

文章编号: 0494-0911(2011)07-0042-04

中图分类号: P284

文献标识码: B

面向光栅介质的立体地形景观生成方法

朱新颖¹, 孙敏², 苏文英³, 徐鸿至¹

(1. 中国矿业大学(北京)地球科学与测绘工程学院, 北京 100083; 2. 北京大学遥感与地理信息系统研究所, 北京 100871; 3. 中国测绘学会, 北京 100048)

A Method of Compositing Stereo Terrain Scene for Lenticular Screen

ZHU Xinying, SUN Min, SU Wenyong, XU Hongzhi

摘要:提出一种基于单张地形影像及其对应的数字地形模型,采用光栅制作生成裸眼可以观察的立体地形景观模型的方法。该方法采用三维透视变换原理,结合重采样算法,可以得到任意多幅可满足立体观察的影像。试验表明该方法简便有效,可满足实际生产需求。

关键词:立体地形景观;光栅介质;数字地形模型

一、引言

尽管影像可以直观地反映出现实场景的三维信息,但它的内容在二维平面上,其所反映的场景空间信息主要是由人眼观察色彩与形状的变化效果,结合大脑的认知能力来获取的。与现实场景中的三维感知相比,二维影像所能反映的直观感较差,如沙盘与影像地图的差异就是如此。

因此,在GIS中,为了得到较好的三维显示效果,以地形显示为例,研究人员提出了多种方法,如写景法(scenography)、地貌晕翁法(hachure)、地貌晕渲法(shading)、分层设色法(layer tinting)等方法^[1],但这些都并非真实的三维地形展示。

近年来,3D GIS发展迅速,它可以在计算机中模拟现实三维场景,甚至可以提供非常逼真的现实场景描述。但计算机屏幕是二维平面,三维场景在动态过程中才具有较好的效果。所以,一般在军事应用中,甚至在一些大的工程项目中,用户仍然偏好使用沙盘。然而大型的沙盘制作具有两方面的缺点:① 费时费力且成本高;② 更新困难。

针对此类问题,结合近年发展迅速的光栅技术,本文提出一种基于光栅的立体地形景观制作方法。其优点在于成本低、制作简便且更新速度快。

二、相关研究现状

可以满足裸眼观察的显示技术,称为自由立体显示技术,目前这方面的技术主要有4类:基于视差

挡板的自由立体显示技术、基于柱镜光栅的自由立体显示技术、三维显示技术、全息技术^[2]。

以上几类立体显示技术主要是针对计算机立体显示器研发的技术,虽然具有较好的三维显示效果,但成本高昂,目前这些技术仍处于不断完善当中。而配套使用立体眼镜进行观察的显示技术目前完全成熟,如现有大量商业电视、大型立体投影设备等,但这些设备在日常科研中使用并不简便。

随着立体显示硬件技术的不断成熟,与之相对应的立体显示软件技术也受到广泛关注。因为传统的二维影像,并不能直接在立体显示器中看出立体效果,至少需要两张具有视差的影像才可以呈现出立体效果。通常简便的做法是,使用双镜头相机或录像机直接获取具有视差的两张影像对或两个影像流,但有时这种简便的方法并不易实现。以地形影像的获取为例,目前搭载立体相机的卫星与航空平台并不多,因而所获取的大量影像是单视的。当然可以采用摄影测量方法得到立体像对,但事实上,两张影像构成的立体像对在很多时候仍然不能满足立体显示的需求。最佳的立体显示条件是具备一个序列影像,每张影像均是由观察点均匀移动摄影得到的。考虑到硬件成本问题,本文提出一种基于光栅介质构建立体地形景观的方法,针对单张影像不能构建立体的问题,提出相应的解决方法。

由于成本低廉,制作简便,近年来基于光栅介质的立体画制作技术发展迅速。为了获取序列立体影像,现有的方法是通过大量的人工交互制作出

收稿日期: 2011-06-09

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40971240);中央高校基本科研业务费专项资金(研究生科研专项)资助(2010YD13)

