

遥感技术研究与应用资料汇编

科技

0083
40



遥感技术与 应用资料汇编

科学技术文献出版社

87.9083
140
2

遥感技术研究与应用资料汇编

中国科学技术情报研究所
国家科委科技成果管理办公室 编

科学技术文献出版社

1984

内 容 简 介

本资料汇编是根据1982年有关单位推荐的科技成果资料和专业会议上的学术论文编辑而成的,共三十余篇,约四十万字。内容涉及波谱测试、遥感图象及其数字处理的方法、技术,遥感技术在区域地质研究、资源勘探、农林土地利用、水文环境监测中的应用等各个方面。概括地反映了我国地质、冶金、农林、铁道及地震部门,中国科学院和教育系统有关单位研究、应用遥感技术的某些新进展、新经验。《汇编》中的文章除个别外均为第一次公开发表,可供从事遥感技术研究及应用的各科研、生产和教学单位及其有关科技人员参考使用。

0006/57

遥感技术研究与应用资料汇编

中国科学技术情报研究所 编
国家科委科技成果管理办公室

科学技术文献出版社出版

一二〇二工厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

开本: 787×1092 1/16 印张: 17.75 字数: 445千字

1984年7月北京第一版第一次印刷

印数: 1—4,310册

科技新书目: 74—56

统一书号: 13176·169 定价: 3.10元

前 言

近十年来，国内许多科研、生产和教学单位对遥感技术开展了深入的研究，并进行了广泛的应用，取得了许多很有水平的成果。为了更好地推广交流该新技术，使它在国民经济建设中发挥更大的作用，我们从许多单位推荐的成果和在中国地理学会环境遥感分会召开的《资源遥感学术讨论会议》上收到的论文中，编辑了这一资料汇编。内容包括：遥感图象及数据处理的方法技术，波谱测试，遥感在区域地质、资源勘测、农林土地利用、水文环境等方面的应用。概括地反映了我国地质、冶金、石油、农林、铁道、中国科学院和教育系统等有关单位研究、应用遥感技术的某些新进展、新经验，新成果。汇编中的文章除个别外均为第一次公开发表，可供从事遥感技术研究及应用的各科研、生产和教学单位以及有关人员参考使用。

目 录

陆地卫星多光谱遥感图象的几何校正	王天禧 (1)
希尔伯特变换方向滤波	王天禧 (10)
一个资源卫星图象数据自动处理系统——PDCS系统	徐冠华 (19)
环境遥感信息专题制图软件研究	付肃性 曹桂发 (24)
遥感中地物反射率的测量	吕斯骅 金丽芳等 (35)
陆地卫星CCT磁带数据处理及其在杭州西湖地区的试验研究	陈岚 赵元洪等 (48)
卫片的计算机——光学“反馈式”联合处理方法及其在铀矿研究中 应用效果的探讨	何钟琦 寿宝奎等 (56)
相干光学及密度分割图象处理在解译地质构造中的作用	袁宏仕执笔 (65)
钟姑铁矿田隐伏构造图象信息的增强	李恭 (68)
四川盆地遥感区域地质调查的技术方法研究及应用	张树铭执笔 (77)
岩石光谱与某些地区的遥感地质找矿	张雯华 刘秉光 陆德复 (85)
对中国陆地线性构造与矿产关系的探讨	于志鸿 刘忠平 (93)
陆地卫星图象在“埋藏泥炭”资源普查中的应用	范士忠 赵承华 周克光 (103)
陆地卫星影象三门峡幅的线性构造及其交汇与 主要金属矿产的分布关系	韩广斌 (108)
内蒙霍各乞铜矿地区陆地卫星数字图象地质判读	阎积慧 陈怀亮 (119)
海南岛影象特征分析与地球物理场匹配的初步探讨	马昌和 王兴理 (124)
从卫星影象上初步分析有关琼州海峡两侧第四纪玄武岩的几个问题	陈上福 (127)
应用卫星象片对宝成铁路凤州至略阳段工程病害与区域构造的分析	王宇明 戈清萍 李福祥 (136)
利用资源卫星磁带数据估计森林蓄积量方法的研究——原理和方法	唐守正 徐冠华 (142)
应用多光谱卫星磁带数据进行森林自动分类的试验报告	陈振杰 (147)
小密度采样卫片扫描数据的微型机处理及其在土壤分类制图中的应用	曾志远 张绪定 孙立 (158)
土地资源的遥感分析	赵济 李天杰 潘茂芝 (170)
主要农作物和农业资源的波谱特性研究及其遥感信息解译	萧铨 寇有观 (175)
运用卫片目视解译方法对平原地区冬小麦和秋粮作物单产进行估算的探讨	冯承绩 承继成等 (186)
陆地卫星数字图象土壤目视解译初探	林培 马步洲 刘天增 (196)
遥感技术与物探方法结合在黄河三角洲地区寻找淡水的探讨	张心弘 李铁芳 苏民生 (204)

