

# 基于 GPS 空-地定位航空遥感中 地貌的三维显示\*

江月松 金东华 李树楷

(中国科学院遥感应用研究所 北京 100101)

**摘 要** 该文提出了具有 GPS(Global Positioning System)空-地定位模式的航空遥感中地貌的三维显示的新方法,并用此方法对实际航空遥感的结果进行了显示,结果表明,此方法对于显示和整理空-地定位航空多维遥感信息成果,具有多方位显示及简便易行的特点,能获得很好的显示质量。

**关键词** 三维显示, GPS, 空-地定位。

## 1 引 言

全球定位系统(Global Positioning System-GPS)的运营不仅使遥感信息对地定位成为可能<sup>[1]</sup>,而且在遥感由单项技术发展为集成型技术、由低维遥感信息获取发展为多维遥感信息获取成为可能<sup>[2]</sup>,相应地,如何直观地表示空-地定位遥感多维信息成果就成为必然要研究的课题。该文以国家 863 高技术项目“机载三维信息获取与(准)实时处理”技术系统为例,研究 GPS 空-地定位遥感多维信息地貌的三维显示问题。该技术系统是采用 GPS 空-地定位遥感模式,结合姿态测量传感器和测距-成像传感器来实时(准实时)获得地面任一点的三维位置及遥感影象灰度信息。为了使遥感的成果能明了、直观地表达出来,项目要求必须将获得多维遥感信息显示出来,其成果的三维显示是以激光扫描测距数据、GPS 定位数据、飞行姿态测量数据结合计算和处理而生成的高质量的数字地面高程模型(DEM)为基础,套合光机扫描地面成象数据在二维屏幕上显示而成的具有三维视觉效果的地貌图象。

地貌的三维显示,不少学者已进行了较多的研究。刘树楼等用轴测投影变换方法显示了三维地貌<sup>[3]</sup>,对于定量判读、表现地貌形态具有较好的效果。单根银等将常规的地质制图的立体图的绘制方

法编入书本<sup>[4]</sup>,但对于空-地定位遥感地貌的显示得不够充分。S.R.Yee 等则开发了一个通过利用结构光的三角测量来获取空间坐标的三维图象显示系统<sup>[5]</sup>,但此方法对于空-地定位遥感地貌显示不太适用。因此,为了体现 GPS 空-地定位遥感特色,我们在这里提出了不同于以往的地貌的三维显示方法,而是以 GPS 定位数据为出发点的地貌的三维显示,结果表明,所提出的方法简便易行,显示效果明了,直观,为空-地定位遥感成果的整理,分析和运用,提高空-地定位遥感成果的质量提供了有效的手段,同时对于建立地貌的整体概念、表现地貌方面具有明显的优点。

## 2 显示原理和算法

为了体现航空机载平台上, GPS 空-地定位遥感的情况,我们以机载平台上 GPS 定位数据为观察点来显示三维地貌,显然,飞机的位置不同, GPS 的定位数据就不同,对地貌的观察角度也就不同,则地貌的三维显示状态也就不同。

### 2.1 地貌的投影与显示坐标变换

如图 1 所示,设飞机在空中 G 点,由机载平台上 GPS 测出相对于被观察地貌的坐标系中观察点 G 处的位置为  $G(x_g, y_g, z_g)$ ,则由 G 点和坐标原点连线的直线为  $L\{m, n, p\}$ ,其方程为:

\* 该课题为 863-308“机载三维信息获取与(准)实时处理”项目中的研究内容,并获博士后基金资助。

收稿日期:1997年3月4日;收到修改稿日期:1997年4月14日

$$\frac{x_g}{m} = \frac{y_g}{n} = \frac{z_g}{p} \quad (1)$$

式中  $m, n, p$  为直线  $L$  的方向向量。地貌的三维显示就是将  $G$  点沿直线  $L$  向坐标原点看过去的地

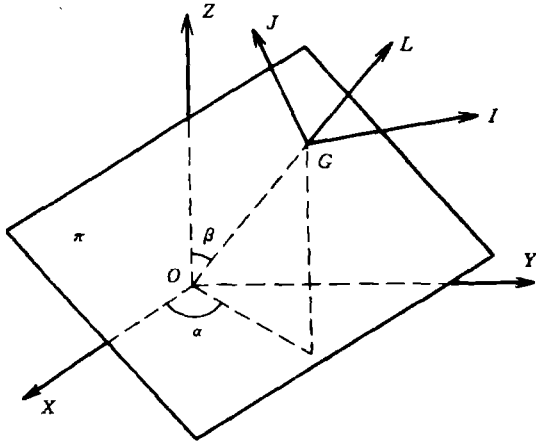


图1 地貌三维显示的投影坐标系

Fig.1 The projection coordinate system of three-dimensional display for landforms

