



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107705267 B

(45)授权公告日 2020.06.26

(21)申请号 201710973765.7

(22)申请日 2017.10.18

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 107705267 A

(43)申请公布日 2018.02.16

(73)专利权人 中国科学院电子学研究所  
地址 100190 北京市海淀区北四环西路19号

(72)发明人 胡堃 尤红建 张永军 黄旭

(74)专利代理机构 中科专利商标代理有限责任公司 11021

代理人 曹玲柱

(51)Int.Cl.  
G06T 5/00(2006.01)

(56)对比文件  
CN 101226646 A,2008.07.23,  
CN 102565797 A,2012.07.11,  
CN 103063200 A,2013.04.24,

CN 104754264 A,2015.07.01,  
CN 106920235 A,2017.07.04,  
CN 105091906 A,2015.11.25,  
WO 2007108580 A1,2007.09.27,  
US 2016343152 A1,2016.11.24,  
US 6005611 A,1999.12.21,  
US 2008123990 A1,2008.05.29,  
龙腾飞,焦伟利,王威.“基于面特征的遥感图像几何校正模型”.《测绘学报》.2013,第42卷(第4期),  
汤竞煌,聂智龙.“遥感图像的几何校正”.《测绘与空间地理信息》.2007,第30卷(第2期),  
汤竞煌,聂智龙.“遥感图像的几何校正”.《测绘与空间地理信息》.2007,第30卷(第2期),  
王密,胡芬,王海涛.“一种基于物方几何约束的线阵推扫式影像坐标反投影计算的快速算法”.《测绘学报》.2008,第37卷(第3期), (续)

审查员 吕岩

权利要求书3页 说明书11页 附图2页

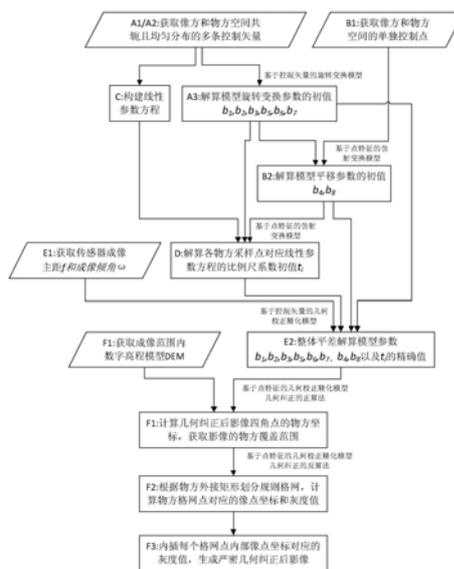
(54)发明名称

基于控制矢量的光学卫星影像几何校正方法

(57)摘要

本公开提供了一种基于控制矢量的光学卫星影像几何精校正方法,包括:得出基于控制矢量的旋转变换模型的旋转变换参数估计值;得出基于点特征的仿射变换模型中平移参数的估计值;根据获取的物方控制矢量及该物方控制矢量上一物方采样点线性表述该物方控制矢量方向上任一物方点;得出所述任一物方点的线性表达式中对应的比例系数估计值;获取传感器成像主距和成像倾角的估计值,并得出所述基于点特征的仿射变换模型中所有参数的最优估计值等;以及利用基于点特征的几何校正精化模型对光学卫星影像进行几何校正。本公开采用非线性的控制矢量几何精校正模型,相比于现有基于线性方程构建矢量关系的方法,能够更精确地拟合像方

和物方空间复杂的几何变形。



CN 107705267 B

[接上页]

(56)对比文件

Tengfei Long, Weili Jiao, Xiupeng Jia.  
“A New Method for Automatic Gross Error  
Detection in Remote Sensing Image  
Geometric Correction”.《2010 Seventh  
International Conference on Fuzzy Systems

and Knowledge Discovery》.2010,  
Jian Yang and Zhongming Zhao. “A Fast  
Geometric Rectification of Remote Sensing  
Imagery Based on Feature Ground Control  
Point Database”.《INTERNATIONAL JOURNAL OF  
COMPUTERS》.2009,第3卷(第1期),

1. 一种基于控制矢量的光学卫星影像几何精校正方法,包括:

步骤A,根据在待几何校正的光学卫星影像地物空间获取的多个物方控制矢量及其对应的像方控制矢量,得出基于控制矢量的旋转变换模型的旋转变换参数估计值;

步骤B,根据获取的一控制点及所述旋转变换参数的估计值得出基于点特征的仿射变换模型中平移参数的估计值;

步骤C,根据获取的物方控制矢量及该物方控制矢量上一物方采样点线性表述该物方控制矢量方向上任一物方点;

步骤D,根据基于点特征的仿射变换模型以及所述物方控制矢量方向上任一物方点的线性表达式和该物方点对应的像方点,得出所述任一物方点的线性表达式中对应的比例系数估计值;

步骤E,获取传感器成像主距和成像倾角的估计值,并利用基于控制矢量的几何校正精化模型得出所述基于点特征的仿射变换模型中所有参数的最优估计值、所述物方控制矢量上物方点对应的比例尺系数最优估计值、所述传感器成像主距和成像倾角的最优估计值;以及

步骤F,利用基于点特征的几何校正精化模型对光学卫星影像进行几何校正;

所述步骤E包括:

子步骤E1,根据高分辨率光学卫星的公开参数文件获取传感器成像主距 $f$ 和成像倾角 $\omega$ 的估计值;

子步骤E2,将旋转变换参数 $b_1, b_2, b_3, b_5, b_6, b_7$ 估计值、模型平移参数 $b_4, b_8$ 估计值、各条共轭控制矢量上物方点的线性参数表达式、以及各线性参数表达式中比例尺系数 $t_i$ 的估计值,同时带入基于控制矢量的几何校正精化模型,该模型的数学表达式为:

$$\begin{cases} \frac{f - (Z_i + V_z t_i - Z_{ave})}{f - x'_i \tan \omega} x'_i = b_1 (X_i + V_x t_i) + b_2 (Y_i + V_y t_i) + b_3 (Z_i + V_z t_i) + b_4 \\ y'_i = b_5 (X_i + V_x t_i) + b_6 (Y_i + V_y t_i) + b_7 (Z_i + V_z t_i) + b_8 \end{cases}$$

其中, $f$ 和 $\omega$ 分别为传感器成像主距和成像倾角的估计值, $Z_{ave}$ 为影像覆盖范围内的物方平均高程值, $(V_x, V_y, V_z)$ 为物方控制矢量的单位矢量, $(X_i, Y_i, Z_i)$ 为该物方控制矢量上一物方采样点, $(X'_i, Y'_i, Z'_i)$ 为该物方矢量上任一物方点, $(x'_i, y'_i)$ 为所述物方点 $(X'_i, Y'_i, Z'_i)$ 对应的像方点,其中,采用最小二乘方法,平差解算旋转变换参数 $b_1, b_2, b_3, b_5, b_6, b_7$ 、平移参数 $b_4, b_8$ 、比例尺系数 $t_i$ 、传感器成像主距 $f$ 和成像倾角 $\omega$ 的最优估计值;

所述步骤F包括:

子步骤F1,获取待几何校正的高分辨率光学卫星影像地物覆盖范围内的数字高程模型(DEM),将待校正影像的四个像方角点采用基于点特征的几何校正精化模型的逆变换和几何校正的正算法投影到DEM表面,其中,所述基于点特征的几何校正精化模型如下所示:

$$\begin{cases} \frac{f - (Z - Z_{ave}) / (m * \cos(\omega))}{f - x \tan(\omega)} x = b_1 X + b_2 Y + b_3 Z + b_4 \\ y = b_5 X + b_6 Y + b_7 Z + b_8 \end{cases}$$