作者简介: 朱新颖(1986—),女,河北霸州人,硕士,主要研究方向为基于影像序列的三维重构。

具有不同深度的序列影像再进行合成。但对于地形景观的制作而言,目前的方法存在两方面的问题:①人工勾画深度不够准确;②制作速度太慢,较大幅面的立体画需要数月才能完成。本文提出软件自动制作的方法可以解决这两方面的问题。通过使用单张地形影像及其对应的数字地形模型(DEM),自动生成可以肉眼观察的立体地形景观模型。该方法可以生成任意多幅视差图,用计算机进行抽样、合成,最终生成光栅影像图。试验证明,该方法只需数十秒,且光栅成本低廉,制作好立体画后方便携带,不受场所限制,因此具有很好的发展前景。为便于全面了解立体地形景观的制作方法,首先阐述光栅立体显示技术的原理。

三、光栅立体显示技术原理

近年来兴起的立体画制作涉及的是一种自由立体影像合成技术,其特征不在于需要借助任何仪器或工具,也不需要训练,一眼就能直接看到并欣赏的立体影像,是一种真正的立体视觉技术,能真实地展示地形的高低起伏。其原理主要是柱镜光栅成像原理,现简述如下。

1. 柱镜光栅成像原理

柱镜光栅表面由许多结构参数和性能完全相同的小半圆柱透镜线性排列组成,每个柱透镜元在与其排列相垂直的方向上不起作用,在水平方向上相当于汇聚透镜,起聚光成像的作用,使其对影像具有“压缩”和“隔离”作用。柱镜光栅能将不同角度拍摄到的影像以条纹状态记录在同一张影像上,然后利用同一种柱镜光栅观看,使人看到同一景物的两个不同的像,产生立体视觉。如图1所示,详见文献[3]。

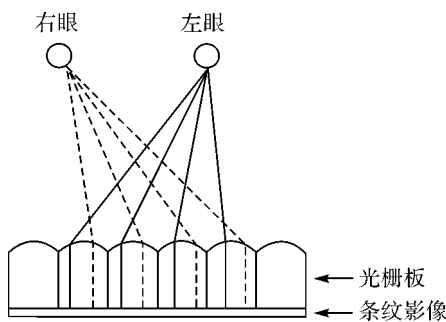


图1 柱镜光栅板成像原理示意图

2. 多像合成方法

目前多像合成方法有两种:通用图像处理软件法和专用软件生成法。通用图像处理软件法是指在Photoshop等图像处理软件中,手工分割影像序列

中的每一帧,然后再拼合成所需的光栅影像,该方法原理简单,但操作较麻烦;专用软件生成法是根据光栅影像的制作原理编写软件程序,通过读取多幅视差序列影像直接生成一幅光栅影像^[4]。具体合成方法如图2所示,首先按照影像尺寸大小(实际为其像素数多少),对每幅影像进行纵向条状分割编号;然后按照拍摄时影像所居位置次序将同样编号的影像条依次顺序排列,形成一幅新的包含立体信息的条纹影像;最后根据覆盖光栅的栅距大小,对合成的立体影像进行缩放,使得每一组影像条(如图2中的11、21、31)占满在一个栅距内,详细过程见文献[5]。

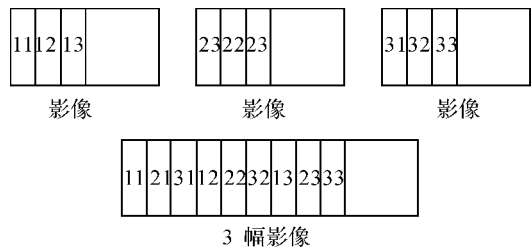


图2 多像合成示意图

四、基于投影变换的序列影像生成方法

为了得到具备立体观察条件的序列影像,对于现实场景而言,获取这样的序列影像必须使用相机沿垂直于视线的水平方向均匀间隔移动相机进行拍摄。然而,目前在通常情况下仅有单张影像,笔者提出使用与该影像对应的DEM来解决这一问题。