黄土高原区卫片的地貌及水文地质解译——陆地卫片在黄土地区的初步应用	李孟海 (211)
陆地卫星图象在洞庭湖水资源调查中的应用	刘侠 张树林 李湘莲 (218)
应用卫星多光谱图象解译淮河中游、洪泽湖区下垫面水文条件	程义 林文盘 彭斌 (225)
卫星图象在三江平原沼泽资源研究中的应用	刘兴汉执笔 (233)
利用遥感图象编制三江平原地区1:25万土地利用现状图的方法	李世顺 王迺斌 洪仲台 (239)
新疆博斯腾湖芦苇光谱特性及其在芦苇资源考察中的应用	丁志 刘培君 张琳 (245)
利用陆地卫星图象和数字资料对江苏海岸带进行分类的研究	唐文周 孙国清等 (252)
应用卫星CCT数据监督集群对莱州湾滩涂地貌因子定量分类及 经济贝类生产潜力的研究	刘宝银 张士魁 王法吉 (261)
渤海湾环境污染遥感图象分析	平仲良 (267)

陆地卫星多光谱遥感图象的几何校正

王 天 禧

(石油部石油勘探开发科学研究院)

本文主要介绍卫星多光谱遥感图象的几何校正及其制图的数学原理、计算方法、以及在引进的I²S101图象处理系统上所作的有关这方面的实验,以便需要进行遥感图象处理的广大用户对这一问题有一个基本的了解。

一、卫星多光谱遥感图象的几何特点

平常我们看到的地球的多种投影地图以及摄影图象都是基于静态条件摄制的。地球上的景物、投影平面、焦点(若有一个的话)也是彼此相对固定。如果我们称地球上的景物为象足点,用地理坐标经纬度 λ 、 φ 来定位,那么图象上相应的点就叫象点或象素,用离散化后的采样号或扫描行号 S 、 L 来表示,我们可以建立它们的关系:

$$S = f(\lambda, \varphi), \quad L = g(\lambda, \varphi)$$

或者

$$\lambda = F(S, L), \quad \varphi = G(S, L)$$

但是陆地卫星多光谱扫描图象时,地球是在不停地旋转,卫星是在不停地飞行,扫描镜在摆动,也就是在运动中成象,我们可称它为动态投影成象。象点与象足的关系应是

$$S = f_t(\lambda, \varphi) = \bar{f}(t, \lambda, \varphi)$$

$$L = g_t(\lambda, \varphi) = \bar{g}(t, \lambda, \varphi)$$

或

$$\lambda = Ft(S, L) = \tilde{F}(t, S, L)$$

$$\varphi = Gt(S, L) = \tilde{G}(t, S, L)$$

本文主要内容就是根据国内外有关文献,整理出由确定多光谱扫描图象的任一象点的象足点的地理坐标,并且在计算机上按给定的数学投影制图方法制成地图。我们曾在引进的I²S101系统中把132-32图象与1:10万地图进行比较,并进行了一些误差分析工作,其初步结论作为本文最后一部分内容。

上面讲到的那些关系式其实是一个几何坐标的变换,在图象处理中又称为几何校正。

二、几何变换的基本依据

上节讲到,象点与象足点几何关系式的建立依赖于地球的形状和运动,卫星的运动,摄象平台的姿态以及多光谱扫描的几何安排。本节就这些问题分别加以叙述。

8510024

(一) 地球

地球的表面是一个复杂而又不规则的曲面，在大地测量和制图学中经常把它看成是一个旋转椭球体。有时，甚至按球体来对待。

表1 几个常用的地球球体数据

球 名 称	长 半 轴 a (米)	偏 心 率 (e)
国 际 球 体	6378388	0.00672267002
克 拉 克 (1880)	6378249.145	0.00680351128
克 拉 索 夫 斯 基	6378245	0.0068934275

当把地球当作球体时，地理纬度即为地心纬度。但相对于椭球体来说，它们之间的关系是：

$$\operatorname{tg} \Phi = (1 - e^2) \operatorname{tg} \varphi \quad (1)$$

其中 Φ 是地心纬度。除了上述关系外，也可以把球体上的点作保形投影投影到球体上，即

$$\operatorname{tg}(45^\circ + \Phi/2) = \operatorname{tg}(45^\circ + \varphi/2) / \operatorname{tg}^e(45^\circ + \Psi/2)$$

这里 Φ 可用下式来定义：

$$\sin \Psi = e \cdot \sin \Phi \quad (2)$$

而当作球体时，取半径

$$R = N \cos \phi / \cos \Phi \quad (3)$$

而

$$N = \frac{a}{1 + \frac{e^2}{1 - e^2} \sin^2 \Phi} \quad (4)$$

以保证某一纬度线不变。

(二) 卫星轨道

已有的三颗陆地卫星的参数如下表：

表2 陆 地 卫 星 轨 道 参 数

轨 道 参 数	卫 星 一	卫 星 二	卫 星 三
a - 长半轴(km)	7285.438	7285.989	7285.776
i - 倾角(度)	99.906	99.210	99.117
Ts - 周期(分)	103.143	103.155	103.15
es - 偏心率	0.00107	0.001019	0.00133