其中, $(X, Y, Z)$ 和 $(x, y)$ 为一对共轭点的物方坐标和像方坐标; $m$ 为卫星飞行高度与光学遥感相机焦距的比值或地面采样间隔与像素尺寸的比值;

子步骤F2,将影像覆盖范围的最小外接矩形区域划分为规则格网,每个物方格网点对应的像点坐标采用基于点特征几何校正精化模型和几何校正的反算法进行计算;

子步骤F3,通过待几何校正影像上相邻的四个像点的灰度值计算像点的灰度值。

2. 根据权利要求1所述的光学卫星影像几何精校正方法,其中,所述步骤A包括:

子步骤A1,在待几何校正的高分辨率光学卫星影像地物覆盖范围内选取至少四条的物方控制矢量  $(V_x, V_y, V_z)$ ;

子步骤A2,在待几何校正的光学卫星影像上选取各条物方控制矢量对应的像方控制矢量  $(v_x, v_y)$ ; 以及

子步骤A3,将每条共轭单位矢量对  $(v_x, v_y)$  和  $(V_x, V_y, V_z)$ ,代入基于控制矢量的旋转变换模型中,求解模型旋转变换参数  $b_1, b_2, b_3, b_5, b_6, b_7$  的估计值。

3. 根据权利要求2所述的光学卫星影像几何精校正方法,其中:

所述子步骤A1中,物方控制矢量的单位矢量由该矢量方向上的任意两个物方采样点P  $(X_1, Y_1, Z_1)$  和Q  $(X_2, Y_2, Z_2)$  计算得到,其计算公式为:

$$\begin{cases} V_x = (X_2 - X_1) / N \\ V_y = (Y_2 - Y_1) / N \\ V_z = (Z_2 - Z_1) / N \end{cases}$$

其中,N为两个物方采样点的物方空间距离,其计算公式为:

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

和/或,所述子步骤A1中,所述至少四条的物方控制矢量选取的位置在待几何校正的高分辨率光学卫星影像地物覆盖范围内均匀分布;

和/或,所述子步骤A2中,每条像方控制矢量的单位矢量  $(v_x, v_y)$  可由该矢量方向上的任意两个像方采样点  $p'(x'_1, y'_1)$  和  $q'(x'_2, y'_2)$  计算得到,其计算公式为:

$$\begin{cases} v_x = (x'_2 - x'_1) / M \\ v_y = (y'_2 - y'_1) / M \end{cases}$$

其中,M为两个像方采样点的像方平面距离,其计算公式为:

$$M = \sqrt{(x'_2 - x'_1)^2 + (y'_2 - y'_1)^2};$$

和/或,所述子步骤A3中,基于控制矢量的旋转变换模型如下:

$$\begin{cases} \lambda v_x = b_1 V_x + b_2 V_y + b_3 V_z \\ \lambda v_y = b_5 V_x + b_6 V_y + b_7 V_z \end{cases}$$

其中, $\lambda = M/N$ 为该旋转变换模型的比例尺因子;

和/或,所述子步骤A3中,对基于控制矢量的旋转变换模型采用最小二乘方法平差解算  $b_1, b_2, b_3, b_5, b_6, b_7$  的估计值。

4. 根据权利要求1所述的光学卫星影像几何精校正方法,其中,所述步骤B包括:

子步骤B1,在待几何校正的光学卫星影像地物覆盖范围内选取1个单独控制点作为控制基准;

子步骤B2,将所述单独控制点的物方坐标和像方坐标,以及旋转变换参数  $b_1, b_2, b_3, b_5,$

$b_6, b_7$ 的估计值,代入基于点特征的仿射变换模型中,得出该仿射变换模型中的平移参数 $b_4, b_8$ 的估计值;

其中,所述子步骤B2中,基于点特征的仿射变换模型如下:

$$\begin{cases} x = b_1 X + b_2 Y + b_3 Z + b_4 \\ y = b_5 X + b_6 Y + b_7 Z + b_8 \end{cases}$$

其中,  $(X, Y, Z)$  和  $(x, y)$  为所述控制点的在地物空间的坐标和在影像空间的坐标,控制点的物方坐标为 $G(X_G, Y_G, Z_G)$ ;在影像上测量控制点对应的像方坐标 $g(x_G, y_G)$ 。

5. 根据权利要求1所述的光学卫星影像几何精校正方法,其中,所述步骤C中,所述物方控制矢量上任一物方点的线性表达式为:

$$\begin{cases} X'_i = X_i + V_X t_i \\ Y'_i = Y_i + V_Y t_i \\ Z'_i = Z_i + V_Z t_i \end{cases}$$

其中,  $(V_X, V_Y, V_Z)$  为物方控制矢量的单位矢量,  $(X_i, Y_i, Z_i)$  为该物方控制矢量上一物方采样点,  $(X'_i, Y'_i, Z'_i)$  为该物方矢量上任一物方点,  $t_i$  为任一物方点  $(X'_i, Y'_i, Z'_i)$  对应的线性表达式中的比例系数。

6. 根据权利要求1所述的光学卫星影像几何精校正方法,其中,所述步骤D中,将旋转变换参数 $b_1, b_2, b_3, b_5, b_6, b_7$ 估计值、模型平移参数 $b_4, b_8$ 估计值、各条共轭控制矢量上物方点的线性参数表达式以及该物方点对应的像方点坐标,同时代入基于点特征的仿射变换模型中,进而求解线性表达式中比例尺系数 $t_i$ 的估计值。

7. 根据权利要求6所述的光学卫星影像几何精校正方法,其中,所述步骤D中,对于物方点 $P'(X'_1, Y'_1, Z'_1)$ ,其计算公式为:

$$\begin{cases} x'_1 = b_1(X_1 + V_X t_1) + b_2(Y_1 + V_Y t_1) + b_3(Z_1 + V_Z t_1) + b_4 \\ y'_1 = b_5(X_1 + V_X t_1) + b_6(Y_1 + V_Y t_1) + b_7(Z_1 + V_Z t_1) + b_8 \end{cases}$$

其中,采用最小二乘方法,平差解算 $t_1$ 的估计值。

8. 根据权利要求1所述的光学卫星影像几何精校正方法,其中,

所述子步骤F1中,进一步的,所述几何校正的正算法即利用基于点特征的几何校正精细化模型实现待校正光学卫星影像到地物空间的坐标变换;

对于像方角点  $(x_w, y_w)$ , 设其对应的共轭物方点的高程估计值为  $Z_w = Z_{ave}$ , 其平面坐标为  $(X_w, Y_w)$ , 则基于点特征的几何校正精细化模型的逆变换的计算公式为:

$$\begin{bmatrix} b_1 & b_2 \\ b_5 & b_6 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{f x_w}{f - x_w \tan(\omega)} - b_3 Z_w - b_4 \\ y_w - b_7 Z_w - b_8 \end{bmatrix}$$

根据平面坐标  $(X_w, Y_w)$  的计算结果,在DEM上采用内插方法计算对应的高程值,并将采用内插法计算得到的高程值代入上式迭代计算平面坐标  $(X_w, Y_w)$ ,使共轭物方点的高程坐标 $Z_w$ 逐步从 $Z_{ave}$ 趋近至精确值,进而得到共轭物方点的精确三维坐标  $(X_w, Y_w, Z_w)$ ,获取几何校正后影像的物方覆盖范围。