貌情况显示在二维屏幕上,即是三维地貌形状投影到平面上,设投影平面  $\pi$  的点法式方程为:

$$Ax + By + Cz + D = 0 \quad (2)$$

式中  $A, B, C, D$  为  $\pi$  平面参数,它们为:

$$\begin{cases} A = m = -\frac{x_g}{D}, B = n = -\frac{y_g}{D}, C = p = -\frac{z_g}{D} \\ D = -(Ax_g + By_g + Cz_g) = -\sqrt{x_g^2 + y_g^2 + z_g^2} \end{cases} \quad (3)$$

确定了投影平面后,就可以将地表上各节点的 DEM 坐标投影到  $\pi$  平面上,为方便,我们采用平行投影法。设地表 DEM 中任一点节的坐标  $E(x_e, y_e, z_e)$ , 它们投影到  $\pi$  平面上相应的投影坐标为  $T(x_i, y_i, z_i)$ , 则根据空间解析几何中有直线的参数方程为:

$$\frac{x_i - x_e}{m} = \frac{y_i - y_e}{n} = \frac{z_i - z_e}{p} = q \quad (4)$$

即是  $E(x_e, y_e, z_e)$  的投影坐标  $T(x_i, y_i, z_i)$  为:

$$x_i = x_e + mq, y_i = y_e + nq, z_i = z_e + pq \quad (5)$$

式中  $q$  为直线  $L$  的参数,将(5)式代入投影平面方程(2)式并考虑到  $m^2 + n^2 + p^2 = 1$  可得  $q$  为:

$$q = -(mx_e + ny_e + pz_e + D) \quad (6)$$

因直线  $L$  的方向向量  $\{m, n, p\}$  与观察角度  $\alpha, \beta$  (图1)有如下关系:

$$m = \cos\alpha \cdot \sin\beta, n = \sin\alpha \cdot \sin\beta, p = \cos\beta \quad (7)$$

因此,飞机的飞行位置不同,GPS 的定位坐标  $G(x_g,$

$y_g, z_g)$  也就不同,从而直线  $L\{m, n, p\}$  的方向向量就不同,因此,对地形的观察角度也就不同。

计算机的屏幕显示是平面二维直角坐标系,而地表 DEM 某节点坐标在  $\pi$  平面上投影坐标  $T(x_i, y_i, z_i)$  是用三维坐标值表示该点所处的平面位置,因此,必须将(5)式所确定的三维投影坐标  $T(x_i, y_i, z_i)$  转换成显示坐标系的坐标值,为此,我们在投影平面  $\pi$  上取两直角坐标轴  $I$  轴和  $J$  轴(如图1)使  $I$  轴与  $XYZ$  坐标系中的  $Z = 0$  平面平行且  $I$  轴过  $G$  点并垂直于直线  $L\{m, n, p\}$ ,  $J$  轴过  $G$  点并垂直于  $L\{m, n, p\}$  和  $I$  轴。设  $I$  轴在  $XYZ$  坐标系中的方向向量为  $\{m_i, n_i, p_i\}$ , 根据上述关系,我们可得一组方程为:

$$\begin{cases} m^2 + n^2 + p^2 = 1 \\ m_i^2 + n_i^2 + p_i^2 = 1 \\ mm_i + nn_i + pp_i = 0 \\ p_i = 0 \end{cases} \quad (8)$$

由(8)式可得  $I\{m_i, n_i, p_i\}$  为:

$$m_i = \frac{n}{\sqrt{m^2 + n^2}}, n_i = \frac{m}{\sqrt{m^2 + n^2}}, p_i = 0 \quad (9)$$