由于陆地卫星轨道的偏心率非常小，我们常把它当作圆形轨道处理，特别在考虑地球自转造成星底点轨迹西退时更是这样，这时公式简化为：

$$\Delta \lambda e = \frac{T_s}{T_e} \Delta \lambda s \quad (5)$$

其中 $\Delta \lambda s$ 是卫星运动经过的弧度， $T_e = 1440$ 分，是地球自转的周期。

当把地球看成球体时，卫星在不同纬度上的航向H可由下式求出：

$$\sin H = -\cos i / \cos \phi$$

(三) 卫星姿态

在卫星飞行时，卫星的姿态（即摄影平台的姿态）是随时改变的。卫星的轨道，星底点的轨迹以及卫星高度的变化也是随时发生的。这些变化都影响扫描时象点与象足点的几何关系。在卫星飞行的过程中有各种仪器测得这些变化。在CCT磁带的第五个文件中（即SIAT文件中）有这些数据。下表是其中一例：

表3 卫星姿态数据表

相对图幅中心点的时间 (秒)	偏航角 Y(t) (弧度)	流动角 R(t) (弧度)	俯仰角 P(t) (弧度)
-13.80300	0.0056534	-0.0056229	-0.0047226
-10.35225	0.0056534	-0.0056229	-0.0047150
-6.90150	0.0056305	-0.0056000	-0.0047379
-3.45077	0.0056000	-0.0055771	-0.0047836
0	0.0055618	-0.0055466	-0.0048447
3.45075	0.0055313	-0.0055161	-0.0049216
6.90150	0.0055084	-0.0055008	-0.0049896
10.35225	0.0055008	-0.0054932	-0.0050430
+13.80300	0.0055237	-0.0055084	-0.0050735

表4 卫星轨道数据

相对图幅中心时间 t	星底点经度 λ_N (弧度)	纬度 φ_N (弧度)	高度 h (米)
-25	1.5192	0.62724	922100
-20	1.5176	0.62226	922080
-15	1.5161	0.61727	922050
-10	1.5145	0.61229	922020
-5	1.5130	0.60731	922000
0	1.5114	0.60232	921980
5	1.5099	0.59733	921960
10	1.5084	0.59235	921940
15	1.5069	0.58736	921920
20	1.5054	0.58237	921890
25	1.5039	0.57738	921870

显然，SIAT文件不能提供每一时间的卫星姿态参数，但我们可以根据上表用各种插值方法得到它们，也可以用最小平方误差法得到一条拟合曲线，从而得到任一时刻的卫星姿态及轨道位置。例如在I²S101系统中对高度h得到拟合方程： $h(t) = 921980 - 4.5909t + 0.012787t^2$ ，这时拟合误差 $\varepsilon = 2.0376$ 米。

要上表中查出每一象素成象时的卫星位置与姿态，就必须求出相对中心点的时间。

(四) 扫描几何

卫星多光谱扫描几何对于象素与象足点的几何关系的确定有两方面的影响：一是扫描镜的摆动角度 α ，它表示象足点与象素的连线与地球铅垂线的夹角。据设计，一个扫描行展开的视场角是 11.56° ，共有3240个采样号。按等分容易求出采样号为 S 的扫描角 $\alpha(S)$

$$\alpha(S) = \frac{(S - 1620)}{3240} \times 11.56^\circ$$

正常的扫描周期是 73.42 毫秒。每次六个扫描行同时扫描记录。我们把这六行记录称为同程扫描。假定图象中心点正好是某一同程六行程扫描的中心，并且图象中心点的象素为 S_0, L_0 ，那么相对于图象中心点的第 n 程扫描的中心为 S_0, L_{0n}

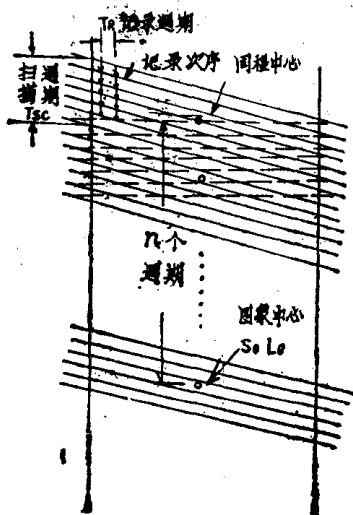


图 1 多光谱扫描几何

这时 S_0, L_{0n} 相对图象中心点的扫描时间就为

$$n = \frac{L_{0n} - L_0}{6}$$

这时 S_0, L_{0n} 相对图象中心点的扫描时间就为

$$T_{0n} = n \times 0.007342 \text{ 秒}$$

同程扫描中，各个象素相对于它的同程扫描中心的时间也是容易求出的，但必须注意如图所示的扫描记录次序与时间安排，因此得

$$T(s, l) = T_{0n} + (S_0 - S) \times 0.000009958$$

$$+ (L_{0n} - L) \frac{9.958 \times 10^{-6}}{26} \quad (7)$$

三、几何变换与投影制图

我们考虑了上述那些因素：地球、卫星轨迹、卫星姿态以及扫描几何，首先可以确定每个象素所对应的象足点的地理坐标，然后按选定的投影方法制图。也就是说在原始扫描的遥感图象上，象素 (S, L) 经过几何变换成为新的象素 $(\bar{S}, \bar{L})$ 。本节就是叙述如何由 (S, L) 变换成 $(\bar{S}, \bar{L})$ 的数学方法。