在具备影像及其对应的DEM的条件下,有两种途径可以实现序列影像的获取:①采用三维可视化方法;②采用直接投影变换的方法。

1. 序列影像的三维可视化生成方法

在具备影像与其对应的DEM的条件下,三维真实地形景观的生成是构建三维地理信息系统(3D GIS)的基础性工作。通常分为4步:首先,使用DEM进行地形表面的建模,通常采用格网或三角网方法,对于数据量大的情形需要进行快速简化算法处理;其次,使用影像进行纹理映射,以增强其景观真实感;再次,需要进行三维场景的视点变换以及三维到二维的变换处理;最终,用户才能看到屏幕上的三维地形景观效果图。

按该过程构建的三维地形景观虽然在浏览过程中具有立体效果,但其本质上仍是二维的,是由一系列绘制在计算机屏幕上的二维平面图像构成的。为了在此基础上得到具备沉浸感的立体效果,通常采用红绿或偏振光分通道显示的方法。但其

结果只能在计算机或投影屏幕上观看,目前均需要借助立体眼镜才能观察到立体效果。本文方法中,为了得到裸眼可以观察到的立体,必须得到一系列具备立体观察效果的影像。

因此,简便的做法是将3D GIS中构建的三维地形景观进行拷屏得到影像。但为了得到满足立体观察效果的影像序列,则必须按如下方法进行。

设 M 是三维地形景观上的一点,为了将其显示在屏幕上,必须进行三维到二维的投影变换。设三维地形景观的世界坐标系原点在 $(0, 0, 0)$ 处,而观察者的视点位于位置 $T(t_x, t_y, t_z)$,视点相对于世界坐标系的三轴还可能三维自由度的旋转,表示为 $R(r_x, r_y, r_z)$ 。将三维场景投影到二维屏幕,其实质是一个成像过程,为简便起见采用相机内参数矩阵 K 表示这一过程, K 是由 $[f_x, f_y, 1]$ 组成的一个简单矩阵。

假设 M 在屏幕上的投影为 m ,则 m 可表达为 $m = K[R | T]M$ 。

在实际计算时, f_x 与 f_y 由观察视角与屏幕的长宽决定。为了得到满足立体观察效果的两幅影像,则视点需要在位置 t_1 与 t_2 处分别投影成像,除 R 应保持不变外, t_1 与 t_2 应满足: $t_{1x} - t_{2x} = d$,且 $t_{1y} = t_{2y}$, $t_{1z} = t_{2z}$, d 为给定的常数。为了得到一系列用于生成光栅立体的影像,则需要定义一个视点的观察序列,此序列的构成由 t_1 与 t_2 扩展得到。

该方法的优点是变换灵活,可以在现有3D GIS中的任意场景基础上构建满足立体成像序列的影像;缺点是需要拷屏处理,对于大于屏幕尺寸的场景,目前不便于处理。

2. 直接投影变换原理

基于可视化的方法,原则上应在3D GIS系统中进行,所以有一定的操作难度。而直接投影变换的方法,则是依据摄影测量理论,直接在影像与其对应的DEM原始数据上进行操作。在该方法中,笔者把DEM模型看做现实世界中的真实地形,具有三维信息特征,而其二维地形影像为用相机对其进行拍摄的结果,由此可以通过一幅地形影像与其对应的DEM影像,通过水平方向移动相机中心,得到一系列仅在水平方向具有视差的地形影像。

假设相机坐标系为世界坐标系,即其投影中心位于世界坐标系的原点,而其像平面被称为影像平面或聚焦平面。由于是直接变换,故旋转矩阵 $R = I$,同时由于不受屏幕尺寸影响, $f_x = f_y$,故直接取为 f 。同样,可以选取一个序列的平移量 $\{t_i\}$ 实现投影变换,假设DEM上的任一点为 M ,则该方法使用的