根据空间矢量积定义,可以求出  $\pi$  平面上  $J$  轴的 3 个方向向量  $J\{m_j, n_j, p_j\} = L\{m, n, p\} \times I\{m_i, n_i, p_i\}$ , 即:

$$m_j = \frac{mp}{\sqrt{m^2 + n^2}}, n_j = -\frac{np}{\sqrt{m^2 + n^2}}, p_j = \frac{n^2 - m^2}{\sqrt{m^2 + n^2}} \quad (10)$$

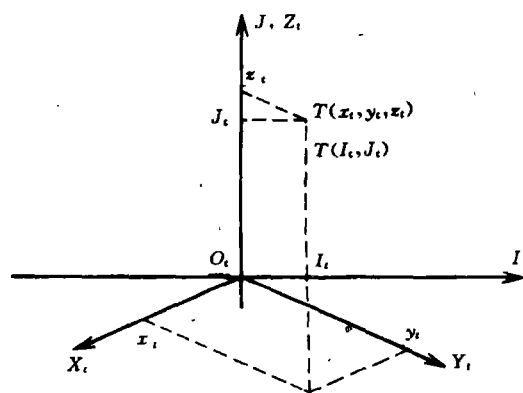


图2 投影平面中的  $T(x_i, y_i, z_i)$  与显示坐标中的  $T(I_i, J_i)$  的变换

Fig.2 The transformation from  $T(x_i, y_i, z_i)$  in projected plane to  $T(I_i, J_i)$  in display coordinate system

设坐标转换在投影平面  $\pi$  内进行, (图2),  $O, X_i, O, Y_i, O, Z_i$  为被观察坐标轴  $OX, OY, OZ$  投影在  $\pi$  平面内的坐标轴,  $O, I_i, O, J_i$  为  $\pi$  平面显示坐标轴, 由(9)、(10)所确定的  $O, I_i$  轴,  $O, J_i$  轴的方向向量, 可得出与  $\pi$  平面中  $T(x_i,$

$y_n, z_n$ ) 在相对应的  $O, IJ$  二维平面坐标系中的坐标值为:

$$\begin{cases} I_i = m_i x_i + n_i y_i = m_i x_e + n_i y_e + q(m_i m + n_i n) \\ J_i = m_j x_i + n_j y_i + p z_i = m_j x_e + n_j y_e + p_j z_e \\ \quad + q(m_j m + n_j n + p_j p) \end{cases} \quad (11)$$

式中  $q$  由 (6) 式所示。

将遥感测量到的某地区 DEM 所有网格节点坐标投影转换成  $\pi$  平面上的二维坐标后, 还必须确定 DEM 所有节点坐标在  $\pi$  平面上的投影范围, 为此必须找出  $\pi$  平面上二维坐标值中最大的点坐标  $I_{\max}, J_{\max}$  和最小点坐标  $I_{\min}, J_{\min}$ , 则地表的 DEM 坐标在投影平面上的投影范围为:

$$\begin{cases} A = I_{\max} - I_{\min} \\ B = J_{\max} - J_{\min} \end{cases} \quad (12)$$

$A, B$  分别是  $I$  轴和  $J$  轴方向的投影范围。对于计算机屏幕坐标系, 其坐标原点在屏幕的左上角, 坐标的最大值由显示器的分辨率确定, 设横坐标的最大值为  $M_x$ , 纵坐标的最大值为  $M_y$ ,  $X_0, Y_0$  分别为计算机屏幕预留空间位置, 地表 DEM 中经一节点的坐标  $E(x_e, y_e, z_e)$  最终在计算机屏幕上显示的坐标值为  $(S_x, S_y)$  为:

$$\begin{cases} S_x = (I_i - I_{\min} - X_0)(M_x - X_0) / A \\ S_y = (J_i - J_{\min} - Y_0)(M_y - Y_0) / B \end{cases} \quad (13)$$

