



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101226646 B

(45) 授权公告日 2010.11.10

(21) 申请号 200710002098.4

(22) 申请日 2007.01.18

(73) 专利权人 香港理工大学
地址 中国香港九龙红磡

(72) 发明人 艾麦德·夏德嘉 史文中

(74) 专利代理机构 隆天国际知识产权代理有限公司 72003

代理人 陈晨

(51) Int. Cl.

G06T 17/00 (2006.01)

G06T 5/00 (2006.01)

(56) 对比文件

ahmed Shaker. The Line Based Transformation Model (LBTM) : A New Approach

审查员 张乾桢

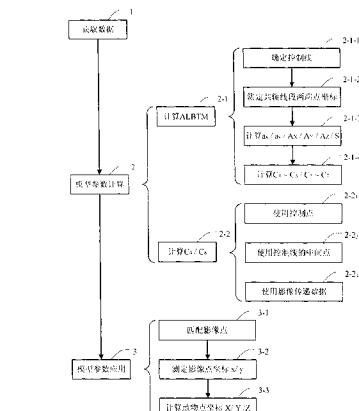
权利要求书 3 页 说明书 10 页 附图 2 页

(54) 发明名称

卫星遥感影像几何校正方法

(57) 摘要

三维仿射变换方法,用 ALBTM(基于线特征的三维仿射模型) 表达二维空间和三维空间之间的关系,且所述 ALBTM 的具体数学表达式为 $Sa_x = C_1A_x + C_2A_y + C_3A_z$, $Sa_y = C_5A_x + C_6A_y + C_7A_z$;其中所述 (a_x, a_y) 为线段在所述二维空间的单位矢量分量,所述 (A_x, A_y, A_z) 为该线段在所述三维空间中对应共轭线段的单位矢量分量,所述 S 为该线段与其共轭线段的投影比例因子,所述 $C_1 \sim C_3$ 和 $C_5 \sim C_7$ 为所述 ALBTM 的旋转参数。以及应用该三维仿射变换方法的卫星遥感影像几何校正方法,包括:步骤 1,获取至少 2 幅卫星遥感影像数据;步骤 2,基于所述影像数据并通过上述三维仿射变换方法分别计算每幅卫星遥感影像的影像空间与地物空间进行三维仿射变换的模型参数;及步骤 3,根据所述模型参数确定所述影像空间中点在地物空间的坐标。



1. 一种卫星遥感影像几何校正方法, 其特征在于, 该方法包括有下列步骤:

步骤 1, 获取至少 2 幅卫星遥感影像的影像数据;

步骤 2, 基于所述影像数据分别计算每幅所述卫星遥感影像中用于数学表达其二维影像空间与三维地物空间之间关系的三维仿射变换模型参数, 所述三维仿射变换模型的数学表达式为

$$x = C_1X + C_2Y + C_3Z + C_4,$$

$$y = C_5X + C_6Y + C_7Z + C_8,$$

其中, (x, y) 为点在所述影像空间的坐标, (X, Y, Z) 为该点在所述地物空间的坐标, 所述 $C_1 \sim C_3$ 和 $C_5 \sim C_7$ 为所述三维仿射变换模型的旋转参数, 所述 C_4 和 C_8 为所述三维仿射变换模型的平移参数;

并且, 步骤 2-1 基于线特征的三维仿射变换模型, 来计算所述 $C_1 \sim C_3$ 和 $C_5 \sim C_7$, 该基于线特征的三维仿射变换模型的计算式为

$$Sa_x = C_1A_x + C_2A_y + C_3A_z,$$

$$Sa_y = C_5A_x + C_6A_y + C_7A_z;$$

其中, (a_x, a_y) 为线段在所述影像空间的单位矢量, (A_x, A_y, A_z) 为该线段在所述地物空间中对应共轭线段的单位矢量, 所述 S 为该线段与其共轭线段的投影比例因子;

而步骤 2-2 计算所述 C_4 和 C_8 的计算式为

$$C_4 = x - (C_1X + C_2Y + C_3Z),$$

$$C_8 = y - (C_5X + C_6Y + C_7Z),$$

步骤 3, 根据所述三维仿射变换模型参数确定所述影像空间中的点在所述地物空间中对应点的点坐标。

2. 如权利要求 1 所述的卫星遥感影像几何校正方法, 其特征在于, 所述步骤 2-1 具体包括有下列步骤:

步骤 2-1-1, 对每幅所述卫星遥感影像于其影像空间和所述地物空间中确定至少 3 条相互对应的控制线;

步骤 2-1-2, 分别测定所述控制线上线段在所述影像空间的两端点坐标 (x_1, y_1) 与 (x_2, y_2) 和该线段在所述地物空间中对应共轭线段的两端点坐标 (X_1, Y_1, Z_1) 与 (X_2, Y_2, Z_2) ;

步骤 2-1-3, 计算所述线段及其共轭线段的单位矢量 (a_x, a_y) , (A_x, A_y, A_z) 以及该线段与其共轭线段的投影比例因子 S, 且该计算的具体数学式分别为:

$$a_x = \frac{x_2 - x_1}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}},$$

$$a_y = \frac{y_2 - y_1}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}},$$

$$A_x = \frac{X_2 - X_1}{\sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2 + (Z_2 - Z_1)^2}},$$

$$A_y = \frac{Y_2 - Y_1}{\sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2 + (Z_2 - Z_1)^2}},$$

$$A_z = \frac{Z_2 - Z_1}{\sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2 + (Z_2 - Z_1)^2}},$$

$$S = \frac{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}}{\sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2 + (Z_2 - Z_1)^2}};$$

步骤 2-1-4, 根据所述单位矢量 (a_x, a_y) 与 (A_x, A_y, A_z) 和投影比例因子 S 计算所述三维仿射变换模型的旋转参数 $C_1 \sim C_3$ 及 $C_5 \sim C_7$, 且该计算的具体数学式为

$$Sa_x = C_1A_x + C_2A_y + C_3A_z,$$

$$Sa_y = C_5A_x + C_6A_y + C_7A_z.$$

3. 如权利要求 2 所述的卫星遥感影像几何校正方法, 其特征在于, 选择线状地物作为所述控制线, 并利用 GPS 技术测定所述控制线; 或者, 利用 GIS 数据库或纸质地图选择并测定所述控制线。