## 基于控制矢量的光学卫星影像几何校正方法

### 技术领域

[0001] 本公开涉及光学遥感技术领域,尤其涉及一种基于控制矢量的光学卫星影像几何校正方法。

### 背景技术

[0002] 对高分辨率光学遥感卫星影像进行精细化的几何校正处理,以获取较高内部和外部几何质量的影像产品,是遥感数据配准、融合和镶嵌等高级处理与多场景应用的关键环节。由于线状目标提取的矢量特征在检测识别和匹配中,相比于点状目标具有许多独特的优势,基于矢量特征的光学卫星影像几何校正方法得到快速发展。其核心是构建像方空间和绝对物方空间共轭矢量特征间精确的几何变换关系。

[0003] 当前国际上,基于矢量特征的影像几何校正方法主要分为三类:

[0004] 第一类方法是基于线性变换的共轭矢量特征构建。采用的几何校正模型包括基于矢量特征的三维仿射模型、二维仿射模型和二维正形变换模型等(Shaker,2004)。该方法的模型形式简单,缺点是不能够顾及成像姿态和地形起伏变化导致的高程投影差,模型精度受限。当采用12条均匀分布的控制矢量,基于矢量特征的三维仿射模型进行平坦区域IKONOS卫星影像几何校正的精度约为X方向2像元和Y方向7像元,并且在地形起伏变化显著的区域,精度下降非常明显。

[0005] 第二类方法是直接用矢量特征替换基于点的模型表达式。采用的几何校正模型包括基于矢量特征的平行投影模型、拓展平行投影模型和直接线性变换模型等(Elaksher,2008;2012)。该方法的模型容易构建,缺点是不具有严格的成像几何关系,影像几何校正的可靠性不高。在高程变化范围约为175米的区域,采用人工量测或自动提取的控制矢量和上述模型进行SPOT5、IKONOS和QuickBird卫星影像几何校正的平均单位权中误差约为1.7像元,低于点模型的控制水平。

[0006] 第三类方法是通过矢量或参数方程的形式将控制引入直接通用成像模型和偏移补偿通用成像模型等(Teo,2013;Long et al.,2015)。该方法的几何校正精度较高,在充分数量控制矢量的前提下,对IKONOS和QuickBird卫星进行影像校正的几何精度达到了单像元水平。但其缺点是模型参数众多,构建方法复杂,无法基于少量的控制矢量特征拟合严格的几何关系,几何校正流程设计难度大。

[0007] 综合上述分析可知,当前基于矢量特征的几何校正方法在几何精度、可靠性和模型简洁性方面仍存在较大的不足,尚不能有效满足高分辨率光学遥感卫星影像几何校正的实际应用需求。

[0008] 公开内容

[0009] (一)要解决的技术问题

[0010] 为充分地发挥矢量特征在几何控制方面的优势,基于控制矢量的非线性模型构建方法、顾及卫星成像与地形特点的模型优化方法,以及高精度的光学卫星影像几何精校正流程设计是需要本公开解决的主要问题。

[0011] (二)技术方案

[0012] 本公开基于控制矢量的光学卫星影像几何精校正方法,包括:

[0013] 步骤A,根据在待几何校正的光学卫星影像地物空间获取的多个物方控制矢量及其对应的像方控制矢量,得出基于控制矢量的旋转变换模型的旋转变换参数估计值;

[0014] 步骤B,根据获取的一控制点及所述旋转变换参数的估计值得出基于点特征的仿射变换模型中平移参数的估计值;

[0015] 步骤C,根据获取的物方控制矢量及该物方控制矢量上一物方采样点线性表述该物方控制矢量方向上任一物方点;

[0016] 步骤D,根据基于点特征的仿射变换模型以及所述物方控制矢量方向上任一物方点的线性表达式和该物方点对应的像方点,得出所述任一物方点的线性表达式中对应的比例系数估计值;

[0017] 步骤E,获取传感器成像主距和成像倾角的估计值,并利用基于控制矢量的几何校正精化模型得出所述基于点特征的仿射变换模型中所有参数的最优估计值、所述物方控制矢量上物方点对应的比例尺系数最优估计值、所述传感器成像主距和成像倾角的最优估计值;以及

[0018] 步骤F,利用基于点特征的几何校正精化模型对光学卫星影像进行几何校正。

[0019] 在本公开的一些实施例中,所述步骤A包括:

[0020] 子步骤A1,在待几何校正的高分辨率光学卫星影像地物覆盖范围内选取至少四条的物方控制矢量  $(V_x, V_y, V_z)$ ;

[0021] 子步骤A2,在待几何校正的光学卫星影像上选取各条物方控制矢量对应的像方控制矢量  $(v_x, v_y)$ ;以及

[0022] 子步骤A3,将每条共轭单位矢量对  $(v_x, v_y)$  和  $(V_x, V_y, V_z)$ ,代入基于控制矢量的旋转变换模型中,求解模型旋转变换参数  $b_1, b_2, b_3, b_5, b_6, b_7$  的估计值。

[0023] 在本公开的一些实施例中,所述子步骤A1中,物方控制矢量的单位矢量由该矢量方向上的任意两个物方采样点  $P(X_1, Y_1, Z_1)$  和  $Q(X_2, Y_2, Z_2)$  计算得到,其计算公式为:

$$[0024] \begin{cases} V_x = (X_2 - X_1) / N \\ V_y = (Y_2 - Y_1) / N \\ V_z = (Z_2 - Z_1) / N \end{cases}$$

[0025] 其中,  $N$  为两个物方采样点的物方空间距离,其计算公式为:

$$[0026] N = \sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2 + (Z_2 - Z_1)^2}$$

[0027] 和/或,所述子步骤A1中,所述至少四条的物方控制矢量选取的位置在待几何校正的高分辨率光学卫星影像地物覆盖范围内均匀分布;

[0028] 和/或,所述子步骤A2中,每条像方控制矢量的单位矢量  $(v_x, v_y)$  可由该矢量方向上的任意两个像方采样点  $p'(x'_1, y'_1)$  和  $q'(x'_2, y'_2)$  计算得到,其计算公式为:

$$[0029] \begin{cases} v_x = (x'_2 - x'_1) / M \\ v_y = (y'_2 - y'_1) / M \end{cases}$$

[0030] 其中,  $M$  为两个像方采样点的像方平面距离,其计算公式为:

$$[0031] \quad M = \sqrt{(x'_2 - x'_1)^2 + (y'_2 - y'_1)^2} ;$$

[0032] 和/或,所述子步骤A3中,基于控制矢量的旋转变换模型如下:

$$[0033] \quad \begin{cases} \lambda v_x = b_1 V_X + b_2 V_Y + b_3 V_Z \\ \lambda v_y = b_5 V_X + b_6 V_Y + b_7 V_Z \end{cases}$$

[0034] 其中, $\lambda=M/N$ 为该旋转变换模型的比例尺因子;

[0035] 和/或,所述子步骤A3中,对基于控制矢量的旋转变换模型采用最小二乘方法平差解算 $b_1, b_2, b_3, b_5, b_6, b_7$ 的估计值。

[0036] 在本公开的一些实施例中,所述步骤B包括:

[0037] 子步骤B1,在待几何校正的光学卫星影像地物覆盖范围内选取1个单独控制点作为控制基准;

[0038] 子步骤B2,将所述单独控制点的物方坐标和像方坐标,以及旋转变换参数 $b_1, b_2, b_3, b_5, b_6, b_7$ 的估计值,代入基于点特征的仿射变换模型中,得出该仿射变换模型中的平移参数 $b_4, b_8$ 的估计值。

[0039] 在本公开的一些实施例中,所述子步骤B2中,基于点特征的仿射变换模型如下:

$$[0040] \quad \begin{cases} x = b_1 X + b_2 Y + b_3 Z + b_4 \\ y = b_5 X + b_6 Y + b_7 Z + b_8 \end{cases}$$

[0041] 其中, $(X, Y, Z)$ 和 $(x, y)$ 为所述控制点的在地物空间的坐标和在影像空间的坐标,控制点的物方坐标为 $G(X_G, Y_G, Z_G)$ ;在影像上测量控制点对应的像方坐标 $g(x_G, y_G)$ 。

