

遥感图像 对地定位研究

李树楷 编著

测绘出版社

遥感图像 对地定位研究

李树楷 编著

测 绘 出 版 社

(京)新登字 065 号

内容简介

本书是著者多年研究成果的汇集。从遥感图像的几何机理入手,分析了遥感图像的几何特征及影响几何精度的多种因素。以卫星 MSS、TM、航空 MSS 的未经几何粗纠正的数据为主要研究对象。对比分析了多种几何模式,确定了最佳模式。涉及到理论、模式、实验验证、精度分析的全过程。阐述了与几何处理有关的 TM 双向扫描误差改正,地形高差引起的投影差改正,遥感适用 DEM 生成方法,地学编码图像的生成技术,三景连续图像处理技术等。本书也包括了新一代动态 GPS 遥感图像对地定位系统的论文和最新试验研究成果,开发了系统的软件包。

遥感图像对地定位研究

李树楷 编著

*

测绘出版社出版

北京朝阳大地印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

*

开本 787×1092 1/16·印张 11.5·字数 246 千字

1991 年 12 月第一版·1991 年 12 月第一次印刷

印数:0001—1000 册·定价:12.00 元

ISBN 7-5030-0517-3 / P·195

序 言

遥感图像对地定位是遥感应用技术的重要组成部分。定位、定性的密切结合组成了遥感应用技术系统。

遥感图像对地定位的理论基础,主要是遥感图像的几何学或称之为遥感图像计算几何学。主要研究遥感图像数据获取过程中的几何特征、四维空间分布规律、空间分辨率、数学模式、地学编码化理论与方法、处理技术、遥感数据的空间分布规律、数学模型与遥感数据复合匹配模式。

遥感图像对地定位技术的发展包括两个方面:遥感器几何保真度及对地定位性能的进展(MSS→TM→SPOT→ERS-1);遥感图像对地定位模式研究进展(系统纠正→射影变换(二维)→共线条件+DEM(四维)→立体图像模型→多景连续模型→地学编码图像)。以地面控制点作为遥感图像对地定位技术的基础是以往研究的共同特点。

遥感图像对地定位的研究是应用基础性研究,在国家自然科学基金委员会、所长基金的资助下及其它渠道资助下,前后历数年之久陆续完成的。

本书共收录论文 12 篇,是著者关于遥感图像对地定位问题研究的专辑。以应用最广泛的多种遥感图像为研究对象,从分析图像数据获取时的几何特征入手,包括了几何模式、数据格式、处理技术、试验验证、可信度检验等完整的论文系列。开发了较之国外图像处理设备中的软件具有特色的应用软件系统。

随着 GPS 技术的出现,遥感图像对地定位的研究在理论、模式及处理技术方面将出现翻天覆地的变化。为两个发展阶段的承上启下,该书中收录了作者追踪动态 GPS 对地定位高技术发展的试验研究报告和发展动态 GPS 遥感图像对地定位系统的方向性研究论文。

本书在出版前作为项目的评审中,得到王之卓教授,郑威、李志荣、张晋研究员,周启光、朱成麟、张新、杨德麟教授,蒋景瞳高级工程师的高度评价和热情支持,在此表示感谢。国家自然科学基金委员会和中国科学院遥感所对项目的经费支持,在此出版之际也一道表示谢意。

项目组主要成员还有刘彤、周丽华。刘彤还负责全书编辑工作(文字输入、文字排版、图表整理和校对修改等)。

由于时间仓促,书中不当之处在所难免,热诚欢迎批评指正。

著者 1991 年 9 月 1 日

目 录

1、遥感行扫描图像数据的几何特征.....	(1)
2、遥感图像的几何模式研究	(14)
3、卫星多谱段扫描图像 MSS 的定位问题	(37)
4、卫星 MSS CCT 数据的再采样	(52)
5、多幅连续卫星图像的几何纠正	(66)
6、航空扫描图像几何模式的研究	(76)
7、遥感适用 DEM 生成模式的研究	(96)
8、资源卫星 TM CCT 精纠正高差引起的投影差改正的实验研究	(109)
9、LANDSAT TM 双向扫描误差改正模式研究.....	(121)
10、遥感信息对地定位技术的变革性进展	(130)
11、GPS 在遥感信息对地定位应用中的试验研究	(137)
12、遥感应用技术系统的技术支柱——动态 GPS 遥感信息对地定位系统 ...	(145)
附:各篇文章的英文摘要	(156)
主要应用程序目录.....	(163)
试验样片 13 张	(164)