4. 如权利要求 2 所述的卫星遥感影像几何校正方法, 其特征在于, 所述线段及其共轭线段由所述控制线上任意两点确定。

5. 如权利要求 1 所述的卫星遥感影像几何校正方法, 其特征在于, 所述步骤 2-2 具体为: 在所述影像空间和所述地物空间确定至少 1 个相互对应的控制点, 并分别测定该控制点在所述影像空间及所述地物空间的点坐标后, 再基于该影像空间对应的三维仿射变换模型旋转参数 $C_1 \sim C_3$ 及 $C_5 \sim C_7$ 计算该三维仿射变换模型的平移参数 C_4 及 C_8 , 且该计算的具体数学式为

$$C_4 = x - (C_1X + C_2Y + C_3Z),$$

$$C_8 = y - (C_5X + C_6Y + C_7Z).$$

6. 如权利要求 5 所述的卫星遥感影像几何校正方法, 其特征在于, 所述控制点为用于计算所述三维仿射变换模型旋转参数 $C_1 \sim C_3$ 及 $C_5 \sim C_7$ 的线段及其共轭线段的中间点。

7. 如权利要求 1 所述的卫星遥感影像几何校正方法, 其特征在于, 所述步骤 2-2 具体为: 从所述影像数据的元数据文件中获得该影像数据中影像空间的中心点坐标或边角坐标在对应地物空间中的坐标, 直接从该影像数据上量取该影像数据中影像空间的中心点坐标或边角坐标, 再基于该影像空间对应的三维仿射变换模型旋转参数 $C_1 \sim C_3$ 及 $C_5 \sim C_7$ 计算该三维仿射变换模型的平移参数 C_4 及 C_8 , 且该计算的具体数学式为

$$C_4 = x - (C_1X + C_2Y + C_3Z),$$

$$C_8 = y - (C_5X + C_6Y + C_7Z).$$

8. 如权利要求 1 所述的卫星遥感影像几何校正方法, 其特征在于, 所述步骤 3 具体包括有下列步骤:

步骤 3-1, 在所述至少 2 幅卫星遥感影像的影像空间中确定相互匹配的点 p_1, p_2 ;

步骤 3-2, 分别测定所述相互匹配点的点坐标 $(x_1, y_1), (x_2, y_2)$;

步骤 3-3, 分别将所述点坐标输入与其所处影像空间对应的三维仿射变换模型后计算所述相互匹配点在所述地物空间的坐标 (X, Y, Z) , 且该计算的具体数学式为:

$$x_1 = C_{11}X + C_{12}Y + C_{13}Z + C_{14},$$

$$y_1 = C_{15}X + C_{16}Y + C_{17}Z + C_{18},$$

$$x_2 = C_{21}X + C_{22}Y + C_{23}Z + C_{24},$$

$$y_2 = C_{25}X + C_{26}Y + C_{27}Z + C_{28};$$

其中，所述 $C_{11} \sim C_{18}$ 为所述匹配影像点之一 p1 所处影像空间对应的三维仿射变换模型参数，所述 $C_{21} \sim C_{28}$ 为所述匹配影像点之二 p2 所处影像空间对应的三维仿射变换模型参数。

9. 如权利要求 1 所述的卫星遥感影像几何校正方法，其特征在于，所述步骤 1 具体包括有下列步骤：

步骤 1-1，将所述至少 2 幅卫星遥感影像的影像数据分别导入计算机并进行格式变换至可读格式；

步骤 1-2，对影像数据进行解译，以检测卫星遥感影像上的特征。

卫星遥感影像几何校正方法

技术领域

[0001] 本发明涉及影像几何校正,尤其涉及三维仿射变换技术及应用该三维仿射变换技术进行的卫星遥感影像几何校正。

[0002] 背景技术

[0003] 近几十年来,透视几何和投影方式构成了框幅摄影机影像几何校正的基础。在这种情况下,共线方程作为一种严密数学模型,描述了 2D(Two Dimension,二维) 影像空间与 3D(Three Dimension,三维) 地物空间之间的投影关系。但与框幅摄影机不同,卫星遥感影像是基于行成像原理的,每一行成像在不同时间。因此,应用严密数学模型进行卫星遥感影像几何校正,需要提前预知航天器轨道、姿态等星历数据和传感器校准参数等信息。对于政府资助航天器,可通过授权获准使用这些校准参数和星历数据。但对于一些新的商用航天器,这些校准参数和星历数据是禁止用户使用的,这使得对商用卫星遥感影像进行几何校正必须选用经验数学模型。

[0004] 另一方面,不论是否能够被授权获准使用航天器星历数据和 / 或传感器校准参数,相对于使用严密数学模型,有时使用经验数学模型的效果更好。这是因为严密数学模型通常具有如下一些缺点 :a) 模型复杂度高 ;b) 需要变换不同传感器的实时数学模型 ; 以及 c) 很难为多传感器三角测量选择适当的专用软件 [1]Madani, M. ,1999. Real-time sensor-independentpositioning by rational functions. ISPRS Workshop on Direct. versus IndirectMethods of Sensor Orientation, Barcelona 280 pages :64-75.]。

[0005] 由于上述严密数学模型的不足,近年来本领域已开始大规模研究如何应用经验数学模型进行 HRSI(High-Resolution Satellite Imagery, 高分辨率卫星影像) 几何校正。各种经验数学模型,如多项式 (Polynomials)、仿射 (Affine)、DLT(Direct Linear Transformation, 直接线性变换)、及 RFM(Rational Function Models, 有理函数模型) 等,均被尝试用来表达影像空间点与其相应地物空间点之间的关系。这些经验数学模型的使用示例和达到的精度水平可以在以下文献中找到 :[2]Fraser, C. S. , Hanley, H. B. , 2003. Bias compensation in rational functions for Ikonos satelliteimagery. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing (PE&RS) , 69(1) , pp. 53-57、[3]Grodecki, J. , and Dial, G. , 2003. Block adjustment of high-resolution satellite images described by rational polynomials. PE&RS, 69(1) , pp. 59-68、[4]Fraser, C. , Baltasavias, E. , Gruen, A. , 2002. Processingof, NRQRV imagery for sub-metre 3D positioning and building extraction. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 56(3) : 177-194. 、[5]Shi, W. , Shaker, A. , Analysis of Terrain Elevation Effects on Ikonos ImageryRectification Accuracy by Using Non-Rigorous Models, PhEngRS(69) , No. 12, December 2003, pp. 1359-1366. 、以及 [6]Shaker, A. , and Shi, W. Z, 2003. “Polynomial models as a tool for mapping high-resolution satelliteimagery”, European remote sensing conference(SPIE), Barcelone, Spain, onCD。