为此我们先建立一个直角坐标系。三坐标轴（X轴，Y轴和Z轴）这样选择：Z轴指向北极，X轴指向卫星当时正在的经线 λ_N ，Y轴的方向使整个坐标系是右手坐标系。坐标原点在地球中心。这里 λ_N 可由表 4 中查出，所用的 t 值由 (7) 式求出。在这个坐标系里，地球椭球面满足

$$\frac{x_1^2 + y_1^2}{a^2} + \frac{z_1^2}{(1 - e^2)a^2} = 1$$

它与经纬度的关系式是：

$$\Delta\lambda = \text{tg}^{-1} y_1 / x_1$$

$$\Phi = \text{tg}^{-1} \frac{z_1}{\sqrt{x_1^2 + y_1^2}} \quad (8)$$

Φ 是地心纬度，代入 (1) 可与地理纬度互相转换。同时，我们还可以确定扫描角度 α 以及卫

星姿态各项参数, 所得的 (S, L) 的扫描射线应满足方程:

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{pmatrix} = k \begin{pmatrix} \sin\Phi & 0 & \cos\Phi \\ 0 & 1 & 0 \\ -\cos\Phi & 0 & \sin\Phi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos H & \sin H & 0 \\ -\sin H & \cos H & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos y & -\sin y & 0 \\ \sin y & \cos y & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos R & \sin R \\ 0 & \sin R & \cos R \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos P & 0 & \sin P \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin P & 0 & \cos P \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ \sin\alpha \\ \cos\alpha \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} a_s \cos\Phi \\ 0 \\ a_s \sin\Phi \end{pmatrix}$$

$$= k \begin{pmatrix} x_{1a} \\ y_{1a} \\ z_{1a} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} x_{10} \\ y_{10} \\ z_{10} \end{pmatrix} \quad (9)$$

$$\text{其中: } a_s = a \left(\frac{1 - e^2}{1 - e^2 \cos^2 \Phi} \right)^{1/2} + h$$

h, y, R, P 可由表查得, 同时查得 φ_N , 代入求出 Φ , 再由 (6) 式求出 H , 其中 R 是参变量。由于象足点是上述射线与地球的交点, 故 k 满足:

$$\left(x_{1a}^2 + y_{1a}^2 + \frac{z_{1a}^2}{1 - e^2} \right) R^2 + 2 \left(x_{1a} x_{10} + y_{1a} y_{10} + \frac{1}{1 - e^2} z_{1a} z_{10} \right) R + \left(x_{10}^2 + y_{10}^2 + \frac{1}{1 - e^2} z_{10}^2 \right) - a^2 = 0$$

由上式解出 k 代入 (9) 得 x_1, y_1, z_1 ; 再代入 (8) 就得出 $\Delta\lambda$ 与 Φ (S, L), 进而由 (1) 求出 $\varphi_{S, L}$ 与 $\lambda_{S, L}$

$$\lambda_{S, L} = \lambda_N + \Delta\lambda$$

$\varphi_{S, L}$ 与 $\lambda_{S, L}$ 是点 (S, L) 在地球上的坐标, 必须按要求把它投影到平面上制成地图。在 I^2S101 系统中有各种圆锥和圆柱投影方法供选用。例如高斯——克吕格投影是我国常用的制图投影。其投影坐标按下式计算:

$$x = S + \frac{\lambda^2 N}{2} \sin\varphi \cos\varphi + \frac{\lambda^4}{24} N \sin\varphi \cos^3\varphi (5 - \operatorname{tg}^2\varphi + 9\eta^2 + 4\eta^4 + \dots) + \dots$$

$$y = \lambda N \cos\varphi + \frac{\lambda^3}{6} N \cos\varphi (1 - \operatorname{tg}^2\varphi + \eta^2) + \frac{\lambda^5 N}{120} \cos^5\varphi (5 - 18\operatorname{tg}^2\varphi + \operatorname{tg}^4\varphi) + \dots$$

其中 S 是经线弧度。

$$S = a(1 - e^2) \left\{ \varphi + \frac{3}{4} e^2 (\varphi - \sin \varphi \cos \varphi) + \frac{15}{32} e^4 \left[\frac{3}{2} (\varphi - \sin \varphi \cos \varphi) - \sin^3 \varphi \cos \varphi \right] + \dots \right\}$$

$$N = a(1 - e^2 \sin^2 \varphi)^{-\frac{1}{2}}$$

$$\eta = \frac{e}{(1 - e^2)^{\frac{1}{2}}} \cos \varphi$$

在数字图象中, x 、 y 坐标需转换为采样号和行号 ($\bar{S}$, $\bar{L}$), $\bar{S} = \left[\frac{y - y_{\text{MIN}}}{\Delta y} \right]$, $\bar{L} = \left[\frac{x_{\text{MAX}} - x}{\Delta x} \right]$ 。到此为止, 只要把 (S , L) 的象点搬到 ($\bar{S}$, $\bar{L}$) 上就简单完成了几何校正以及投影制图的全过程。