[0042] 在本公开的一些实施例中,所述步骤C中,所述物方控制矢量上任一物方点的线性表达式为:

$$[0043] \quad \begin{cases} X'_i = X_i + V_X t_i \\ Y'_i = Y_i + V_Y t_i \\ Z'_i = Z_i + V_Z t_i \end{cases}$$

[0044] 其中, $(V_X, V_Y, V_Z)$ 为物方控制矢量的单位矢量, $(X_i, Y_i, Z_i)$ 为该物方控制矢量上一物方采样点, $(X'_i, Y'_i, Z'_i)$ 为该物方矢量上任一物方点, $t_i$ 为任一物方点 $(X'_i, Y'_i, Z'_i)$ 对应的线性表达式中的比例系数。

[0045] 在本公开的一些实施例中,所述步骤D中,将旋转变换参数 $b_1, b_2, b_3, b_5, b_6, b_7$ 估计值、模型平移参数 $b_4, b_8$ 估计值、各条共轭控制矢量上物方点的线性参数表达式以及该物方点对应的像方点坐标,同时代入基于点特征的仿射变换模型中,进而求解线性表达式中比例尺系数 $t_i$ 的估计值。

[0046] 在本公开的一些实施例中,所述步骤D中,对于物方点 $P'(X'_1, Y'_1, Z'_1)$ ,其计算公式为:

$$[0047] \quad \begin{cases} x'_1 = b_1(X_1 + V_X t_1) + b_2(Y_1 + V_Y t_1) + b_3(Z_1 + V_Z t_1) + b_4 \\ y'_1 = b_5(X_1 + V_X t_1) + b_6(Y_1 + V_Y t_1) + b_7(Z_1 + V_Z t_1) + b_8 \end{cases}$$

[0048] 其中,采用最小二乘方法,平差解算 $t_1$ 的估计值。

[0049] 在本公开的一些实施例中,所述步骤E包括:

[0050] 子步骤E1,根据高分辨率光学卫星的公开参数文件获取传感器成像主距 $f$ 和成像

倾角 $\omega$ 的估计值;

[0051] 子步骤E2,将旋转变换参数 $b_1, b_2, b_3, b_5, b_6, b_7$ 估计值、模型平移参数 $b_4, b_8$ 估计值、各条共轭控制矢量上物方点的线性参数表达式、以及各线性参数表达式中比例尺系数 $t_i$ 的估计值,同时带入基于控制矢量的几何校正精化模型,该模型的数学表达式为:

$$[0052] \quad \begin{cases} \frac{f - (Z_i + V_Z t_i - Z_{ave})}{f - x'_i \tan \omega} x'_i = b_1 (X_i + V_X t_i) + b_2 (Y_i + V_Y t_i) + b_3 (Z_i + V_Z t_i) + b_4 \\ y'_i = b_5 (X_i + V_X t_i) + b_6 (Y_i + V_Y t_i) + b_7 (Z_i + V_Z t_i) + b_8 \end{cases}$$

[0053] 其中, $f$ 和 $\omega$ 分别为传感器成像主距和成像倾角的估计值, $Z_{ave}$ 为影像覆盖范围内的物方平均高程值, $(x'_i, y'_i)$ 为所述物方点 $(X'_i, Y'_i, Z'_i)$ 对应的像方点,

[0054] 其中,采用最小二乘方法,平差解算旋转变换参数 $b_1, b_2, b_3, b_5, b_6, b_7$ 、平移参数 $b_4, b_8$ 、比例尺系数 $t_i$ 、传感器成像主距 $f$ 和成像倾角 $\omega$ 的最优估计值。

[0055] 在本公开的一些实施例中,所述步骤F包括:

[0056] 子步骤F1,获取待几何校正的高分辨率光学卫星影像地物覆盖范围内的数字高程模型(DEM),将待校正影像的四个像方角点采用基于点特征的几何校正精化模型的逆变换和几何校正的正算法投影到DEM表面,其中,基于点特征的几何校正精化模型如下所示:

$$[0057] \quad \begin{cases} \frac{f - (Z - Z_{ave}) / (m * \cos(\omega))}{f - x \tan(\omega)} x = b_1 X + b_2 Y + b_3 Z + b_4 \\ y = b_5 X + b_6 Y + b_7 Z + b_8 \end{cases}$$

[0058] 其中, $(X, Y, Z)$ 和 $(x, y)$ 为一对共轭点的物方坐标和像方坐标; $m$ 为卫星飞行高度与光学遥感相机焦距的比值或地面采样间隔与像素尺寸的比值;

[0059] 子步骤F2,将影像覆盖范围的最小外接矩形区域划分为规则格网,每个物方格网点对应的像点坐标采用基于点特征几何校正精化模型和几何校正的反算法进行计算;

[0060] 子步骤F3,通过待几何校正影像上相邻的四个像点的灰度值计算像点的灰度值。

[0061] 在本公开的一些实施例中,

[0062] 所述子步骤F1中,进一步的,所述几何校正的正算法即利用基于点特征的几何校正精化模型实现待校正光学卫星影像到地物空间的坐标变换;

[0063] 对于像方角点 $(x_w, y_w)$ ,设其对应的共轭物方点的高程估计值为 $Z_w = Z_{ave}$ ,其平面坐标为 $(X_w, Y_w)$ ,则基于点特征的几何校正精化模型的逆变换的计算公式为:

$$[0064] \quad \begin{bmatrix} b_1 & b_2 \\ b_3 & b_6 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{fx_w}{f - x_w \tan(\omega)} - b_3 Z_w - b_4 \\ y_w - b_7 Z_w - b_8 \end{bmatrix} \quad (12)$$

[0065] 根据平面坐标 $(X_w, Y_w)$ 的计算结果,在DEM上采用内插方法计算对应的高程值,并将采用内插法计算得到的高程值代入上式迭代计算平面坐标 $(X_w, Y_w)$ ,使共轭物方点的高程坐标 $Z_w$ 逐步从 $Z_{ave}$ 趋近至精确值,进而得到共轭物方点的精确三维坐标 $(X_w, Y_w, Z_w)$ ,获取几何校正后影像的物方覆盖范围。

[0066] (三)有益效果

[0067] 从上述技术方案可以看出,本公开基于控制矢量的光学卫星影像几何校正方法具有以下有益效果:

[0068] (1) 采用非线性的控制矢量几何精校正模型,相比于现有基于线性方程构建矢量关系的方法,能够更精确地拟合像方和物方空间复杂的几何变形;

[0069] (2) 基于点特征的几何精校正方法的基础上构建。相比于现有直接用矢量表达替换点的方式,模型具有相对严格的成像几何关系,精度高且可靠性强;

[0070] (3) 形式简单且易于解算,在提高精度和可靠性的同时付出最小的计算代价。仅采用两个参数补偿卫星成像倾角和地形起伏对影像几何变形的影响,仅需获得传感器等效主距和成像姿态的初值。它们的精确值可以通过整体平差解算得到。相比于现有基于矢量特征的直接RFM模型和偏移补偿RFM模型,本方法采用最少的模型参数和控制矢量达到了相近的精度水平;

[0071] (4) 基于控制矢量的严格变换模型的部分参数与基于控制矢量的旋转变换模型参数和基于点特征的严格变换模型参数几何意义一致,便于在预处理阶段利用基于控制矢量的旋转变换模型提供部分参数的初值,并且利用基于点特征的严格变换模型中点对点的严格对应关系,实现高精度的影像几何校正。

## 附图说明

[0072] 图1为根据本公开实施例基于控制矢量的高分辨率光学卫星影像几何精校正方法的流程图;