[0006] 上述这些经验数学模型用于卫星影像几何校正时,几乎都是以使用地面控制点

(Ground Control Point, GCP) 为基础的。然而,在一些环境下却很难精确定义离散共轭点;而一些偏远地区的控制点稀少,比如沙漠、森林及山区等;这都使得有必要开发基于其他影像特征的几何校正方法。

[0007] 随着数字影像时代的到来,应用线状地物进行几何校正己成为可能。具体因素如下:a) 线状地物可以在一些自动提取工具和地物空间中被容易定义,比如可从现有地理信息系统 (Geographic Information System, GIS) 数据库、纸质地图、及地面移动绘图系统等中通过自动提取获得;b) 由于线特征比点特征具有更多属性,因此实现线特征自动提取算法要比实现点特征自动提取算法相对简单;c) 线状地物上的信息在影像和地面线状地物不完全匹配的情况下也可以使用;d) 线状地物可用地物上的一组点或者一组特征描述符表示,这就意味着一些几何约束及其他附加信息可用来帮助解决问题;最后,e) 由于线状地物相比控制点加入了更多信息,从而增加了冗余以改善几何拉伸调整 [7]Habib, A. F. , Lin, H. T. , and Morgan, M. F. , 2003. Line-based modified iterated Hough transform for autonomous single-photo resection. PE&RS, 69(12), pp. 1351–1357。

[0008] 在不同框幅和线阵扫描仪模型中应用线特征已取得了一些成绩 ([8]Kanok W. , 1995. Exploitation of linear features for object reconstruction in digital photogrammetric systems. PhD thesis, Purdue University.、[9]Habib, A. F. , Lin, H. T. , and Morgan, M. F. , 2003. Line-based modified iterated Hough transform for autonomous single-photo resection. PE&RS, 69(12), pp. 1351–1357、[10]Mulawa, D. C. , and Mikhail, E. M. , 1988. Photogrammetric treatment of linear features. ISPRS 16th congress, Commision III, 27(partB10) , pp. 383–393, ISPRS, Elsevier, Amsterdam, The Netherlands. 和 [11]Habib, A. , Morgan, M. , and Lee, Y. R. , 2002, Bundle adjustment with self-calibration using straight lines. Photogrammetric Record, 17(100) , pp. 635–650.)。但是,由于传感器校准参数与航天器星历数据的缺乏,利用所述框幅和线阵扫描仪模型进行卫星影像几何校正仍存在如下几点局限:a) 大多数现有模型均以严密数学模型为基础,其需要 HSRI 用户无法获得的传感器校准参数和航天器星历数据等参数;b) 这些模型大多对框幅影像的几何校正精度较高,但对线阵扫描仪影像的几何校正精度较低;c) 当修改这些线阵扫描仪的几何特征和 / 或时间特征时,其对应的模型将变得非常复杂;而且,d) 由于最初的近似计算,这些模型均可能存在数学上的问题。

[0009] 发明内容

[0010] 针对上述卫星遥感影像几何校正技术的发展态势及现有局限,本发明目的在于提供一种既不依赖于航天器系统信息又不依赖于控制点信息的三维仿射变换方法。

[0011] 本发明另一目的在于,提供一种卫星遥感影像几何校正方法,其通过应用上述三维仿射变换方法计算影像空间与地物空间的三维变换模型参数,使得即使在航天器系统信息和控制点信息同时缺乏的情况下仍可进行准确影像几何校正。

[0012] 为了达到上述本发明目的,本发明提供一种卫星遥感影像几何校正方法,该方法包括有下列步骤:

[0013] 步骤 1, 获取至少 2 幅卫星遥感影像的影像数据;

[0014] 步骤 2, 基于所述影像数据分别计算每幅所述卫星遥感影像中用于数学表达其二维影像空间与三维地物空间之间关系的三维仿射变换模型参数,所述三维仿射变换模型的

数学表达式为

[0015] $[0013]_x = C_1X + C_2Y + C_3Z + C_4,$

[0016] $y = C_5X + C_6Y + C_7Z + C_8,$

[0017] [0015] 其中,所述(x, y)为点在所述影像空间的坐标,所述(X, Y, Z)为该点在所述地物空间的坐标,所述C₁ ~ C₃和C₅ ~ C₇为所述三维仿射变换模型的旋转参数,所述C₄和C₈为所述三维仿射变换模型的平移参数;

[0018] 同时,步骤2-1利用上述本发明三维仿射变换方法中ALBTM计算所述C₁ ~ C₃和C₅ ~ C₇,且所述ALBTM的数学表达公式为

[0019] $Sa_x = C_1A_x + C_2A_y + C_3A_z,$

[0020] $Sa_y = C_5A_x + C_6A_y + C_7A_z,$

[0021] 其中,所述(a_x, a_y)为线段在所述影像空间的单位矢量分量,所述(A_x, A_y, A_z)为该线段在所述地物空间中对应共轭线段的单位矢量分量,所述s为该线段与其共轭线段的投影比例因子;

[0022] 而步骤2-2利用上述ALBTM模型参数计算所述C₄和C₈,且计算式为

[0023] $[0021]C_4 = x - (C_1X + C_2Y + C_3Z),$

[0024] $C_8 = y - (C_5X + C_6Y + C_7Z),$

[0025] [0023]

[0026] 其中,所述(x, y)为点在所述影像空间的坐标,所述((X, Y, Z))为该点在所述地物空间中对应点的坐标;

[0027] 步骤3,根据所述三维仿射变换模型参数确定所述影像空间中的点在所述地物空间中对应点的点坐标。

[0028] 对于上述卫星遥感影像几何校正方法,其中,所述步骤2-1利用ALBTM计算所述旋转参数(C₁ ~ C₃, C₅ ~ C₇)的方法包括有下列步骤:

[0029] 步骤2-1-1,对每幅所述卫星遥感影像于其影像空间和所述地物空间中确定至少3条相互对应的控制线;

[0030] 步骤2-1-2,分别测定所述控制线上线段在所述影像空间的两端点坐标((x₁, y₁),(x₂, y₂))和该线段在所述地物空间中对应共轭线段的两端点坐标((X₁, Y₁, Z₁),(X₂, Y₂, Z₂));

[0031] 步骤2-1-3,计算所述线段及其共轭线段的单位矢量分量((a_x, a_y),(A_x, A_y, A_z))和该线段与其共轭线段的投影比例因子(s),且该计算的具体数学式分别为:

[0032] $a_x = \frac{x_2 - x_1}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}},$

[0033] $a_y = \frac{y_2 - y_1}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}},$

[0034] $A_x = \frac{X_2 - X_1}{\sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2 + (Z_2 - Z_1)^2}},$