四、计算机上的实现

根据上二节的叙述, 对多光谱扫描图象, 我们能计算每一个象素相应象足点的地理坐标, 而且按照所需的投影制成地图。但是一幅扫描图象是 3240×2340 个象元, 每一个象元都按上述步骤计算其坐标变换, 其工作量太大了。解决的办法是在原始图象上选取一些称之为锚点的点 (见图 2), 在这些点 (S_i , L_i) ($i = 1, \dots, I$) 上完成上述计算, 得到它最后的投影坐标 ($\bar{S}_i$, $\bar{L}_i$)。

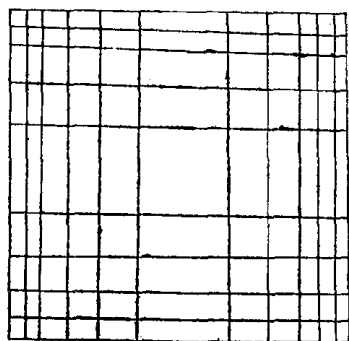


图 2 典型锚点格网

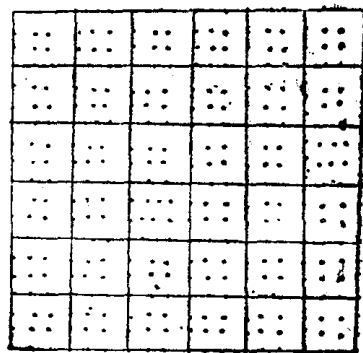


图 3 输出图形的分块与锚点

在两组坐标间用最小二乘法得到二元多项式的拟合方程:

$$S = P(\bar{S}, \bar{L}) = \sum_{j, k} P_{j, k} \bar{S}^j \bar{L}^k$$

$$L = Q(\bar{S}, \bar{L}) = \sum_{j, k} q_{j, k} \bar{S}^j \bar{L}^k \quad (10)$$

显然, 用上式代替逐个象元坐标变换的计算可以大大节省时间, 但是要保证适当的精度就必须要求 $P(\bar{S}, \bar{L})$ 和 $Q(\bar{S}, \bar{L})$ 是高阶的二元多项式, 也就是要增加运算量。为了既保证精度, 又节约计算机的计算时间, 在计算机上作几何变换常采取第二个步骤, 这就是把输出图象分成若干片 (见图 3), 在每一片的四个边界上选取足够的锚点 ($\bar{S}_n$, $\bar{L}_n$), 按 (10) 式算出相应的点 ($\bar{S}_n$, $\bar{L}_n$)。对这两组坐标间再一次用最小二乘法得到低阶的拟合多项式。

当然，划分的块越小，拟合多项式的阶数就越低。如果拟合多项式是线性的或双线性的话，那就很容易在计算机上快速地进行坐标变换。

当我们在坐标变换中固定 $\bar{L}$ ，也就是说，要得到几何校正投影图形的某一行时，变动 $\bar{S}$ 就得到一串 (S, L) ，这一串 (S, L) 就是原始图象上一串点，连结起来就是一条曲线。注意 (S, L) 并不与网格点上的中心相重合，因此就存在着重新采样的问题。这是多光谱扫描图象几何变换存在的另一个问题，但是它不影响图象的几何精度，只影响几何变换后的图象的质量。目前计算机通常采用三种重采样的方法：立方样条插值法、双线插值法和最近邻域法。从节约时间来讲，最近邻域法最好；从保证质量来讲，立方样条插值法最好。下图是最近邻域法的示意图。