遥感行扫描图像数据的几何特征

李树楷

[摘要]:遥感图像对地定位模式主要有两类:一类是多项式法;一类为共线方程式法。实际应用中多用几何粗处理后的图像数据。本文从行扫描传感器运行参数的设计特点和结构分析入手,分析了数据流的形式,探测器排列,采样时序,位置误差,扫描镜运动方程,波段匹配精度,TM 的扫描线重叠改正, TM 双向扫描误差,以及外部因素中的地球自转,地形高差,卫星高度变化,传感器位置与姿态变化等对遥感图像对地定位的影响。这是根据应用目的研究相应几何模式的基础。以 A 数据为处理对象,以带有附加参数的共线方程式的模式是实现高精度对地定位的最佳模式。

[关键词]:几何特征,多中心投影,共线方程式。

前 言

遥感图像中包含着丰富的信息。应用这类图像数据作分类,分析,判断各种专题要素,分析印证各种生物地学规律之际,首要的是清楚地了解各类遥感图像数据的生成机制。主要包括空间几何机制和物理机制。为了方便使用这些数据,尚需了解数据的记录格式,以此确定应用时的数学物理处理过程。

遥感图像数据是一种波谱能量数据。遥感技术发展至今,仅据一种波谱能量数据去分辨出千万种专业要素是不可能的。多时相、多平台、多波段、遥感与非遥感数据、生物地学规律知识和多种判据的介入和复合分析已成为遥感数据处理的主流。这种复合分析同样必须研究各种数据的机理,数据的格式标准化,并在统一的几何空间和统一的物理尺度的基础上才有意义,使这种复合分析能够揭示自然界的本来面目或得出接近于符合自然的结果。

遥感图像数据的种类随着遥感器的发展,已从使用了近百年的全色摄影图像发展为图像数据系列:多光谱、彩红外、彩色全息图像;数据载体由感光片发展到磁带、光盘;数据表达形式已由模拟信号发展到数字记录;数据覆盖的波谱范围,从可见光到紫外、红外、微波;数据通道由原来的一种发展到 1~200 个通道系列;平台高度从地面直至太空;数据重复获取周期由一次获取发展到几天到二十几天的重复观测周期。

遥感图像数据种类繁多,相应于各种应用目的,各具有不同的应用潜力,其数据生成机制各具特点。分辨率、光谱段、带宽、光谱响应特性、能量的物理与几何的传输过程均不相同。研究数据生成时的几何与物理过程是正确地复合分析这些数据的关键。

适于宏观地学分析沿用至今的目视识别、目视转绘是根据专家已有的地学知识和人们生活经验、工作经验的积累。这种经验积累多为可见光范围的知识。对于具有上百个波段的成像光谱仪图像、全息图像、雷达图像等，人们尚无“目视识别”这类图像的经验，这类图像往往应用于更具体的目标识别，采用的方法以复合分析方法居多。波段匹配精度，波谱响应特性的标准化更显得重要。