[0035] $A_y = \frac{Y_2 - Y_1}{\sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2 + (Z_2 - Z_1)^2}},$

[0036] $A_z = \frac{Z_2 - Z_1}{\sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2 + (Z_2 - Z_1)^2}},$

[0037] $S = \frac{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}}{\sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2 + (Z_2 - Z_1)^2}};$

[0038] 步骤 2-1-4, 根据所述单位矢量分量 $((a_x, a_y), (A_x, A_y, A_z))$ 和投影比例因子 (S) 计算所述旋转参数 $(C_1 \sim C_3, C_5 \sim C_7)$, 且该计算所用 ALBTM 的数学表达式为

[0039] $Sa_x = C_1A_x + C_2A_y + C_3A_z,$

[0040] $Sa_y = C_5A_x + C_6A_y + C_7A_z.$

[0041] 对于上述卫星遥感影像几何校正方法, 其中, 选择线状地物作为所述控制线, 并利用 GPS(Global Positioning System, 全球定位系统) 技术测定所述控制线; 或者利用 GIS(Geographic Information System, 地理信息系统) 数据库或已有纸质地图选择并测定控制线。同时, 所述线段及其共轭线段可由所述控制线上任意两点确定。

[0042] 对于上述卫星遥感影像几何校正方法, 其中, 所述步骤 2-2 计算所述三维仿射变换模型平移参数 (C_4, C_8) 的方法有多种。

[0043] 其中之一为, 在所述影像空间和所述地物空间确定至少 1 个相互对应的控制点, 并分别测定该控制点在所述影像空间及所述地物空间的点坐标 $((x, y), (X, Y, Z))$ 后, 再基于该影像空间对应的三维仿射变换模型旋转参数 $(C_1 \sim C_3, C_5 \sim C_7)$ 计算该三维仿射变换模型的平移参数 (C_4, C_8) , 且该计算的具体数学式为

[0044] $C_4 = x - (C_1X + C_2Y + C_3Z),$

[0045] $C_8 = y - (C_5X + C_6Y + C_7Z).$

[0046] 并且, 其中所述控制点可为通过现有卫星影像几何校正技术中常用方法确定的任意地面控制点, 也可为用于计算所述三维仿射变换模型旋转参数 $(C_1 \sim C_3, C_5 \sim C_7)$ 的线段及其共轭线段的中间点。

[0047] 其中之二为, 通过由卫星影像供应商用来传递数据的影像中心点坐标和 / 或影像边角坐标来计算所述三维仿射变换模型平移参数 (C_4, C_8) , 且该计算的具体数学式亦为

[0048] $C_4 = x - (C_1X + C_2Y + C_3Z),$

[0049] $C_8 = y - (C_5X + C_6Y + C_7Z);$

[0050] 其中, 所述地面中心点坐标和 / 或边角坐标 (X, Y, Z) 从卫星影像供应商提供的元数据文件中获得, 所述影像中心点坐标和 / 或边角坐标 (x, y) 可直接从影像上量取, 且所述 $(C_1 \sim C_3, C_5 \sim C_7)$ 为按前文所述计算已得的该三维仿射变换模型的旋转参数。

[0051] 对于上述卫星遥感影像几何校正方法, 其中, 所述步骤 3 具体包括有下列步骤:

[0052] 步骤 3-1, 于所述至少 2 幅卫星遥感影像的影像空间中确定相互匹配的像点 $(p1, p2)$;

[0053] 步骤 3-2, 分别测定所述相互匹配点的点坐标 $((x1, y1), (x2, y2))$;

[0054] 步骤 3-3, 分别将所述点坐标输入与其所处影像空间对应的三维仿射变换模型后计算所述相互匹配点在所述地物空间的坐标 $((X, Y, Z))$, 具体计算公式如下:

[0055] $x1 = C_{11}X + C_{12}Y + C_{13}Z + C_{14},$

[0056] $y1 = C_{15}X + C_{16}Y + C_{17}Z + C_{18},$

[0057] $x2 = C_{21}X + C_{22}Y + C_{23}Z + C_{24},$

[0058] $y_2 = C_{25}X + C_{26}Y + C_{27}Z + C_{28}$,

[0059] 其中,所述 $C_{11} \sim C_{18}$ 为所述匹配影像点之一 (p1) 所处影像空间对应的三维仿射变换模型参数,所述 $C_{21} \sim C_{28}$ 为所述匹配影像点之二 (p2) 所处影像空间对应的三维仿射变换模型参数;

[0060] 同时,所述步骤 3-1 执行的匹配处理及所述步骤 3-2 执行的坐标测定可以自动,或半自动,甚或手工的形式进行。

[0061] 对于上述卫星遥感影像几何校正方法,其中,所述步骤 1 具体包括有下列步骤:

[0062] 步骤 1-1,将所述至少 2 幅卫星遥感影像的影像数据分别输入计算机,并进行格式转换以将所述影像数据转换至如 tiff 或 geotiff 之类的可读格式;

[0063] 步骤 1-2,对影像数据进行解译,以检测卫星遥感影像上的特征。这里的解译,主要是指人工目视解译可用作控制线的如道路、河流之类的线状地物。

[0064] 如有必要,在所述步骤 1-2 之前还可包括有步骤 1-3,对所述可读格式的影像数据进行影像增强,以恢复航天器传感器障碍和 / 或辐射性影响等产生的误差。

[0065] 本发明从多个方面发展了卫星遥感影像几何校正技术的理论及实践:

[0066] 首先,本发明三维仿射变换方法及卫星遥感影像几何校正方法中所用 ALBTM 不使用离散共轭的控制点,而使用如公路、山谷、河流等线状地物上的线段,作为连接二维影像空间和三维地物空间的控制基准,从而克服了控制点定义的精度问题以及偏远地区控制点稀少的问题。

[0067] 其次,由于所述 ALBTM 本质上为经验数学模型的一种,因此其并不依赖于航天器星历数据和传感器校准参数等系统信息,使得本发明卫星遥感影像几何校正方法可应用于各种不同的卫星遥感影像。

[0068] 最后,所述 ALBTM 为直接线性模型,其计算简单而易于商用软件实现;从而能够极大程度降低进行卫星遥感影像几何校正的控制需求,进而能够极大程度降低了卫星遥感影像的利用成本。

附图说明

[0069] 图 1 为本发明三维仿射变换方法中线段单位矢量分量在二维影像空间和三维地物空间的示意图;