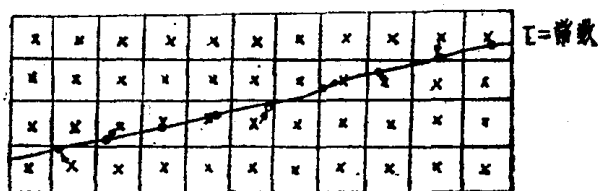


图4 最近邻域法示意图

× 表示原始图象象元中心位置

○ 表示输出图象的象元中心到原图的几何变换

综上所述，我们可以把在计算机上进行多光谱扫描图象几何变换的过程用图5表示出来。

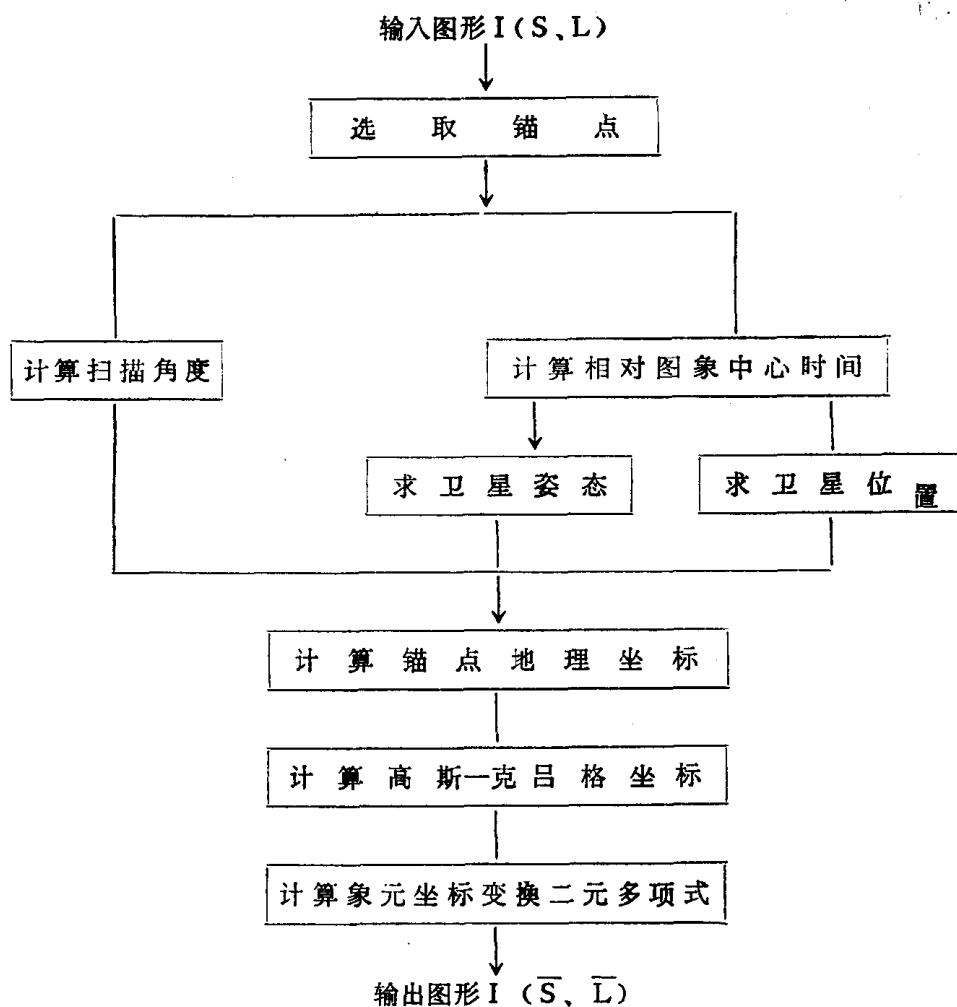


图5 几何变换流程图

五、几何变换精度的测定

前面描述的多光谱扫描遥感图象的几何变换还不是尽善尽美的。首先有许多因素无从考虑，例如大气层引起扫描射线的折射，这依赖九百多公里厚的大气密度的分布，我们很难确切地知道卫星扫描成象时当地的大气密度分布情况。既使由 SIAT 文件提供的那些数据也总是带有测量上或者计算上的误差。又如把地球表面看成理想的椭球体与实际情形相比，也有各种各样的误差。要把陆地卫星多光谱扫描图象用于科研与生产，不得不关心它的几何精度。的确，在陆地卫星发射前后，美国、加拿大以及印度等国对此都作过理论上和实际上的分析，在参考文献〔1〕中列举了如下一些结果：

1. 美国的 Colvocoresses 在 1970 年陆地卫星发射之前曾作了纯理论的研究。他预告说，从地球曲率、地形起伏、大气折射、摄像机的倾斜以及制图投影等综合考虑，几何畸变误差大约是 50 米。到了 1973 年陆地卫星发射之后，他和 McEwen 报告说：大多数 MSS 图象的均方根畸变在 200 米到 450 米的范围内。

2. Kratky 和 Schoemaker 在 1974 年分别报告说：多光谱扫描图象的几何畸变是 125 米，或者说均方根向量在 143 米到 273 米之间。

3. Derouchie、Forest、Wong 和印度的 Gupta 等人曾先后报告说，在选择精确的地面控制点并用高达二十阶多项式作几何纠正之后，几何畸变的均方根误差大约在 60 米左右。

我们在引进了 I²S101 系统之后，对 132—32 幅的 CCT 磁带进行了几何校正并制成高斯—克吕格投影图象。在计算机上对图象的几何精度进行了测定，得到了图 6 和表 5。图表中的这些误差都是在一幅图内相对于某一点的误差。我们从计算机上直接测量图象上一些明显地点到某一选定点的距离，同时在 1:10 万的地图上读出相应的坐标。为了比较其精度，在图象处理中把遥感图象转向正北，这样便于在计算机上直接推算其剩余误差向量，从而避免了象纸与成象过程中各种因素的影响。表中的均方根误差定义为：

纸与成象过程中各种因素的影响。表中的均方根误差定义为：

$$\text{RMS}_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (DX_i)^2}{N}}$$

$$\text{RMS}_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (DY_i)^2}{N}}。$$