[0073] 图2为高分辨率光学卫星影像上控制矢量的选取和分布情况;

[0074] 图3为像方和物方空间中共轭控制矢量上采样点的对应关系。

## 具体实施方式

[0075] 本公开基于控制矢量的高分辨率光学卫星影像几何精校正方法,首先采用基于控制矢量的旋转变换模型、基于点特征的仿射变换模型和线性参数方程进行几何校正模型参数的预处理;然后采用基于控制矢量的严格变换模型整体平差解算,进一步精化模型参数;最后采用基于点特征的严格变换模型和几何校正的正反算方法,实现高分辨率光学卫星影像的几何精校正。

[0076] 为使本公开的目的、技术方案和优点更加清楚明白,以下结合具体实施例,并参照附图,对本公开进一步详细说明。

[0077] 在本公开的一个示例性实施例中,提供了一种基于控制矢量的光学卫星影像几何精校正方法。图1为本实施例中基于控制矢量的光学卫星影像几何精校正方法的流程图。如图1所示,本实施例基于控制矢量的光学卫星影像几何精校正方法包括:

[0078] 步骤A,根据在待几何校正的光学卫星影像地物空间获取的多个物方控制矢量及其对应的像方控制矢量,得出基于控制矢量的旋转变换模型的旋转变换参数估计值;

[0079] 更具体而言,所述步骤A包括以下子步骤:

[0080] 子步骤A1,在待几何校正的高分辨率光学卫星影像地物覆盖范围内选取多条物方控制矢量;

[0081] 进一步的,每条物方控制矢量的单位矢量为 $(V_x, V_y, V_z)$ 。物方控制矢量的单位矢量由该矢量方向上的任意两个物方采样点 $P(X_1, Y_1, Z_1)$ 和 $Q(X_2, Y_2, Z_2)$ 计算得到,其计算公式为:

$$[0082] \quad \begin{cases} V_x = (X_2 - X_1) / N \\ V_y = (Y_2 - Y_1) / N \\ V_z = (Z_2 - Z_1) / N \end{cases} \quad (1)$$

[0083] 其中, N为两个物方采样点的物方空间距离, 其计算公式为:

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

[0085] 进一步的, 所述物方控制矢量的数量不小于4条; 本实施例中, 选取了9条物方控制矢量, 其中, 物方控制矢量的选取和分布情况如图2所示;

[0086] 优选的, 所述多条物方控制矢量选取的位置在待几何校正的高分辨率光学卫星影像地物覆盖范围内均匀分布, 但不限于均匀分布, 不影响本公开的实现。

[0087] 优选的, 选取的多条物方控制矢量非共线, 但不限于非共线, 不影响本公开的实现。

[0088] 子步骤A2, 在待几何校正的光学卫星影像上选取各条物方控制矢量对应的像方控制矢量。

[0089] 进一步的, 每条像方控制矢量的单位矢量  $(v_x, v_y)$  可由该矢量方向上的任意两个像方采样点  $p'(x'_1, y'_1)$  和  $q'(x'_2, y'_2)$  计算得到, 其计算公式为:

$$[0090] \quad \begin{cases} v_x = (x'_2 - x'_1) / M \\ v_y = (y'_2 - y'_1) / M \end{cases} \quad (3)$$

[0091] 其中, M为两个像方采样点的像方平面距离, 其计算公式为:

$$[0092] \quad M = \sqrt{(x'_2 - x'_1)^2 + (y'_2 - y'_1)^2} \quad (4)$$

[0093] 进一步的, 图3为像方和物方空间中共轭控制矢量上采样点对应关系的示意图, 如图3所示, 用于构建物方控制矢量的物方采样点  $P(X_1, Y_1, Z_1)$  和  $Q(X_2, Y_2, Z_2)$  与用于构建像方控制矢量的像方采样点  $p'(x'_1, y'_1)$  和  $q'(x'_2, y'_2)$  可为同名点或不为同名点, 即采样点位于对应的控制矢量上即可, 不影响本公开的实现。

[0094] 子步骤A3, 将每条共轭单位矢量对  $(v_x, v_y)$  和  $(V_x, V_y, V_z)$ , 代入基于控制矢量的旋转变换模型中, 求解模型旋转变换参数  $b_1, b_2, b_3, b_5, b_6, b_7$  的估计值。

[0095] 进一步的, 基于控制矢量的旋转变换模型如下:

$$[0096] \quad \begin{cases} \lambda v_x = b_1 V_x + b_2 V_y + b_3 V_z \\ \lambda v_y = b_5 V_x + b_6 V_y + b_7 V_z \end{cases} \quad (5)$$

[0097] 其中,  $\lambda = M/N$  为该旋转变换模型的比例尺因子;

[0098] 进一步的, 对基于控制矢量的旋转变换模型采用最小二乘方法平差解算  $b_1, b_2, b_3, b_5, b_6, b_7$  的估计值。

[0099] 步骤B, 根据获取的一控制点及所述旋转变换参数的估计值得出基于点特征的仿射变换模型中平移参数的估计值;

[0100] 更具体而言, 所述步骤B包括以下子步骤:

[0101] 子步骤B1, 在待几何校正的光学卫星影像地物覆盖范围内选取1个单独控制点作为控制基准;

[0102] 进一步的,本实施例中,控制点的物方坐标为G ( $X_G, Y_G, Z_G$ );在影像上测量控制点对应的像方坐标g ( $x_G, y_G$ );

[0103] 子步骤B2,将子步骤B1中获取的单独控制点的物方坐标和像方坐标,以及步骤A中计算得到的旋转变换参数 $b_1, b_2, b_3, b_5, b_6, b_7$ 的估计值,代入基于点特征的仿射变换模型中,得出该仿射变换模型中的平移参数 $b_4, b_8$ 的估计值;

[0104] 进一步的,基于点特征的仿射变换模型如下:

$$[0105] \quad \begin{cases} x = b_1 X + b_2 Y + b_3 Z + b_4 \\ y = b_5 X + b_6 Y + b_7 Z + b_8 \end{cases} \quad (6)$$

[0106] 其中, ( $X, Y, Z$ ) 和 ( $x, y$ ) 为影像覆盖范围内的任一共轭点在地物空间的坐标和在影像空间的坐标。控制点G ( $X_G, Y_G, Z_G$ ) 和g ( $x_G, y_G$ ) 仅是满足该条件的其中一个点,同样适用该仿射变换模型关系。

[0107] 本实施例中,将步骤B1中获取的单独控制点的物方坐标G ( $X_G, Y_G, Z_G$ ) 和像方坐标g ( $x_G, y_G$ ) 代入上述公式(6)中,进而可以得出模型中的平移参数 $b_4, b_8$ 的估计值;

[0108] 步骤C,根据获取的物方控制矢量及该物方控制矢量上一物方采样点线性表述该物方控制矢量方向上任一物方点;

[0109] 所述物方控制矢量上任一物方点的线性表达式为:

$$[0110] \quad \begin{cases} X'_i = X_i + V_X t_i \\ Y'_i = Y_i + V_Y t_i \\ Z'_i = Z_i + V_Z t_i \end{cases} \quad (7)$$

[0111] 其中, ( $V_X, V_Y, V_Z$ ) 为物方控制矢量的单位矢量, ( $X_i, Y_i, Z_i$ ) 为该物方控制矢量上一物方采样点, ( $X'_i, Y'_i, Z'_i$ ) 为该物方矢量上任一物方点,  $t_i$  为任一物方点 ( $X'_i, Y'_i, Z'_i$ ) 对应的线性表达式中的比例系数。