[0070] 图 2 为本发明卫星遥感影像几何校正方法的流程图。

具体实施方式

[0071] 如背景技术所述,现有卫星遥感影像几何校正技术存在诸多瓶颈,使得有必要开发基于其他影像特征的卫星遥感影像几何校正方法。然而,如山谷、河流及公路等线状地物,作为一种易于提取且携带信息丰富的影像特征,已在影像几何校正领域得到越来越多的关注。

[0072] 为此,本发明提供一种基于线特征的三维仿射变换方法,该方法用 ALBTM (3D Affine Line-Based Transformation Model, 基于线特征的三维仿射变换模型) 来表达二维影像空间与三维地物空间之间的相互联系,且所述 ALBTM 的具体数学表达式为

[0073] $S_a_x = C_1A_x + C_2A_y + C_3A_z$,

[0074] $Sa_y = C_5A_x + C_6A_y + C_7A_z$;

[0075] 其中,所述 (a_x, a_y) 为线段在所述二维空间的单位矢量分量,所述 (A_x, A_y, A_z) 为该线段在所述三维空间中对应共轭线段的单位矢量分量,所述 S 为该线段与其共轭线段的投影比例因子,所述 $C_1 \sim C_3$ 和 $C_5 \sim C_7$ 为所述 ALBTM 的旋转参数。

[0076] 且所述 ALBTM 的具体推导过程详述如下:

[0077] 如图 1 所示,ALBTM 与现有的基于点特征三维仿射模型类似,主要区别在于所述 ALBTM 利用单位矢量分量 \vec{v}_{12} 和 \vec{V}_{12} 代替点坐标 $((x_1, y_1), (x_2, y_2))$ 和 $((X_1, Y_1, Z_1), (X_2, Y_2, Z_2))$ 。单位矢量分量 \vec{v}_{12} 和 \vec{V}_{12} 可以被影像空间和地物空间中线段上任意两点定义,且可用以下矩阵形式表达:

$$[0078] \vec{v}_{12} = [a_x \quad a_y \quad 0]^T$$

$$[0079] a_x = \frac{x_2 - x_1}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}},$$

$$[0080] a_y = \frac{y_2 - y_1}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}},$$

[0081] 其中,所述 a_x 和 a_y 为影像空间中线段上任意两点 $(p_1 = (x_1, y_1), p_2 = (x_2, y_2))$ 所定义线段在所述影像空间的单位矢量分量。

$$[0082] \vec{V}_{12} = [A_x \quad A_y \quad A_z]^T$$

$$[0083] A_x = \frac{X_2 - X_1}{\sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2 + (Z_2 - Z_1)^2}},$$

$$[0084] A_y = \frac{Y_2 - Y_1}{\sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2 + (Z_2 - Z_1)^2}},$$

$$[0085] A_z = \frac{Z_2 - Z_1}{\sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2 + (Z_2 - Z_1)^2}},$$

[0086] 其中,所述 A_x, A_y 和 A_z 为地物空间中线段上任意两点 $(P_1 = (X_1, Y_1, Z_1), P_2 = (X_2, Y_2, Z_2))$ 在所述地物空间中对应共轭线段的单位矢量分量。

[0087] 首先,利用现有普通的基于点特征三维仿射模型的八参数原始形式表达影像空间中 $(p_1 = (x_1, y_1), p_2 = (x_2, y_2))$ 与地物空间中 $(P_1 = (X_1, Y_1, Z_1), P_2 = (X_2, Y_2, Z_2))$ 之间的关系:

$$[0088] x_1 = C_1X_1 + C_2Y_1 + C_3Z_1 + C_4 \quad (1)$$

$$[0089] y_1 = C_5X_1 + C_6Y_1 + C_7Z_1 + C_8 \quad (2)$$

$$[0090] x_2 = C_1X_2 + C_2Y_2 + C_3Z_2 + C_4 \quad (3)$$

$$[0091] y_2 = C_5X_2 + C_6Y_2 + C_7Z_2 + C_8 \quad (4)$$

[0092] 其中,所述 $C_1 \sim C_3$ 和 $C_5 \sim C_7$ 为所述三维仿射变换模型的旋转参数,所述 C_4 和 C_8 为所述三维仿射变换模型的平移参数。

[0093] 方程 (3) 减去方程 (1) 得如下方程,

$$[0094] x_2 - x_1 = C_1(X_2 - X_1) + C_2(Y_2 - Y_1) + C_3(Z_2 - Z_1) \quad (5)$$

[0095] 类似,方程 (4) 减去方程 (2) 得如下方程,

$$[0096] y_2 - y_1 = C_5(X_2 - X_1) + C_6(Y_2 - Y_1) + C_7(Z_2 - Z_1) \quad (6)$$

[0097] 方程(5)和(6)分别除以影像空间上两点($p_1 = (x_1, y_1)$, $p_2 = (x_2, y_2)$)所定义线段的长度 l_{12} , 得到以下方程,

$$[0098] l_{12} = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

$$[0099] \frac{x_2 - x_1}{l_{12}} = C_1 \frac{(X_2 - X_1)}{l_{12}} + C_2 \frac{(Y_2 - Y_1)}{l_{12}} + C_3 \frac{(Z_2 - Z_1)}{l_{12}} \quad (7)$$

$$[0100] \frac{y_2 - y_1}{l_{12}} = C_5 \frac{(X_2 - X_1)}{l_{12}} + C_6 \frac{(Y_2 - Y_1)}{l_{12}} + C_7 \frac{(Z_2 - Z_1)}{l_{12}} \quad (8)$$

[0101] 进一步利用地物空间中两点($P_1 = (X_1, Y_1, Z_1)$, $P_2 = (X_2, Y_2, Z_2)$)所定义线段的长度 L_{12} 将方程(7)和(8)改写为,

$$[0102] L_{12} = \sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2 + (Z_2 - Z_1)^2}$$

[0103]

$$\frac{x_2 - x_1}{l_{12}} = C_1 \frac{(X_2 - X_1)}{L_{12}} \times \frac{L_{12}}{l_{12}} + C_2 \frac{(Y_2 - Y_1)}{L_{12}} \times \frac{L_{12}}{l_{12}} + C_3 \frac{(Z_2 - Z_1)}{L_{12}} \times \frac{L_{12}}{l_{12}} \quad (9)$$

[0104]

$$\frac{y_2 - y_1}{l_{12}} = C_5 \frac{(X_2 - X_1)}{L_{12}} \times \frac{L_{12}}{l_{12}} + C_6 \frac{(Y_2 - Y_1)}{L_{12}} \times \frac{L_{12}}{l_{12}} + C_7 \frac{(Z_2 - Z_1)}{L_{12}} \times \frac{L_{12}}{l_{12}} \quad (10)$$