本文仅就常用的资源卫星行扫描图像，航空行扫描方式的图像数据生成时的几何特征模型分以下方面加以阐述。

一、 LANDSAT MSS 图像的空间几何特征模型

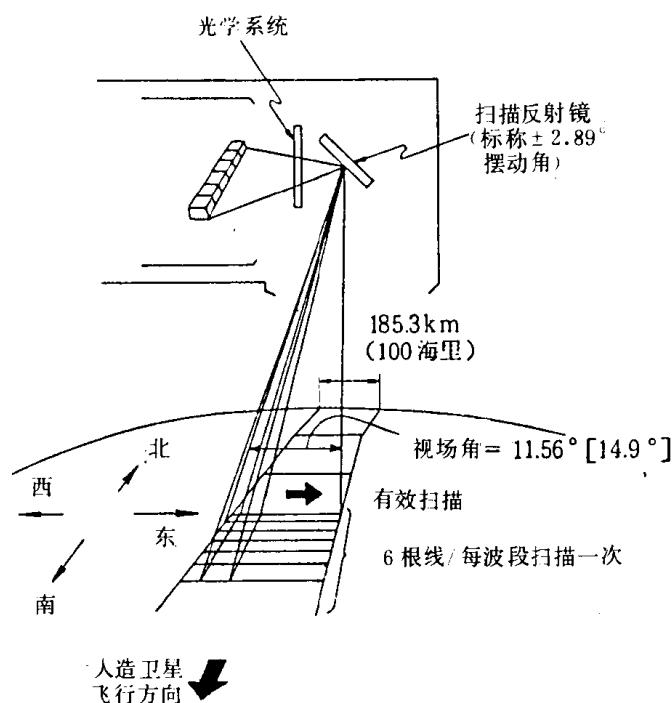


图 1 MSS 地面扫描模型

MSS 搜集数据时的地面扫描模型如图 1 所示。MSS 是沿轨道垂直方向从 920km 高空[705km]对地表 185.3km 宽的地面连续扫描的传感器。扫描是在与卫星飞行方向的垂直方向上由振动式扫描反射镜完成的。从西向东扫描时为实效扫描（取得数据）。每个波段 6 个探测器，4 个波段共 24 个探测器，一次扫描过程（从西向东）每个波段各得 6 根扫描线的数据。这样随卫星的前进从北到南顺次获取数据，对于任一波段而言，均成为由 6 根扫描线为一个单元连续数据带。

LANDSAT 4.5 号的 MSS 与 1, 2, 3 号基本相同，只是卫星高度[705km]比 1, 2, 3 号低，地面分辨率作了改进，括号[]内的数字是 4, 5 号卫星的数据。

MSS 的波段范围如表 1 所示。

表 1

波段	波长(μm)		应用范围
	LANDSAT1, 2, 3	LANDSAT 4, 5 号	
4	0.5~0.6	0.495~0.605	仅 3 号上使用
5	0.6~0.7	0.603~0.698	
6	0.7~0.8	0.701~0.813	
7	0.8~1.1	0.808~1.023	
8	10.4~12.6		

4~7 波段各有六个接收元件。由具有正方形的输入截面的光导纤维将入射到 MSS 的焦面上的光能引导到接收元件上。在接收元件的前面有光学滤波器予以分光。图 2 表示接收元件搜集数据时的地面情况。各接收元件的瞬时视场 IFOV (Instantaneous Field of View) 是由望远镜的组合焦距, 标称卫星高度, 光导纤维的截面积来决定的。星下点为 $79\text{m} \times 79\text{m}$ [$83\text{m} \times 83\text{m}$]。振动式扫描反射镜由西向东扫描时搜集数据。由东向西扫描时不搜集数据, 由旋转快门遮蔽地面光的入射。公称扫描频率为 13.62Hz 。也即周期为 73.42msec , 扫描时间和返回时间各 36.71msec 。搜集数据的时间, 考虑到扫描速度的非线性, 限于 33.0msec 范围内。

这样一来振动式扫描反射镜从西向东扫描一次所得到的四个波段各 6 根扫描线数据, 其在地面上的长度相当于卫星飞行方向的 474m [498m]。为了以这样的间隔获取地面上连续的图像, 也即使下一次扫描的第一根扫描线与前一次扫描的第六根扫描线间地物连续, 则卫星的地速必须是 6.456km/sec [6.783km/sec]。卫星上传感器 MSS 的光学系统的焦距, 光导纤维的截面积, 振动式扫描反射镜的周期以及卫星的高度, 速度等均按满足上述条件设计的。

MSS 从各个接收元件连续搜集数据形成一个数值化数据流。图 3 是 MSS 的接收元件的排列及搜集数据的顺序图, 图中方框表示安置在 MSS 焦面上的正方形光导纤维的配置, S_i 是相应的探测器件, i 代表采样顺序号。

振动扫描反射镜频率是 13.62Hz , 各探测器相当于一个通道。24 个探测器相当于 24 个通道。各探测器的模拟信号, 以一字符 6 比特编码之, 各字符相当于一个像元, 每个探测器的采样时间是 $0.3983\mu\text{sec}$ 。25 个探测器 (包括 8 波段一个探测器, 图 3 中

