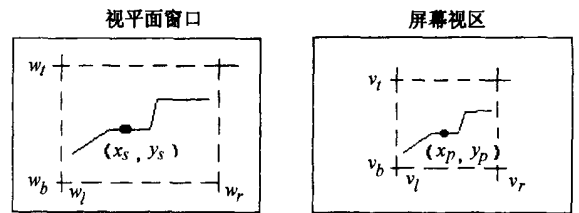


图 2 视平面窗区与屏幕视区的对应关系

5 消隐处理

当用光栅图形显示器显示立体图像时, 必须解决消除隐藏面的问题, 常用的消隐算法包括: 画家算法、Z 缓冲区算法、扫描线算法和区域采样算法。本研究采用的是扫描线算法, 它使用帧缓冲区 fbuffer 和 Z 缓冲区 zbuffer 分别存放扫描线上各像素的颜色值和深度值, 对每条扫描线先计算出它与物体各面的相交区间, 当两个区间在深度方向上重叠时, 采用深度测试法确定可见部分, 深度浅者在前可见, 深度深者在后被挡不可见。其算法流程是:

```

“for ( 各条扫描线)
begin
扫描线帧缓冲区 fbuffer 置成背景色;
扫描线 Z 缓冲区 zbuffer 置成最大值;
for( 各个三角面)
begin
求出该三角面与当前扫描线的相交区间;
for( 区间内各点)
begin
if( 该三角面在该投影点的 Z 值小于 zbuffer 在该处的值)
begin
用该三角面在该投影点的 Z 值取代 zbuffer 在

```

该处的值;

用该三角面在该投影点的颜色值取代 fbuffer 在该处的值;

end

end

end

用 fbuffer 内容显示当前扫描线;

end”

6 光照和阴影

用光栅图形显示器显示立体图像时,不仅要判断物体之间的遮挡关系,还必须处理物体表面的明暗效应,以使用不同的色彩灰度来增强图像的真实感。

从某个点光源(太阳)照射到物体表面(地面)上一点再反射出来的光包括泛光、漫反射光和镜面反射光 3 个部分,泛光可表示为: $I = K_a I_a$,漫反射光表示为: $I = K_d I_l \cos \theta$,镜面反射光表示为:

$$I = K_s I_l \cos^n \alpha$$

其中 K_a, K_d, K_s 是与物体表面性质有关的常数, I_a 为入射的泛光光强, I_l 为光源光强, θ 为入射光与表面法向量的夹角, α 为视线与反射方向的夹角, n 表示反射面的粗糙度。

在具体计算中,一般不用 $\cos \alpha$,而使用点积 $N \cdot H$ 。其中 N 是物体表面法向量, H 是 L 与 E 的平均向量再单位化,即: $H = (L + E) / |L + E|$,如图 3,而 $\cos \theta$ 用下式计算: $\cos \theta = L \cdot N / (|L| |N|)$ 。其计算方法是:先计算出各三角面顶点处的法向量,再根据上述光强计算式计算出顶点处的光强,然后用扫描线间线性插值增量算法计算出三角面上其余各点的光强。顶点处的法向量可以通过对周围三角面的法向量求平均值获得,而三角面的法向量可通过下式计算:

$$A = \begin{vmatrix} y_1 & z_1 & 1 \\ y_2 & z_2 & 1 \\ y_3 & z_3 & 1 \end{vmatrix} \quad B = \begin{vmatrix} z_1 & x_1 & 1 \\ z_2 & x_2 & 1 \\ z_3 & x_3 & 1 \end{vmatrix}$$

$$C = \begin{vmatrix} x_1 & y_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & 1 \\ x_3 & y_3 & 1 \end{vmatrix}$$

式中 $(x_1, y_1, z_1), (x_2, y_2, z_2), (x_3, y_3, z_3)$ 分别是三角面上 3 个顶点的坐标, (A, B, C) 经过单位化后

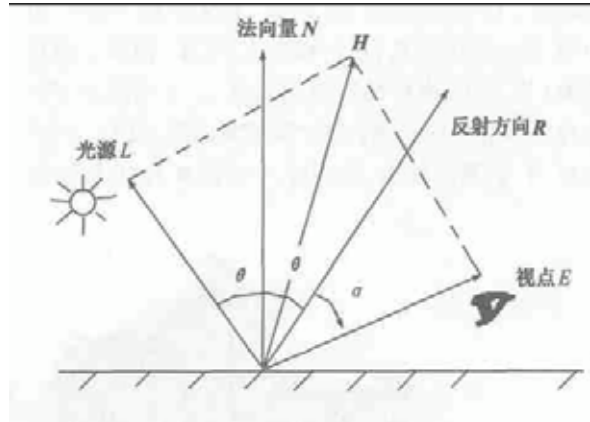


图 3 向量关系示意图

即为该三角面的法向量。下面介绍扫描线间线性插值增量算法。图 4 给出明暗度的线性插值示意图。

如图 4,假设三角面 3 个顶点的光强已经算出,分别为 I_A, I_B, I_C ,现有一条扫描线与三角形交于 L 和 R ,现要计算 $[L, R]$ 间各点的光强。令:

$$\Delta y_{AB} = B \text{ 点 } y \text{ 坐标} - A \text{ 点 } y \text{ 坐标}$$

$$\Delta I_{AB} = (I_B - I_A) / \Delta y_{AB}$$

ΔI_{AB} 实际上是 AB 边上两条扫描线间的光强增量,即下一条扫描线在 AB 边上交点处的光强等于当前扫描线在 AB 边上交点处的光强加上 ΔI_{AB} ,从而可以由 I_A 通过增量算法得到 L 处的光强 I_L ,同理,可以定义 AC 边上的光强增量 ΔI_{AC} ,并由 I_A 通过增量算法得到 R 处的光强 I_R ,再令:

$$\Delta x_{LR} = R \text{ 处的 } x \text{ 坐标} - L \text{ 处的 } x \text{ 坐标}$$

$$\Delta I_{LR} = (I_R - I_L) / \Delta x_{LR}$$

ΔI_{LR} 实际上是区间 $[L, R]$ 像素间的光强增量,即若 P 处的光强是 I_P ,则下一像素的光强是 $I_P + \Delta I_{LR}$,从而可以由 L 处的光强 I_L ,通过增量 ΔI_{LR} ,计算出 $[L, R]$ 间各像素的光强。

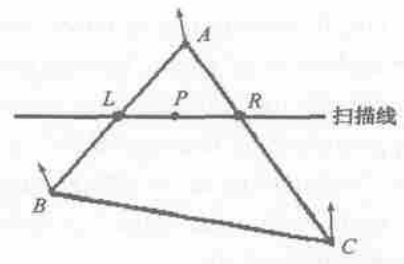


图 4 明暗度的线性插值示意图

由于遥感专题图常常是彩色合成图,因此在阴影处理过程中,除对光强进行处理外,还要对颜色进

行处理,其处理方法是:将区域内各点的颜色由 RGB 表示法转换成 HLS(即色彩、亮度、饱和度颜色模型)表示法,将转换所得的亮度 L 与用前述方法求得的该点处的光强 I 叠加得到新的亮度值 L' ,再将色彩 H 、新的亮度 L' 、饱和度 S 转换成 RGB 模型进

行显示。

7 图例

图 5 是用上述方法制作的四川省阿坝州三维地形图。

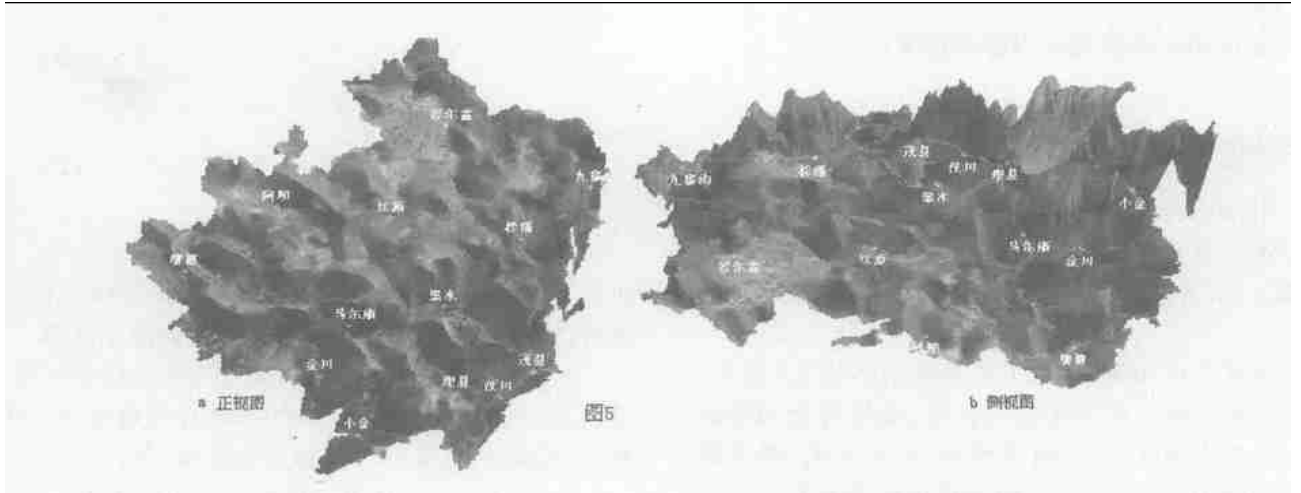


图 5 四川省阿坝州地形图(a 正视图, b 侧视图)

8 结语

本研究实现了遥感影像的三维显示,但算法还有待改进,以提高性能和速度,目前在 P III700 254 M RAM 计算机上制作一张 1 km 分辨率 500 × 500(像素)大小的三维遥感影像图大约需要 1 min。另外,系

统功能还有待增强,如增加飞行鸟瞰效果等。

参考文献

- 1 董超华. 气象卫星业务产品释用手册. 北京:气象出版社,1999
- 2 鄂伦,刘瑜,张晶,等. 地理信息系统——原理、方法和应用. 北京:科学出版社,2001
- 3 孙家广,杨长贵. 计算机图形学. 北京:清华大学出版社,1998

3D Visualization of Remote Sensing Images

Zhang Shunqian

(Sichuan Provincial Agricultural Meteorological Center, Chengdu 610071)

Abstract: The 3D visualization of remote sensing images was realized by means of DEM data, which greatly improved the application of remote sensing products; however, those commercial software are costly, inconvenient to use and difficult to popularize, so a program of 3D remote sensing image visualization was developed by using the Delphi programming language based on computer graphical principles. The solutions and realizing methods for problems encountered in practice are introduced, such as cutting and the join-together of DEM data, image matching, earth surface simulation, perspective counterchange, black-out processing, effects of illumination and shadow, color change, etc.

Key words: remote sensing, 3D visualization, surface simulation