[0112] 本实施例中,以图3中的物方点P ( $X'_1, Y'_1, Z'_1$ ) 为例,如图3所示,原始像方空间中的像方控制矢量v上选取的像方采样点为p' ( $x'_1, y'_1$ ) 和q' ( $x'_2, y'_2$ ),物方空间中与其共轭的物方控制矢量V上选取的物方采样点为P ( $X_1, Y_1, Z_1$ ) 和Q ( $X_2, Y_2, Z_2$ )。其中,像方控制矢量上的像方采样点与物方控制矢量上的物方采样点不为同名点。根据透视成像原理,像方采样点p' ( $x'_1, y'_1$ ) 和q' ( $x'_2, y'_2$ ) 对应的物方点分别为P' ( $X'_1, Y'_1, Z'_1$ ) 和Q' ( $X'_2, Y'_2, Z'_2$ )。

[0113] 基于线性参数方程,物方点P' ( $X'_1, Y'_1, Z'_1$ ) 可以用物方采样点为P ( $X_1, Y_1, Z_1$ ) 和Q ( $X_2, Y_2, Z_2$ ) 构建的物方控制矢量的单位矢量 ( $V_X, V_Y, V_Z$ ) 以及物方采样点P ( $X_1, Y_1, Z_1$ ) 进行线性表述,其计算公式为:

$$[0114] \quad \begin{cases} X'_1 = X_1 + V_X t_1 \\ Y'_1 = Y_1 + V_Y t_1 \\ Z'_1 = Z_1 + V_Z t_1 \end{cases} \quad (8)$$

[0115] 其中,  $t_1$  为物方点P' ( $X'_1, Y'_1, Z'_1$ ) 对应的线性参数方程的比例尺系数,物方控制矢量上的每个物方点对应的比例尺系数 $t_i$ 均不同;本实施例中,利用上述计算公式可线性表达步骤A1中选取的9条物方控制矢量上任一物方点。

[0116] 进一步的,所述线性表达式中的物方采样点不限于构建物方控制矢量时选取的物

方采样点,可以为该物方控制矢量上任意一点,不影响本公开的实现;

[0117] 步骤D,根据基于点特征的仿射变换模型以及所述物方控制矢量方向上任一物方点的线性表达式和该物方点对应的像方点,得出所述任一物方点的线性表达式中对应的比例系数估计值;

[0118] 本实施中,将步骤A中得到的旋转变换参数 $b_1, b_2, b_3, b_5, b_6, b_7$ 估计值、步骤B中得到的模型平移参数 $b_4, b_8$ 估计值、步骤C中各条共轭控制矢量上物方点的线性参数表达式以及该物方点对应的像方点坐标,同时代入基于点特征的仿射变换模型中,进而求解线性表达式中比例尺系数 $t_i$ 的估计值。

[0119] 本实施例中以物方点 $P'(X'_1, Y'_1, Z'_1)$ 为例,其计算公式为:

$$[0120] \quad \begin{cases} x'_1 = b_1(X_1 + V_x t_1) + b_2(Y_1 + V_y t_1) + b_3(Z_1 + V_z t_1) + b_4 \\ y'_1 = b_5(X_1 + V_x t_1) + b_6(Y_1 + V_y t_1) + b_7(Z_1 + V_z t_1) + b_8 \end{cases} \quad (9)$$

[0121] 进一步的,采用最小二乘方法,平差解算 $t_1$ 的估计值;

[0122] 进一步的,由于选取的9条物方控制矢量上的任一物方点对应的比例尺系数 $t_i$ 均不同,且每条物方控制矢量的单位矢量及物方采样点均不相同,可根据实际情况,通过上述方法计算每条线性表达式中比例尺系数 $t_i$ 的估计值。

[0123] 步骤E,获取传感器成像主距和成像倾角的估计值,并利用基于控制矢量的几何校正精化模型得出所述基于点特征的仿射变换模型中所有参数的最优估计值、所述物方控制矢量上物方点对应的比例尺系数最优估计值、所述传感器成像主距和成像倾角的最优估计值;

[0124] 更具体而言,所述步骤E包括以下子步骤:

[0125] 子步骤E1,根据高分辨率光学卫星的公开参数文件获取传感器成像主距 $f$ 和成像倾角 $\omega$ 的估计值;

[0126] 子步骤E2,将步骤A中计算得到的旋转变换参数 $b_1, b_2, b_3, b_5, b_6, b_7$ 估计值、步骤B中计算得到的模型平移参数 $b_4, b_8$ 估计值、步骤C中各条共轭控制矢量上物方点的线性参数表达式、以及步骤F中各线性参数表达式中比例尺系数 $t_i$ 的估计值,同时带入基于控制矢量的几何校正精化模型,该模型的数学表达式为:

$$[0127] \quad \begin{cases} \frac{f - (Z_i + V_z t_i - Z_{ave})}{f - x'_i \tan \omega} x'_i = b_1(X_i + V_x t_i) + b_2(Y_i + V_y t_i) + b_3(Z_i + V_z t_i) + b_4 \\ y'_i = b_5(X_i + V_x t_i) + b_6(Y_i + V_y t_i) + b_7(Z_i + V_z t_i) + b_8 \end{cases} \quad (10)$$

[0128] 其中, $f$ 和 $\omega$ 分别为传感器成像主距和成像倾角的估计值, $Z_{ave}$ 为影像覆盖范围内的物方平均高程值, $(x'_i, y'_i)$ 为所述物方点 $(X'_i, Y'_i, Z'_i)$ 对应的像方点。

[0129] 进一步的,采用最小二乘方法,平差解算旋转变换参数 $b_1, b_2, b_3, b_5, b_6, b_7$ 、平移参数 $b_4, b_8$ 、比例尺系数 $t_i$ 、传感器成像主距 $f$ 和成像倾角 $\omega$ 的最优估计值。

[0130] 本公开采用物方控制矢量和该控制矢量上的物方取样点构建物方矢量上任意一物方点,利用此线性表达式构建了基于控制矢量的几何校正精密变换模型,便于精确地拟合像方和物方空间复杂的几何变形;

[0131] 本公开仅需采用传感器等效主距和成像倾角这两个参数补偿卫星成像倾角和地形起伏对影像几何变形的影响,相比于现有基于矢量特征的直接RFM模型和偏移补偿RFM模型,本公开采用最少的模型参数和控制矢量达到了相近的精度水平。

[0132] 步骤F,利用基于点特征的几何校正精化模型对光学卫星影像进行几何校正;

[0133] 更具体而言,所述步骤F包括以下子步骤:

[0134] 子步骤F1,获取待几何校正的高分辨率光学卫星影像地物覆盖范围内的数字高程模型(DEM),将待校正影像的四个像方角点采用基于点特征的几何校正精化模型的逆变换和几何校正的正算法投影到DEM表面,其中,基于点特征的几何校正精化模型如下所示:

$$[0135] \begin{cases} \frac{f - (Z - Z_{ave}) / (m * \cos(\omega))}{f - x \tan(\omega)} x = b_1 X + b_2 Y + b_3 Z + b_4 \\ y = b_5 X + b_6 Y + b_7 Z + b_8 \end{cases} \quad (11)$$

[0136] 其中,(X,Y,Z)和(x,y)为一对共轭点的物方坐标和像方坐标;m为卫星飞行高度与光学遥感相机焦距的比值或地面采样间隔与像素尺寸的比值。

[0137] 进一步的,基于点特征的几何校正精化模型中的全部模型参数f,  $\omega$ ,  $Z_{ave}$ ,  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $b_3$ ,  $b_5$ ,  $b_6$ ,  $b_7$ ,  $b_4$ ,  $b_8$ 均与基于控制矢量的几何校正精化模型的对应参数含义一致,可直接利用步骤E中基于控制矢量的几何校正精化模型参数的整体平差解算结果代入公式(10)中进行影像几何校正的计算。