详细变换公式为

$$\begin{bmatrix} m_x \\ m_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & t_{ix} \\ 0 & 1 & 0 & t_{iy} \\ 0 & 0 & 1 & t_{iz} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M_x \\ M_y \\ M_z \end{bmatrix}$$

由于相机成像的变换过程为透视投影,对DEM的变形较大,为此,在算法中结合仿射变换原理,假设每一个像素点上方有一台相机,对该像素进行投影变换,由此得到一幅变形较小的DEM影像。

在假设每个像素点上方均有相机的情况下,由于序列影像的获取只需平移相机,可令 $t_{iy} = t_{iz} = 0$,故上式还可以简化。

该方法与可视化方法相比,其缺点是必须逐像素进行变换,对于超大图像,需要较多时间。因此,以上两种方法用户需按实际情况进行选择。

前面仅讨论了DEM的变换,而没有讨论影像的变换处理。事实上,影像的处理即是重采样的处理过程,下面予以讨论。

3. 影像重采样

直接变换法本质上接近于摄影测量中的微分纠正正解法,其结果影像可能会产生无像素值的裂缝,因此需要进行DEM插值处理,考虑到效果与处理算法的简便,本文通过比较几种算法,最后采用了反距离加权法进行插值^[6]。利用该方法内插出像素位置为空的点,即可得到一幅变换后的DEM影像。变换 t_{ix} 值即可得到多幅不同视角的视差序列,但欲得到任意多幅彩色地形影像,且确保无缝与最小的变形影响,笔者采用了微分纠正的反解法^[7],但反解法需要使用重采样算法,具体算法可参考文献^[8]。

五、试 验

为了验证本文方法的有效性,笔者对直接投影变换法进行了试验,因三维可视化方法在3D GIS中易于试验,故在此不再赘述。试验过程中,笔者选用了如图3所示的原始影像与其对应的DEM。

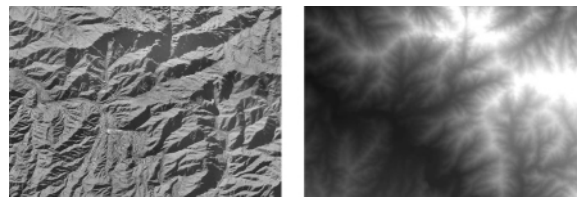


图3 原始影像与其对应的DEM

由于采用的介质是光栅板,因此进行影像变换之前需要了解光栅板的相关参数。在本次试验中,使用的光栅板参数为:光栅线数为25线/英寸;栅距

1.0 mm; 聚焦厚度 3.7 mm。此线数光栅板的立体感较强,距离 1 m 以外,光栅条纹基本看不到,能保持较高的清晰度和透明度。为了达到较高分辨率、较好的立体效果,生成了含 8 张影像的一个序列,并采用多像合成方法进行了合成。将合成后的光栅影像与柱镜光栅精确对位并紧密压裱,形成光栅立体影像图。

由于合成后的影像在论文中难以观察,图 4 给出了变换后的两张影像,为了更好地显示地形变换后的变化效果,对局部进行了放大显示。

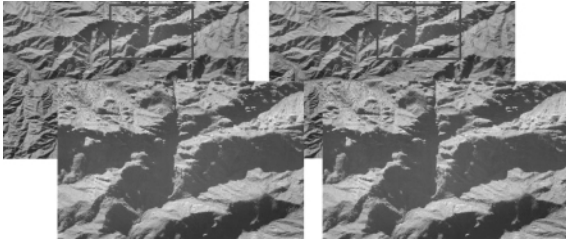
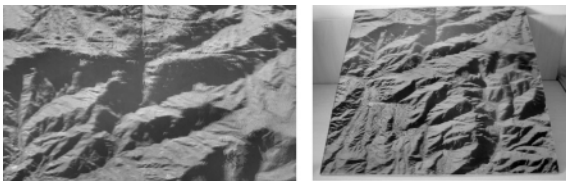