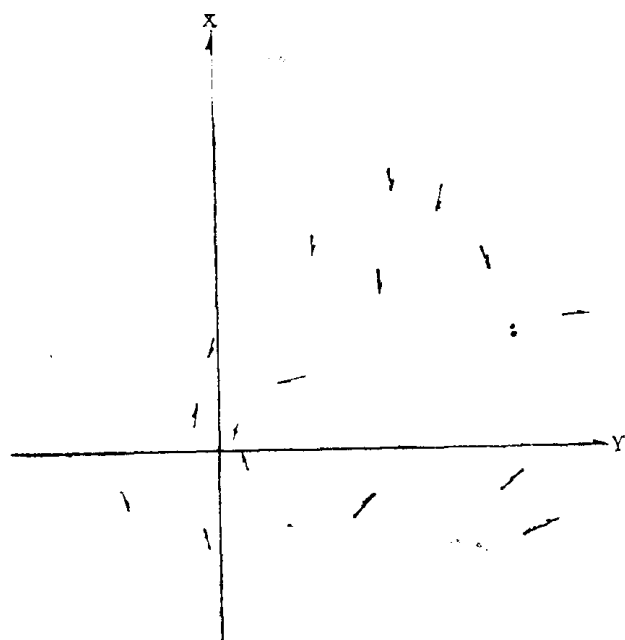


图 6 132—32 遥感图象几何校正的剩余误差向量

比例尺：底图 1:200 万；剩余向量 1:10 万

当然，在加控制点时，用高阶多项式拟合能得到很好的精度，但花费的代价也是高的，因此有人采用仿射变换：

$$\begin{aligned}\overline{X} &= a_1 x + b_1 y + c_1 \\ \overline{Y} &= a_2 x + b_2 y + c_2\end{aligned}$$

变换中的系数 $a_1, a_2, b_1, b_2, c_1, c_2$ 可用最小二乘法由控制点确定。我们从理论上分析了

它的拟合误差，结果表明几何精度也有所提高。显然，仿射变换用低价的多项式减少了运算量，而且还可能用快速的方法来加快几何校正的速度〔1〕。

感谢测绘研究所张家庆同志提供资料和意见。

表5 几何校正剩余误差

取点序号	高斯-克吕格投影后的剩余误差		加控制点仿射变换后的剩余误差	
	Dx (km)	Dy (km)	Dx (km)	Dy (km)
1	0.08	0.01	0.08	-0.07
2	0.14	-0.12	0.14	0.12
3	-0.07	0.25	-0.23	0.01
4	-0.01	-0.17	0.07	-0.09
5	0.02	-0.35	0.10	-0.11
6	0	0	0	0
7	-0.13	0.20	-0.13	0.12
8	0.08	0.10	0.08	0.10
9	0.68	0.38	0.28	-0.18
10	-0.12	-0.36	0.04	0.04
11	-0.10	-0.37	0.05	0.11
12	-0.01	-0.43	0.07	-0.02
13	-0.76	-0.18	-0.68*	-0.02
14	0.14	-0.32	0.14	0.00
15	0.35	0.02	0.19	0.10
16	0.01	-0.46	0.23	0.18
17	0.23	0.41	-0.02	0.09
18	0.25	+0.25	-0.07	-0.15
19	-0.31	-0.59	-0.07	-0.03
20	-0.15	-0.55	0.01	0.01
RMS	0.273	0.324	0.197* (0.125)	0.096

* 13号点地图与图象的首都机场不符合

参 考 文 献

- (1) M. Kirby and D. Steiner, "The Appropriateness of Affine Transformation in the Solution of the Geometric Base Problem in Landsat Data", Canadian Journal of Remote Sensing, Vol. 4, No. 1, April 1978.
- (2) A. K. Bagchi and R. C. Badiatia, "Study of Geometric Accuracy of Landsat Imageries", Indian Surveyor January, 1978, No. 1.
- (3) 胡毓钺编, "数学制图学", 中国工业出版社, 1964。
- (4) U. S. Geological Survey, "Landsat Data Users Handbook".
- (5) S. W. Murphrey, R. P. Depew and R. Bernstein, "Digital processing of conical Scanner Data", photogrammetric Engineering and Remote Sensing, FEB, 1977.

△ 希尔伯特变换方向滤波

王 天 禧

(石油部石油勘探开发科学研究院)

本文介绍用希尔伯特(Hilbert)变换做遥感图象方向滤波的数学原理、计算方法、程序运行试验以及与其它方向模版滤波性能的对比。

一、二维富里哀变换

遥感图象至少是二维信息,要设计各种滤波并讨论这些滤波的性能,在富里哀变换的谱域内进行有很大的优点。所以,在讨论用希尔伯特变换做方向滤波之前,复习一下二维富里哀变换的若干性质是必要的。

对于二维图象函数 $f(x, y)$,富里哀变换的定义如下:

$$F(u, v) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) e^{-i2\pi(ux+vy)} dx dy \quad (1)$$