[0138] 进一步的,所述几何校正的正算法即利用基于点特征的几何校正精化模型实现待校正光学卫星影像到地物空间的坐标变换;

[0139] 本实施例中,以像方角点( $x_w, y_w$ )为例,设其对应的共轭物方点的高程估计值为 $Z_w = Z_{ave}$ ,其平面坐标为( $X_w, Y_w$ ),则基于点特征的几何校正精化模型的逆变换的计算公式为:

$$[0140] \begin{bmatrix} b_1 & b_2 \\ b_5 & b_6 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{f x_w}{f - x_w \tan(\omega)} - b_3 Z_w - b_4 \\ y_w - b_7 Z_w - b_8 \end{bmatrix} \quad (12)$$

[0141] 根据平面坐标( $X_w, Y_w$ )的计算结果,在DEM上采用内插方法计算对应的高程值,并将采用内插法计算得到的高程值代入上式迭代计算平面坐标( $X_w, Y_w$ ),使共轭物方点的高程坐标 $Z_w$ 逐步从 $Z_{ave}$ 趋近至精确值,进而得到共轭物方点的精确三维坐标( $X_w, Y_w, Z_w$ ),获取几何校正后影像的物方覆盖范围。

[0142] 本公开中,基于控制矢量的几何校正精化模型的部分参数与基于点特征的几何校正精化模型中的参数几何意义一致,便于在预处理阶段利用基于控制矢量的旋转变换模型提供部分参数的估计值以及利用基于点特征的几何校正精化模型中点对点的严格对应关系,实现高精度的影像几何校正。

[0143] 子步骤F2,将影像覆盖范围的最小外接矩形区域划分为规则格网,每个物方格网点对应的像点坐标采用基于点特征几何校正精化模型和几何校正的反算法进行计算;

[0144] 进一步的,所述几何校正的反算法即利用基于点特征的几何校正精化模型实现地物空间的坐标到像点坐标的变换;

[0145] 子步骤F3,通过待几何校正影像上相邻的四个像点的灰度值用双线性内插方法计算像点的灰度值;

[0146] 进一步的,校正后影像上的全部像点坐标通过相邻的四个格网点的灰度值采用双线性内插计算得到,最终生成经几何精校正后的卫星影像。

[0147] 至此,已经结合附图对本实施例进行了详细描述。依据以上描述,本领域技术人员

应当对本发明基于控制矢量的高分辨率光学卫星影像几何精校正方法有了清楚的认识。

[0148] 此外,上述对各元件和方法的定义并不仅限于实施方式中提到的各种具体结构、形状或方式,本领域的普通技术人员可对其进行简单地熟知地替换,例如:

[0149] (1) 子步骤F1中,若待几何校正的高分辨率光学卫星影像地物覆盖范围内的DEM未知且地形相对平坦,可假定所有像点坐标共轭物方点的高程 $Z_w = Z_{ave}$ ,其平面坐标 $(X_w, Y_w)$ 直接根据以下公式计算:

$$[0150] \quad \begin{bmatrix} b_1 & b_2 \\ b_3 & b_6 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{fx_w}{f - x_w \tan(\omega)} - b_3 Z_{ave} - b_4 \\ y_w - b_7 Z_{ave} - b_8 \end{bmatrix} \quad (13);$$

[0151] (2) 子步骤F3中,灰度值的计算方法不限于双线性内插法,还可为其他可以计算灰度值的方法,不影响本公开的实现;

[0152] 综上所述,本发明基于控制矢量的光学卫星影像几何精校正方法主要建立了像方和物方空间共轭控制矢量间的严格几何变换关系,通过几何校正预处理步骤获取模型的旋转、平移和线性参数方程的比例尺系数估计值,并通过基于控制矢量的严格变换模型整体平差解算所有模型参数的精确值,并利用基于点特征的几何校正精化模型对光学卫星影像进行几何校正;该方法能够适应卫星成像姿态和复杂地形变化的影响,具有良好的精度和可靠性。

[0153] 还需要说明的是,实施例中提到的方向用语,例如“上”、“下”、“前”、“后”、“左”、“右”等,仅是参考附图的方向,并非用来限制本公开的保护范围。

[0154] 除非特别描述或必须依序发生的步骤,上述步骤的顺序并无限制于以上所列,且可根据所需设计而变化或重新安排。并且上述实施例可基于设计及可靠度的考虑,彼此混合搭配使用或与其他实施例混合搭配使用,即不同实施例中的技术特征可以自由组合形成更多的实施例。

[0155] 在此提供的算法和显示不与任何特定计算机、虚拟系统或者其它设备固有相关。各种通用系统也可以与基于在此的启示一起使用。根据上面的描述,构造这类系统所要求的结构是显而易见的。此外,本公开也不针对任何特定编程语言。应当明白,可以利用各种编程语言实现在此描述的本公开的内容,并且上面对特定语言所做的描述是为了披露本公开的最佳实施方式。

[0156] 本公开可以借助于包括有若干不同元件的硬件以及借助于适当编程的计算机来实现。本公开的各个部件实施例可以以硬件实现,或者以在一个或者多个处理器上运行的软件模块实现,或者以它们的组合实现。本领域的技术人员应当理解,可以在实践中使用微处理器或者数字信号处理器(DSP)来实现根据本公开实施例的相关设备中的一些或者全部部件的一些或者全部功能。本公开还可以实现为用于执行这里所描述的方法的一部分或者全部的设备或者装置程序(例如,计算机程序和计算机程序产品)。这样的实现本公开的程序可以存储在计算机可读介质上,或者可以具有一个或者多个信号的形式。这样的信号可以从因特网网站上下下载得到,或者在载体信号上提供,或者以任何其他形式提供。

[0157] 类似地,应当理解,为了精简本公开并帮助理解各个公开方面中的一个或多个,在上面对本公开的示例性实施例的描述中,本公开的各个特征有时被一起分组到单个实施例、图、或者对其的描述中。然而,并不应将该公开的方法解释成反映如下意图:即所要求保

护的本公开要求比在每个权利要求中所明确记载的特征更多的特征。更确切地说,如下面的权利要求书所反映的那样,公开方面在于少于前面公开的单个实施例的所有特征。因此,遵循具体实施方式的权利要求书由此明确地并入该具体实施方式,其中每个权利要求本身都作为本公开的单独实施例。

[0158] 以上所述的具体实施例,对本公开的目的、技术方案和有益效果进行了进一步详细说明,所应理解的是,以上所述仅为本公开的具体实施例而已,并不用于限制本公开,凡在本公开的精神和原则之内,所做的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本公开的保护范围之内。