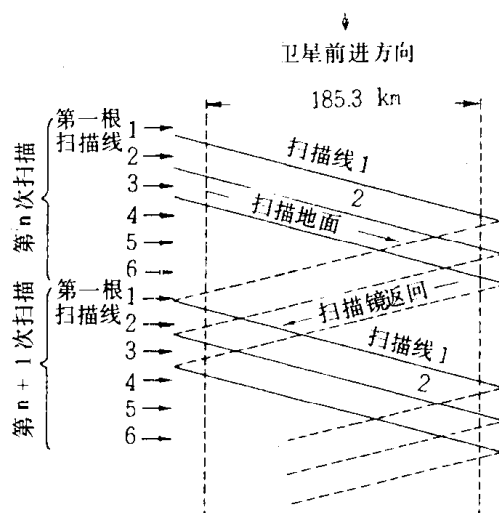


图 2 各探测器的地面扫描模型

未绘出) 共需 $9.958\mu\text{sec}$ 的时间。

实际获取图像数据的时间,从西到东一次扫描是 33msec , 采样开始与结束时, 振动扫描镜的角度由 2 个角度探测器测出并调整之。振动扫描镜以 $5.612\text{m} / \mu\text{sec}$ [$6.82\text{m} / \mu\text{sec}$] 的扫描速度前进。每个探测器的瞬时视场是 $79\text{m} \times 79\text{m}$ [$83\text{m} \times 83\text{m}$], 每个像元数据, 探测器需采样时间 $9.958\mu\text{sec}$ 。在这段时间里, 振动扫描镜又向东移动了 (相当于地面距离) $5.612\text{m} \times 9.958 = 55.88\text{m}$ [67.9m]。这时这一像元数据采集完毕, 后一像元数据开始采集。后一像元数据中实际上将包含前一像元的 $23\text{m} \times 79\text{m}$ 的地面信息以及 $56\text{m} \times 79\text{m}$ 的新的地面信息。等价处理之相当于地面上是 $56\text{m} \times 79\text{m}$ [$68\text{m} \times 83\text{m}$] 的格网块的采样。未经纠正的 MSS 数据以一个像元面积作为 $56\text{m} \times 79 \times [68\text{m} \times 83\text{m}]$ 处理, 在测定地面专题要素面积时, 可认为像元间的旁向重叠是可以忽略的。

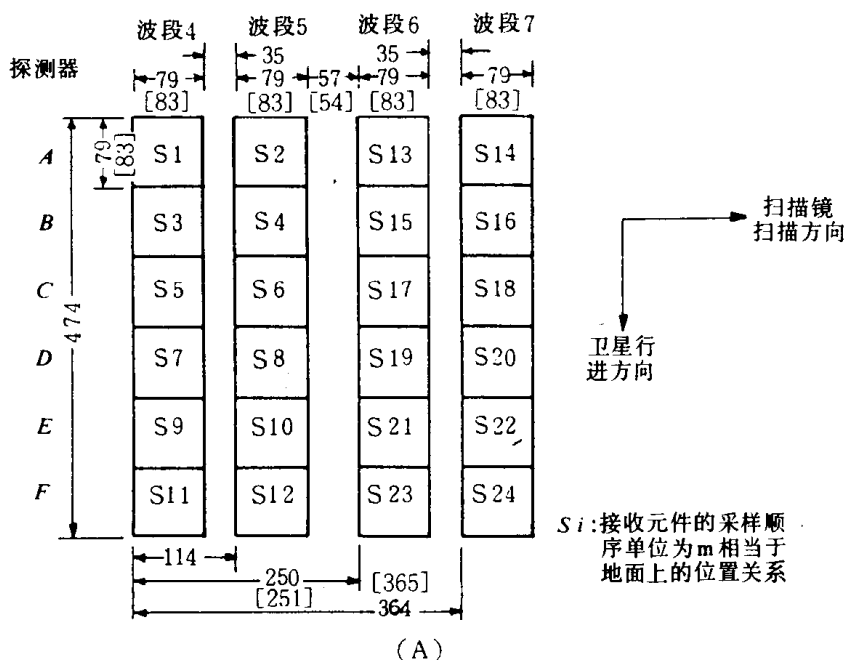


图 3 接收元件的配置及采样顺序

探测器采样按图 3 所示顺序进行的结果, 使同一波段的第一个探测器与最后一个探测器间采样时间间隔为 $3.983\mu\text{sec}$ 。这相当于地面上 22.3m (未考虑地球自转的影响)。这样的位移只能在几何处理中消除。