[0105] 将方程(9)和(10)的左边分别用上述 a_x 和 a_y 替换, 而其右边相应部分类似地用上述 A_x 、 A_y 和 A_z 替换, 则得到如下方程,

$$[0106] a_x = \frac{L_{12}}{l_{12}} (C_1 A_x + C_2 A_y + C_3 A_z) \quad (11)$$

$$[0107] a_y = \frac{L_{12}}{l_{12}} (C_5 A_x + C_6 A_y + C_7 A_z) \quad (12)$$

[0108] 将方程(11)和(12)中的 $\frac{L_{12}}{l_{12}}$ 从左边移到右边, 则其被改写为,

$$[0109] \frac{l_{12}}{L_{12}} a_x = (C_1 A_x + C_2 A_y + C_3 A_z)$$

$$[0110] \frac{l_{12}}{L_{12}} a_y = (C_5 A_x + C_6 A_y + C_7 A_z) \quad (14)$$

[0111] 将方程(13)和(14)中的 $\frac{l_{12}}{L_{12}}$ 用线段在影像空间和地面空间的投影比例因子替换,

这样, ALBTM 的最终形式则可表示为,

$$[0112] S = \frac{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}}{\sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2 + (Z_2 - Z_1)^2}}$$

$$[0113] Sa_x = (C_1 A_x + C_2 A_y + C_3 A_z) \quad (15)$$

$$[0114] Sa_y = (C_5 A_x + C_6 A_y + C_7 A_z) \quad (16)$$

[0115] 其中, (a_x, a_y) 为线段在所述影像空间的单位矢量分量, (A_x, A_y, A_z) 为该线段在所述地物空间中对应共轭线段的单位矢量分量, S 为该线段与其共轭线段的投影比例因子, 而 $C_1 \sim C_3$ 和 $C_5 \sim C_7$ 为所述三维仿射变换模型的旋转参数。

[0116] 值得一提的是, 影像空间和地物空间中的单位矢量分量可通过线段上的任意两点

计算,因此,上述所述影像空间和地物空间中用于定义线段的点不一定互为共轭点,但其所定义线段必须互为共轭线段。同时,由于一个单位矢量并非对应唯一的一条线,一个单位矢量表示了一条线及这条线的任何平行线。ALBTM 表达了影像空间中一组线与地物空间中任何一组平行线之间的关系,因此所述三维仿射变换模型的平移参数 C_4 和 C_8 并没有在所述 ALBTM 中出现。

[0117] 通过上述介绍可知,所述 ALBTM 本质为经验数学模型的一种,因此其并不依赖于航天器星历数据和传感器校准参数等航天器系统信息;同时,由于所述 ALBTM 以线段的单位矢量分量取代了控制点的点坐标,使得其也不需要依赖于控制点信息。

[0118] 一般而言,所有涉及仿射变换的应用,包括工业上的目标检测及其他应用,均可采用上述本发明所提供的三维仿射变换方法及其中所述 ALBTM 技术。下面将参照图 2 介绍本发明应用上述 ALBTM 进行卫星遥感影像几何校正的方法。

[0119] 如图 2 所示该方法包括有三大步骤:步骤 1 为数据获取阶段,步骤 2 为模型计算阶段,步骤 3 为模型应用阶段;下面逐一详细介绍之。

[0120] 首先,在步骤 1 数据获取阶段,准备至少两幅卫星遥感影像的影像数据用于卫星遥感影像几何校正,且具体的准备步骤包括有:

[0121] 步骤 1-1,将所述至少 2 幅卫星遥感影像的影像数据分别导入计算机,并进行格式转换以将所述影像数据转换至如 tiff 或 geotiff 之类的可读格式;

[0122] 步骤 1-2,如果有必要,对所述可读格式的影像数据进行影像增强,以恢复航天器传感器障碍和 / 或辐射性影响等产生的误差;

[0123] 步骤 1-3,对影像数据进行解译,以检测卫星遥感影像上的特征。这里的解译主要指人工目视解译后面所需的线状特征,比如道路等。

[0124] 随后,在步骤 2 模型计算阶段,基于所述影像数据分别计算每幅所述卫星遥感影像中用于数学表达其影像空间与相应地物空间之间关系的坐标变换模型的参数。

[0125] 在本发明中,我们选择基于点特征三维仿射变换模型作为所述坐标变换模型,该基于点特征三维仿射变换模型的原始数学表达形式为

$$[0126] x = C_1X + C_2Y + C_3Z + C_4,$$

$$[0127] y = C_5X + C_6Y + C_7Z + C_8,$$

[0128] 其中,所述 (x, y) 为点在所述影像空间的坐标,所述 (X, Y, Z) 为该点在所述地物空间的坐标,所述 $C_1 \sim C_3$ 和 $C_5 \sim C_7$ 为所述三维仿射变换模型的旋转参数,所述 C_4 和 C_8 为所述三维仿射变换模型的平移参数。

[0129] 同时,该步骤 2 中所述三维仿射变换模型参数的计算又具体包括有下列几个步骤:步骤 2-1,通过上述以基于点特征三维仿射变换模型为基础推导得出的 ALBTM 计算所述三维仿射变换模型的旋转参数 $C_1 \sim C_3$ 和 $C_5 \sim C_7$;步骤 2-2,计算所述三维仿射变换模型的平移参数 C_4 和 C_8 。

[0130] 其中,所述步骤 2-1 的具体操作流程为:

[0131] 步骤 2-1-1,对每幅所述卫星遥感影像于其影像空间和所述地物空间中确定至少 3 条相互对应的控制线;

[0132] 其中,优选地选择线状地物作为所述控制线,并利用 GPS (Global Positioning System, 全球定位系统) 技术测定所述控制线;或者,优选地利用 GIS (Geographic

Information System, 地理信息系统) 数据库或已有纸质地图选择并测定所述控制线。同时, 所述线段及其共轭线段可由所述控制线上任意两点确定;

[0133] 步骤 2-1-2, 分别测定所述控制线上线段在所述影像空间的两端点坐标 $((x_1, y_1), (x_2, y_2))$ 和该线段在所述地物空间中对应共轭线段的两端点坐标 $((X_1, Y_1, Z_1), (X_2, Y_2, Z_2))$;