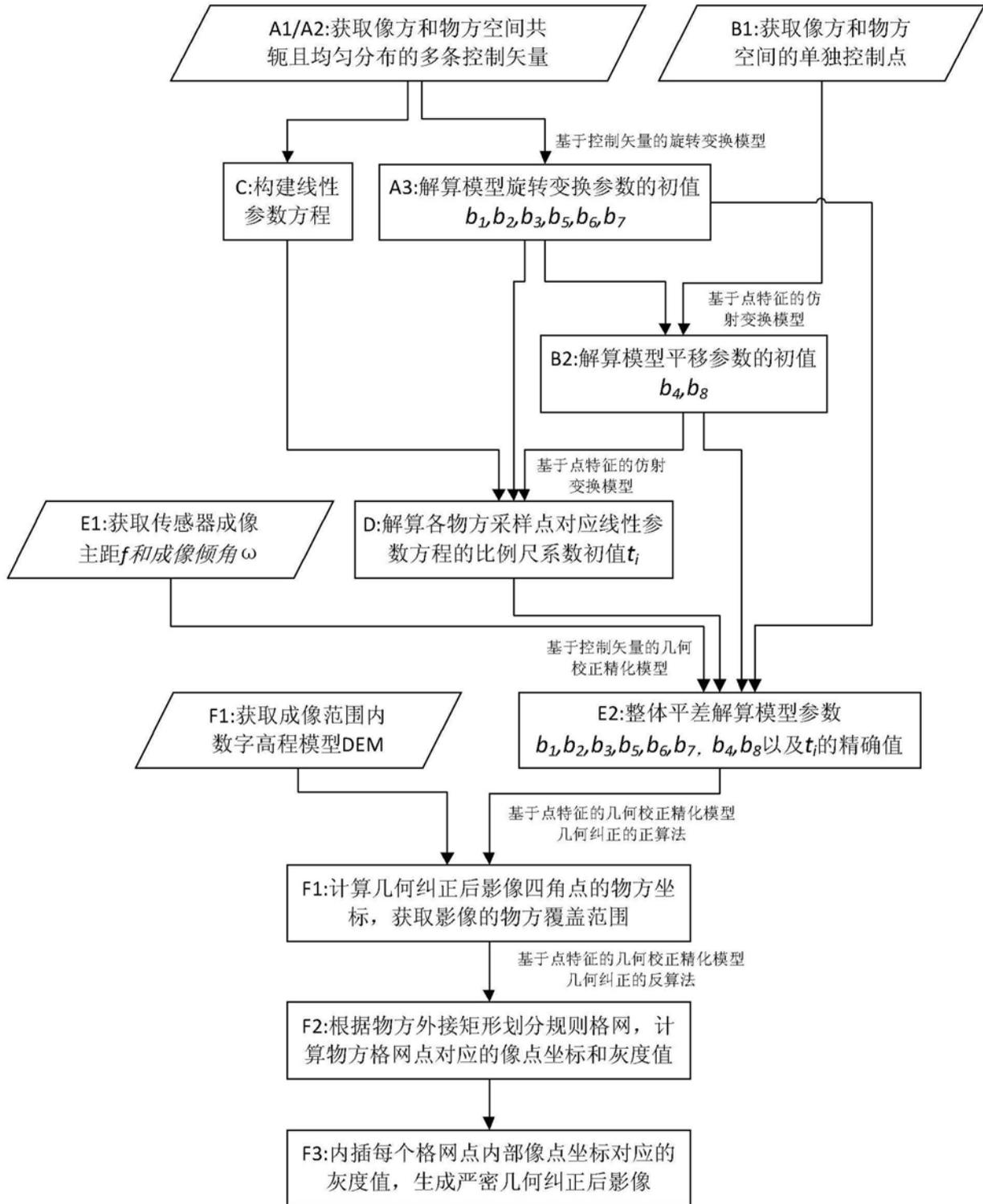


图1

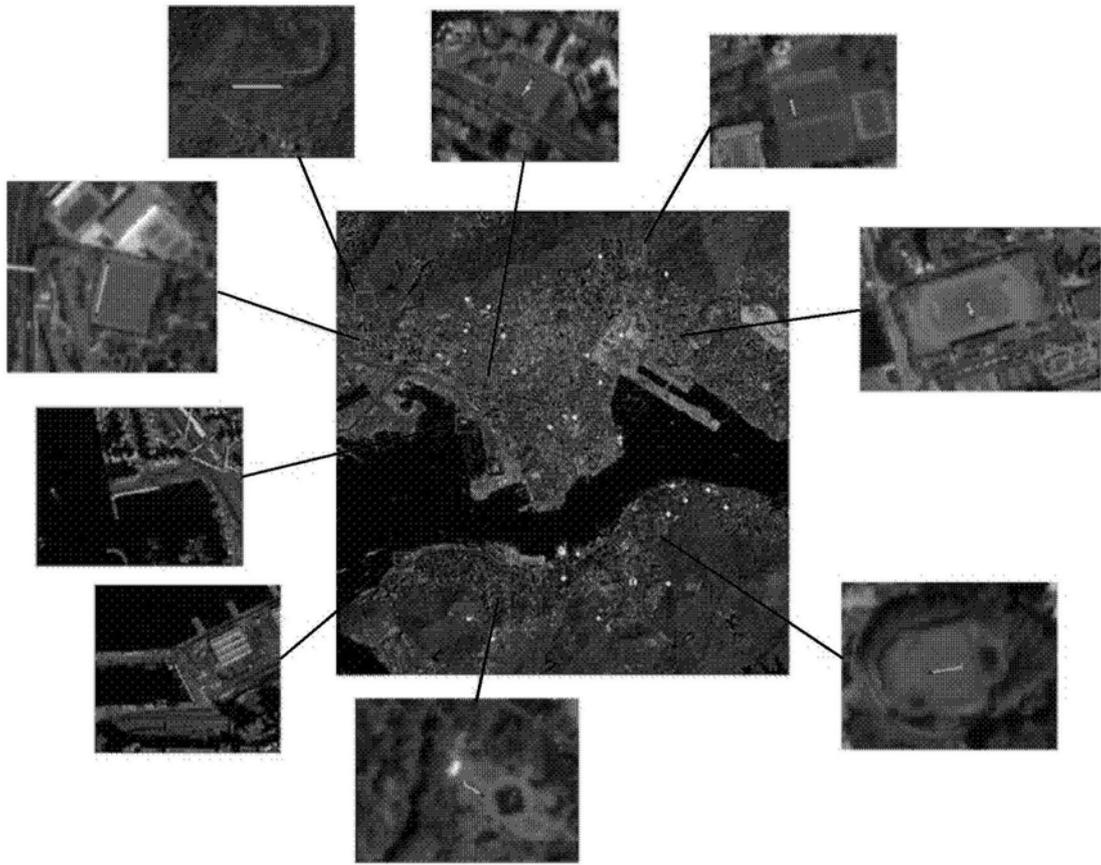


图2

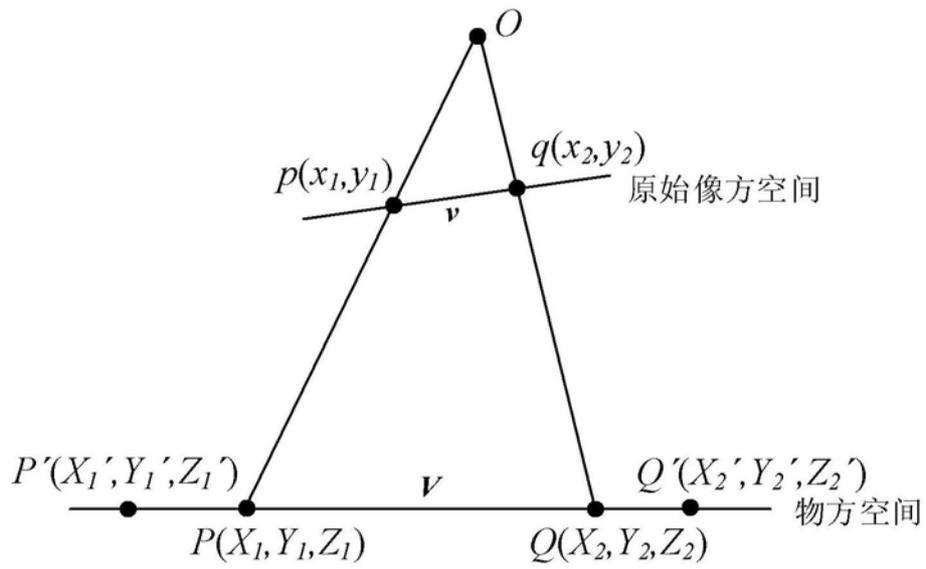


图3