式中的  $I_i, J_i$  按 (11) 式计算,  $A, B$  值按 (12) 式计算。

## 2.2 消隐处理

消隐处理就是隐去不可见的点、线、面, 使得被显示的地貌清晰、明了, 是地貌三维显示的重要一环。首先必须判别出将要隐去的不可见的点、线、面, 一般做法是根据视线由视点出发, 找出可见与不可见的表面, 从中消去不可见表面棱线的面判断法。我们采用消隐的方法是图象空间法, 是在二维显示屏幕上进行的。具体做法是: 先将屏幕设置成背景色, 再将地表 DEM 节点坐标按其离视点的远近的顺序, 按照 2.1 中所述的变换关系, 逐点先后变换成显示屏幕上的坐标, 每一个点和相印点之间组成连接单元, 显示连线时, 先置连接单元之间连线为背景色, 然后再连接该连接单元各相邻点之间的连线, 这样, 如果后果显的接连单元和先显示的连接单元重合, 就用背景色先覆盖掉先已连接好的单元, 再显示现在的连接单元, 达到消隐目的。若后显示的连接单元没有和先显示的连接单元平合, 则后显示的连

接单元其背景色就覆盖不掉先连好的单元, 从而后显示的连接单元和先显示好的连接单元就互连接成整体, 逐点逐面连接成整个地貌曲面, 达到消除隐藏显示可见之目的。

## 2.3 伪彩色合成显示输出

要进行彩色显示, 必须使计算机工作在图形方式中, 因此, 伪彩色合成输出之前使计算机进行图形初始化。视图的伪彩色合成, 人们根据不同的要求和应用探讨了一些方法<sup>[6,7]</sup>, 我们根据微机显示的具体情况, 采用了较简便的方法。VGA 显示卡具有一屏同时显示 16 种模拟彩色的能力, 16 色可用一个字节来表示一个象素值, 即显示屏幕上一个象素对应显示存储器中一个字节。而红、绿、蓝波段图象的数据分布各异, 因此, 我们对 3 个波段图象进行分类显示。若 3 个波段数据的总的最大值和最小值分别为  $M, N$ ; 3 个波段最大值分别为  $M_1, M_2, M_3$ , 则最优的类数  $K$  确定应是  $[(M_1 - N) \times K / (M - N)] \times [(M_2 - N) \times K / (M - N)] \times [(M_3 - N) \times K / (M - N)] \leq 16$  的最大值, 类数  $K$  确定后, 考虑到灰度值应限制在 0—15 之间, 则红 ( $R$ )、绿 ( $G$ )、蓝 ( $B$ ) 3 个波段的灰度值为:

$$\begin{cases} R = (r[i] - N) \times K / (M - N) \\ G = (g[i] - N) \times K / (M - N) \\ B = (b[i] - N) \times K / (M - N) \end{cases} \quad (14)$$

因有可能存在  $r[i]$  或  $g[i]$  或  $b[i]$  等于  $M$  的情况, 此时,  $R, G, B$  之中的某个值可能取 16, 而在色彩分级时只取 0—15, 因此把这个特殊的值归入到级别 15 当中, 因此有  $R = 16$ , 令  $R = 15$ ; 若  $G = 16$ , 令  $G = 15$ ; 若  $B = 16$ , 令  $B = 15$ 。

(14) 式中  $r[i], g[i], b[i]$  为 DEM 中第  $i$  节点的红、绿、蓝 3 个波段的数据, 则地貌的 DEM 第  $i$  节点在屏幕上显示的颜色值  $C[i]$  为:

$$C[i] = (R \times 7.0 \times 6.0 + G \times 6.0 \times 6.0 + B) / 252 \quad (15)$$

若将 DEM 单个文件显示成彩色, 则我们将 DEM 分成 16 种彩色来显示, 设最大高程为  $H_{\max}$ , 最小高程为  $H_{\min}$ , 第  $i$  节点的高程为  $h[i]$ , 则第  $i$  节点的高程的显示色彩值  $CH[i]$  为:

$$\begin{cases} CH[i] = (h[i] - H_{\min}) \times 16 / (H_{\max} - H_{\min}) \\ \text{若 } CH[i] = 16 \text{ 则令 } CH[i] = 15 \end{cases} \quad (16)$$

### 三、结论

上述的原理与算法的程序框图如图 3 所示。图版 I 图 4 是 1996 年 10 月 23 日对北京北郊大汤山飞行试验后取得的 DEM 套合热红外波段图象从不同