[0134] 步骤 2-1-3, 计算所述线段及其共轭线段的单位矢量分量 $((a_x, a_y), (A_x, A_y, A_z))$ 和该线段与其共轭线段的投影比例因子 (S), 且该计算的具体数学式分别为:

$$[0135] a_x = \frac{x_2 - x_1}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}},$$

$$[0136] a_y = \frac{y_2 - y_1}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}},$$

$$[0137] A_x = \frac{X_2 - X_1}{\sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2 + (Z_2 - Z_1)^2}},$$

$$[0138] A_y = \frac{Y_2 - Y_1}{\sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2 + (Z_2 - Z_1)^2}},$$

$$[0139] A_z = \frac{Z_2 - Z_1}{\sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2 + (Z_2 - Z_1)^2}},$$

$$[0140] S = \frac{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}}{\sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2 + (Z_2 - Z_1)^2}};$$

[0141] 步骤 2-1-4, 根据所述单位矢量分量 $((a_x, a_y), (A_x, A_y, A_z))$ 和投影比例因子 (S) 计算所述旋转参数 $(C_1 \sim C_3, C_5 \sim C_7)$, 且该计算所用 ALBTM 的数学表达公式为

$$[0142] Sa_x = C_1 A_x + C_2 A_y + C_3 A_z,$$

$$[0143] Sa_y = C_5 A_x + C_6 A_y + C_7 A_z.$$

[0144] 而所述步骤 2-2 的具体操作方法可为以下任何一种:

[0145] 步骤 2-2₁, 于所述影像空间和所述地物空间确定至少 1 个相互对应的控制点, 并分别测定该控制点在所述影像空间及所述地物空间的点坐标 $((x, y), ((X, Y, Z))$ 后, 再基于该影像空间对应的三维仿射变换模型旋转参数 $(C_1 \sim C_3, C_5 \sim C_7)$ 计算所述三维仿射变换模型的平移参数 (C_4, C_8) , 且该计算的具体数学式为

$$[0146] C_4 = x - (C_1 X + C_2 Y + C_3 Z),$$

$$[0147] C_8 = y - (C_5 X + C_6 Y + C_7 Z).$$

[0148] 毫无疑问, 该方法是恢复所述平移参数 (C_4, C_8) 的最佳方法, 但其依赖于是否能够找到可用的控制点。而且, 虽然可利用至少 1 个控制点来恢复所述平移系数 (C_4, C_8) , 但其实 1 个控制点就足够了。

[0149] 步骤 2-2₂, 将上述步骤 2-1 中用于计算所述三维仿射变换模型旋转参数 $(C_1 \sim C_3, C_5 \sim C_7)$ 的线段及其共轭线段的中间点作为控制点, 用于计算所述三维仿射变换模型的平移参数 (C_4, C_8) , 且该计算的具体数学式同上述步骤 2-2₁。

[0150] 在这种情况下, 利用控制线中间点作为所述控制点来恢复所述平移参数 (C_4, C_8) , 其要求上述步骤 2-1 中所述线段及其共轭线段的测定必须尽可能准确。

[0151] 或者,步骤 2-2₃,通过由卫星影像供应商用来传递数据的影像中心点坐标和 / 或影像边角坐标来计算所述三维仿射变换模型平移参数 (C_4, C_8) ,且该计算的具体数学式亦为

$$[0152] C_4 = x - (C_1X + C_2Y + C_3Z),$$

$$[0153] C_8 = y - (C_5X + C_6Y + C_7Z)。$$

[0154] 其中,所述地面中心点坐标和 / 或边角坐标 (X, Y, Z) 从卫星影像供应商提供的元数据文件中获得,所述影像中心点坐标和 / 或边角坐标 (x, y) 可直接从影像上量取,且所述 ($C_1 \sim C_3, C_5 \sim C_7$) 为按前文所述计算已得的该三维仿射变换模型的旋转参数。

[0155] 最后,在步骤 3 模型应用阶段,根据所述三维仿射变换模型参数确定所述影像空间中的点在所述地物空间的点坐标。该步骤 3 又具体包括有以下几个步骤:

[0156] 步骤 3-1,于所述至少 2 幅卫星遥感影像的影像空间中确定相互匹配的点 (p1, p2) ;

[0157] 步骤 3-2,分别测定所述相互匹配点的点坐标 ((x1, y1), (x2, y2)) ;

[0158] 步骤 3-3,分别将所述点坐标输入与其所处影像空间对应的三维仿射变换模型后计算所述相互匹配点在所述地物空间的坐标 ((X, Y, Z)),具体计算公式如下:

$$[0159] x1 = C_{11}X + C_{12}Y + C_{13}Z + C_{14},$$

$$[0160] y1 = C_{15}X + C_{16}Y + C_{17}Z + C_{18},$$

$$[0161] x2 = C_{21}X + C_{22}Y + C_{23}Z + C_{24},$$

$$[0162] y2 = C_{25}X + C_{26}Y + C_{27}Z + C_{28},$$

[0163] 其中,所述 $C_{11} \sim C_{18}$ 为所述匹配影像点之一 (p1) 所处影像空间对应的三维仿射变换模型参数,所述 $C_{21} \sim C_{28}$ 为所述匹配影像点之二 (p2) 所处影像空间对应的三维仿射变换模型参数;

[0164] 同时,所述步骤 3-1 执行的匹配处理及所述步骤 3-2 执行的坐标测定可以自动,或半自动,甚或手工的形式进行。

[0165] 需要声明的是,上述发明内容及具体实施方式意在证明本发明所提供技术方案的实际应用,不应解释为对本发明保护范围的限定。本领域技术人员在本发明的精神和原理内,当可作各种修改、等同替换、或改进。本发明的保护范围以所附权利要求书为准。