简单记为

$$F(u, v) = F(f(x, y))$$

富里哀逆变换是

$$f(x, y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} F(u, v) e^{i2\pi(ux+vy)} du dv \quad (2)$$

这样,我们可以用下面简单记号记这一对富里哀变换:

$$f(x, y) \longleftrightarrow F(u, v)$$

在二维富里哀变换的诸性质中,对我们最有用的性质有如下几条:

相似性: 即

$$F(f(a_1x + b_1y, a_2x + b_2y)) = (A_1B_2 + A_2B_1)F(A_1U + A_2V, B_1U + B_2V) \quad (3)$$

其中: $A_1 = b_2/J$, $B_1 = -b_1/J$,

$$A_2 = -a_2/J, B_2 = a_1/J, J = a_1b_2 - a_2b_1。$$

旋转性: 即在上式中令

$$a_1 = \cos\theta, \quad b_1 = \sin\theta, \quad a_2 = -\sin\theta, \quad b_2 = \cos\theta,$$

则有

$$\begin{aligned} & F(f(x\cos\theta + y\sin\theta, -x\sin\theta + y\cos\theta)) \\ &= F(u\cos\theta + v\sin\theta, -u\sin\theta + v\cos\theta) \end{aligned} \quad (4)$$

可分性: 设 $f(x, y) = f_1(x)f_2(y)$,

且有 $f_1(x), f_2(y)$ 的一维富里哀变换为 $F_1(u), F_2(v)$, 那末

$$\begin{aligned} F(u, v) &= F(f(x, y)) = F(f_1(x)f_2(y)) \\ &= F(f_1(x))F(f_2(y)) = F_1(u)F_2(v) \end{aligned} \quad (5)$$

褶积定理: 设二维函数 $f(x, y)$ 与 $h(x, y)$ 进行二维褶积运算得 $g(x, y)$, 即

$$g(x, y) = \int \int f(\xi, \eta) h(x - \xi, y - \eta) d\xi d\eta \quad (6)$$

且 $f(x, y)$ 和 $h(x, y)$ 分别有它的富里哀变换 $F(u, v)$ 和 $H(u, v)$, 那末

$$F(g(x, y)) = G(u, v) = F(u, v)H(u, v) \quad (7)$$

线性: 若

$$g(x, y) = af_1(x, y) + bf_2(x, y) \quad (8)$$

则有

$$G(u, v) = aF_1(u, v) + bF_2(u, v) \quad (9)$$

对称性: 若 $f(x, y)$ 是实值函数, 则

$$F(-u, -v) = \overline{F(u, v)}$$

在计算机上处理的图象是离散采样的, 因此, 还必须重温一下离散富里哀变换的某些性质和离散化的图象:

$$f_{kj} = f(k\Delta x, j\Delta y)$$

$\Delta x, \Delta y$ 是采样间隔, 它的富里哀变换记为

$$F(m, n) = \sum_{k=0}^K \sum_{j=0}^J f_{kj} \cdot e^{-2\pi i \left(\frac{m}{K} k\Delta x + \frac{n}{J} j\Delta y \right)} \quad (10)$$

其中 $\Delta x, \Delta y$ 分别是沿 x 轴方向与 y 轴方向的采样间隔。显然它有周期性:

$$F\left(m + \frac{1}{\Delta x}, n\right) = F(m, n)$$

$$F\left(m, n + \frac{1}{\Delta y}\right) = F(m, n) \quad (11)$$

二、线性影象的富里哀分析

方向滤波的主要任务就是突出某一方向或某一角度的线性影象, 压除或滤除其它方向的影象或干扰。下面我们用数学方法表达线性影象并分析它的频谱特性。

我们考虑下面两种简单的线性影象: 第一种如图1所示, 其数学表示为:

$$f(x, y) = \begin{cases} a \approx 0 & (x, y) \in D \\ 0 & (x, y) \notin D \end{cases}$$

其中 D 是 xy 平面上一个矩形区域, 长为 L , 宽为 W , 既然考虑的是线性影象, 应有 $L \gg W$ 。

这种线性影象可以看作是垂直方向(或水平方向)的线性影象旋转了一个角度 θ 而得到的。我们首先考查垂直方向线性影象的富里哀变换, 再应用相似性或旋转性就可以得到更一般的线性影象的富里哀变换了。

垂直方向的线性影象可用它的定义域 D 来定义, 如图2所示, 这时图象是可分的。从图3所示的剖面图可知:

$$f(x, y) = f_1(x)f_2(y)$$

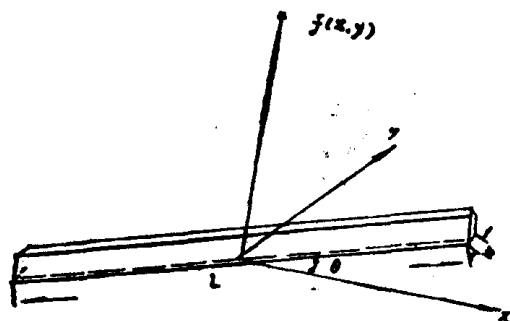


图1 第一种线性影象示意图