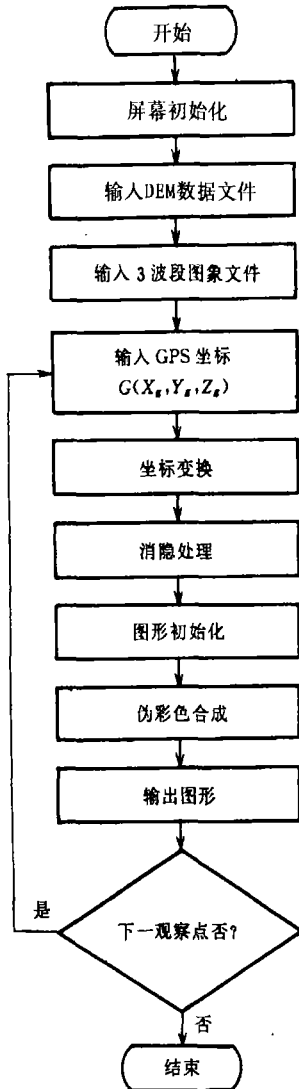


图3 三维显示流程图  
Fig.3 The flow chart of three-dimensional display

视点观察显示的三维地貌的影象图。图版 I 图 5 是 1996 年 10 月 24 日对北京北郊九里山飞行试验后的 DEM 的三维显示图,可以看出,显示飞行试验的结果直观、明了,给从事地貌形态、地貌构造以及地貌演变规律的研究以及航空遥感成果的分析提供了更多的信息,简化了成果分析的整理工作,有效地提高了航空遥感成果分析的质量和效率,同时也说明了该文提出的方法,其显示效果不但可达到常规方法的显示效果,而且能够根据飞机的不同位置进行多方位显示,且简便易行,易于掌握。若采用 TVGA 卡的 256 色显示,效果会更好,得到的信息将更为丰富。相信,随着计算机技术的发展和软件开发工具的不断完善,用该文提出三维显示方法实时模拟空地定位遥感的动态三维地貌的显示将成为可能。

### 参 考 文 献

- [1] 李树楷编著,遥感图象对地定位研究. 北京: 测绘出版社, 1991
- [2] 中国科学院遥感应用研究所. 遥感多维信息集成的装置与方法. 发明人: 李树楷, 薛永祺. 96 1 14306. 1, 中国专利 CSI 96050, 1996-12-12.
- [3] 刘树楼, 陈宝文. 三维空间投影变换与计算机编制地貌轴测投影立体图方法. 计算机研究与发展, 1989, (11).
- [4] 单银根, 黎连业, 李淑春, 陈建华编著. 计算机图形学基础与应用. 学苑出版社 1994.
- [5] Soung, R. Yee, Paul M. Griffin. Three-dimensional imaging system. *Optical Engineering*, 1994. 33:2070.
- [6] 钱灿圭, 李爽, 卢云, 高民. "假彩色合成"方案的设计方法. 环境遥感, 1987, 2(3).
- [7] 王文成, 吴恩华. 三维数据域可视化体绘制中的色彩合成新方法. 计算机辅助设计与图形学学报, 1995, 7(1).

### 作 者 简 介

江月松, 男, 1959 年 4 月生, 中国科学院遥感应用研究所博士后, 1982 年毕业于南京工学院电子工程系, 工学学士; 1989 年毕业于东南大学物理系, 工学硕士; 1995 年毕业于南京大学物理系, 理学博士。其间从事过照明电器研制、测试科学与仪器等工程与基础研究, 目前进行激光遥感与应用研究, 在国内外学术期刊发表论文近 20 篇。

## The Three-Dimensional Display of Landforms Based on Airborne Remote Sensing of GPS Space-Ground Positioning Model

Jiang Yuesong    Jing Donghua    Li Shukai

*(Institute of Remote Sensing Applications, Academia Sinica, Beijing, 100101)*

**Abstract** A new method of three-dimensional display of landforms based on airborne remote sensing which is in the model of GPS (Global Positioning System) space-ground positioning is described. The display results of real airborne remote sensing show that the method has the advantages of multi-angle display, simplicity and feasibility, as well as has a good effect for us to analyse and extract the multi-dimensional information of remote sensing from the achievements of airborne remote sensing based on GPS space-ground positioning model.

**Key words** Three-dimensional display, GPS, Space-ground positioning.