图 4 直接投影变换法得到的两张具备立体观察效果的影像(下部为方框内的局部放大)

为了显示立体效果,用其中两张影像合成了图 5(a) 中的红绿立体观察图,可以使用红绿立体眼镜进行观察,图 5(b) 为制作完成的光栅立体地形景观模型。



(a) 利用序列影像中的立体像对合成的红绿立体观察图(为局部放大图) (b) 基于光栅介质的立体地形景观模型

图 5

(上接第 39 页)

存储空间来换取影像浏览效率的做法,在很大程度上,它的确能够减轻服务器负担,大幅度提高浏览效率和速度,提升用户体验,是 WebGIS 服务器端非常适用的解决方案,因此,它的应用十分广泛并且成熟。但它也伴随着其他问题,如成指数倍增加的数据量,其更新的速度、效率和方式等,都是值得研究的问题,而影像瓦片金字塔的无缝组织也随着金字塔数据的剧增变得更为复杂。本文主要就海量的二调遥感影像数据的处理过程,来研究瓦片金字塔创建的关键思路和无缝实现的核心技术,并通过对这些瓦片数据的共享和发布进一步验证了瓦片式

六、结束语

本文研究了面向光栅介质的立体地形景观生成方法。提出了一种基于单张地形影像及其对应的数字地形模型,采用光栅制作生成可以裸眼观察的立体地形景观模型的方法。试验表明该方法可以较好地显示地形的高低起伏,人站在距其 1 m 以外即可看出立体效果,具有真实的立体感。该方法具有成图时间短、制作简单、成本低廉、方便携带、立体感真实、易更新等优势。但作为三维地形图的显示,仅具有地貌形态,还缺乏地形图符号、坐标系统、注记、比例尺等要素信息,因此笔者下一步将对这些方面进行研究。

参考文献:

- [1] 史香宾. 真实感三维地形可视化研究与实现[D]. 长春: 长春理工大学, 2008.
- [2] 何塞军. 基于柱镜光栅的多视点自由立体显示技术研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2009.
- [3] 陈君. 平面影像立体化技术及立体摄影中关键技术的研究[D]. 天津: 南开大学, 2005.
- [4] 史瑞芝. 光栅立体印刷技术综述[J]. 中国印刷与包装研究, 2009, 5(1): 1-9.
- [5] 董永贵, 晏思贤. 一种基于柱透镜光栅的计算机辅助彩色立体图片合成方法[J]. 光学技术, 1999(3): 66-68.
- [6] 詹蕾, 汤国安, 杨昕. SRTM DEM 高程精度评价[J]. 地理与地理信息科学, 2010, 26(1): 34-36.
- [7] 王佩军, 徐亚明. 摄影测量学[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2005.
- [8] 楼琬林, 黄韦良, 周长宝, 等. 遥感图像数据重采样的一种快速算法[J]. 遥感学报, 2002, 6(2): 96-101.

技术在信息共享平台建设中的重要作用,它确实能够有效地提高客户端的浏览速度,减轻服务器端负担和大量并发访问时对高网络带宽的需求。

参考文献:

- [1] 谭庆全, 毕建涛, 池天河. 一种灵活高效的遥感影像金字塔构建算法[J]. 计算机系统应用, 2008(4): 1-2.
- [2] 刘镇. 遥感影像瓦片金字塔模型[J]. 科技创新导报, 2008(6): 1-2.
- [3] 全斌, 刘二洋. 金字塔影像结构在影像匹配中的应用[J]. 测绘通报, 2010(3): 1-2.
- [4] 王卉, 王家耀. 无缝 GIS 的概念框架[J]. 测绘通报, 2004(10): 1-3.