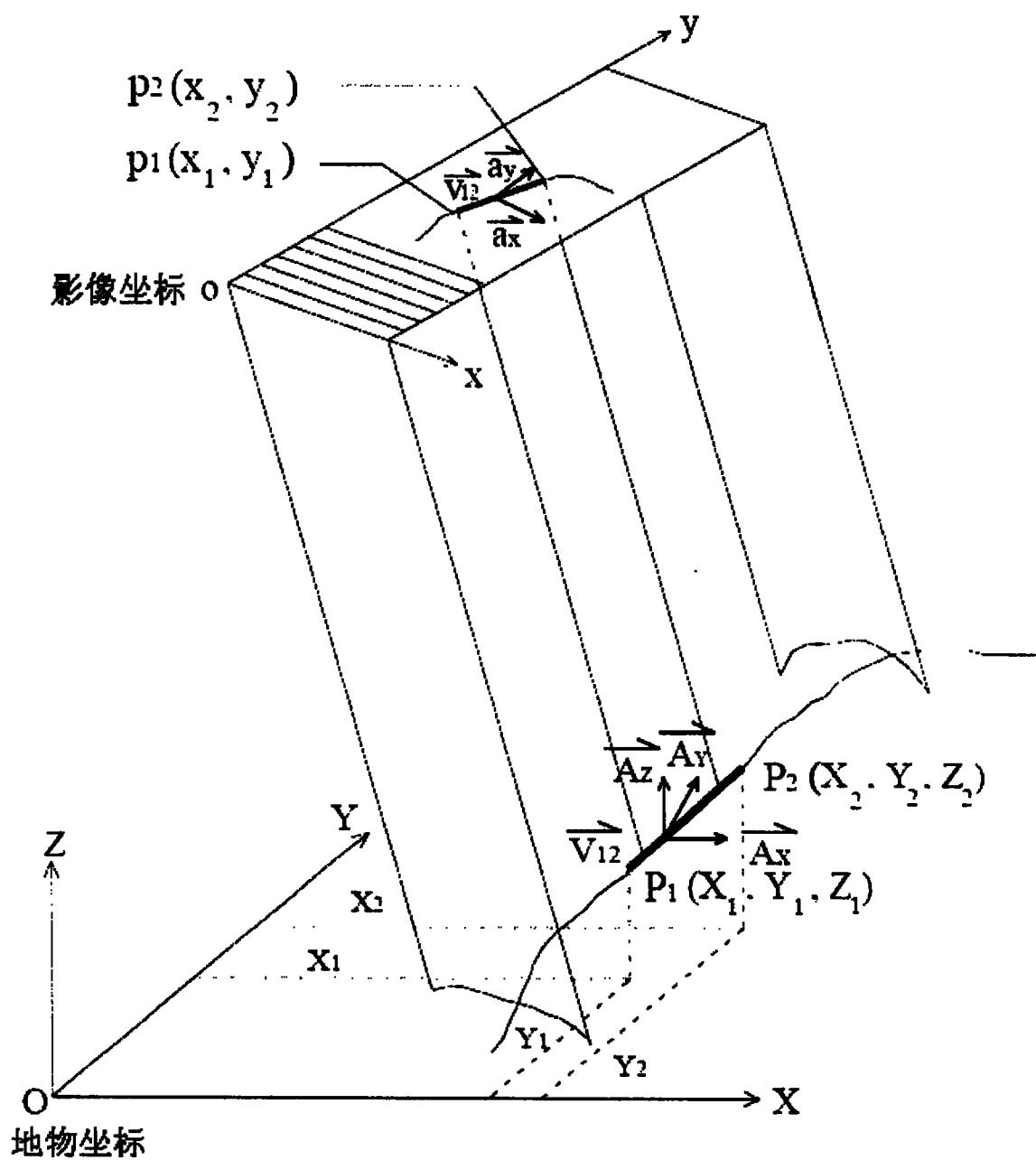


图 1

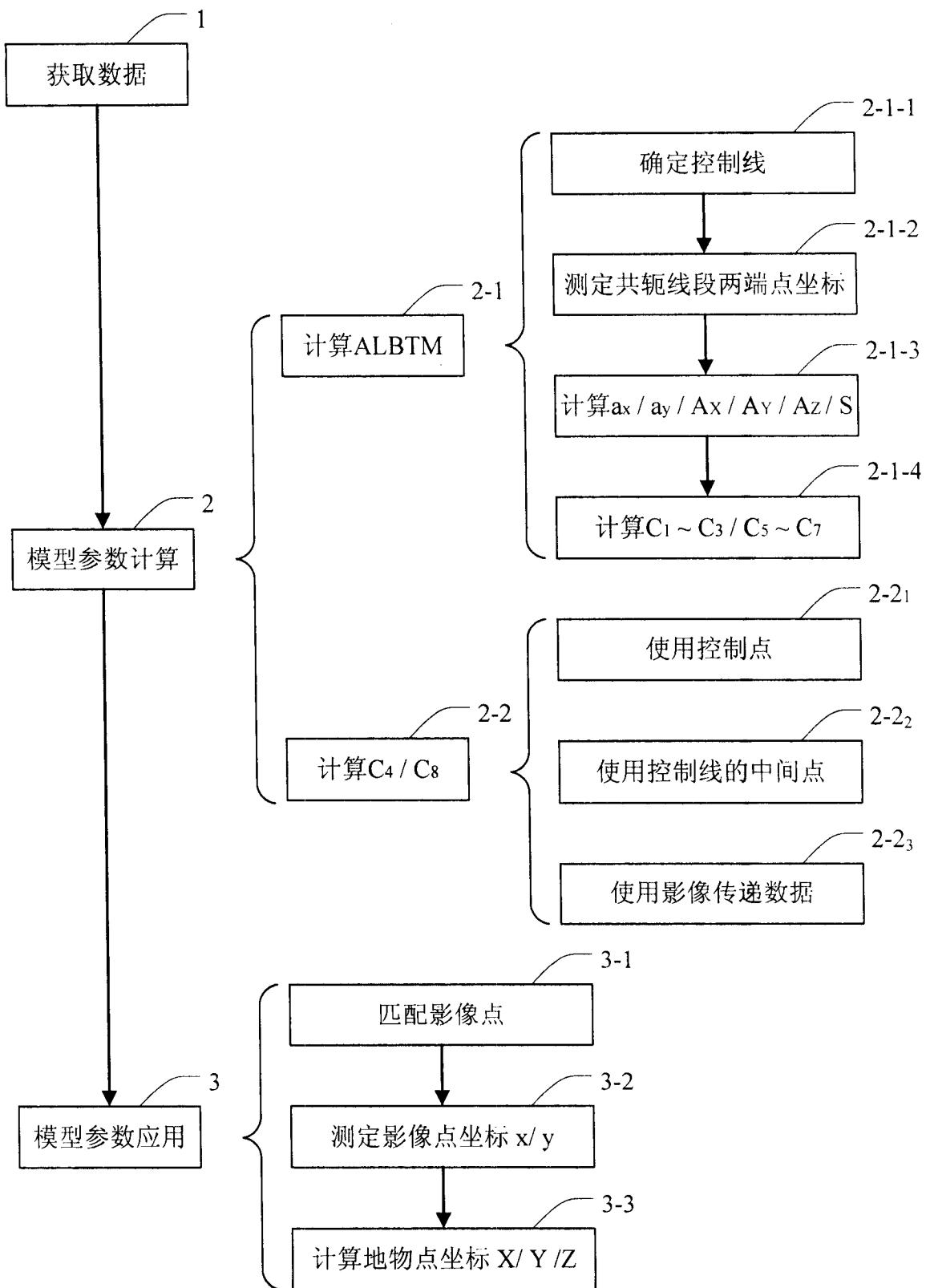


图 2