由图 3 可知, 各个波段的检测器配置均相当于地面上相距一定的间隔, 如 5 波段与 4 波段错开 114m ; 6 波段与 4 波段错开 250m 等。在制作 MSS CCT 时分别要在 5, 6, 7 波段数据前加上空白像元数据填充之。5 对 4, 6 对 4, 7 对 4 分别填以 2, 4, 6 个空白像元数据。这些像元宽度与图 3 上相应波段间距离之差可得出波段配准精度。

探测器获得的模拟信号经增强及 A/D 变换后, 形成数据流, 经 A/D 变换后以 6 比特作为一个字符, 第七波段分成 0~63 (其它波段为 128 灰阶) 共 64 灰阶与传感器的其他数据以 15Mbps 的速率向地面处理中心传输。

二、 LANDSAT TM 图像的空间几何特征模型

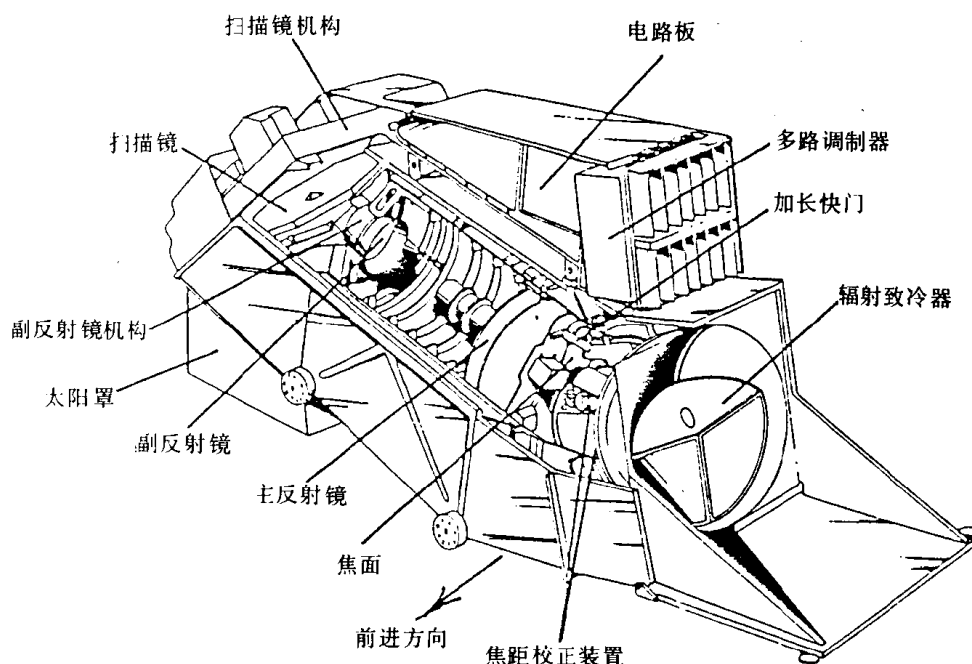


图 4 TM 传感器结构图

LANDSAT 4, 5 号上搭载的 TM 传感器是 MSS 传感器的改进型。与 MSS 比较, 在分辨率、波段数、几何精度以及辐射测量精度、辐射分辨率等方面均有改进, 称之为第二代资源卫星传感器。换言之 TM 是一种改进型的多光谱扫描仪。同时扫描地面搜集七个波段的数据。其中 1~5 及 7 波段其瞬时视场为 0.425^{-4} 弧度, 卫星高度 705km, 其瞬时视场相应的地面尺寸为 30m。第 6 波段 (热红外波段) 瞬时视场相应地面 120m。各波段范围瞬时视场相应的地面尺寸如表 2 所示。

TM 传感器的外貌如图 4 所示。TM 传感器上安有太阳罩, 太阳罩开口孔的上方安置有扫描镜及其驱动机构、控制部件、扫描监测器等。光学系统的主镜组的后面安置有扫描线改正器。1~4 波段的探测器位于主焦面上, 每个波段有 16 个探测器件。中红外的 5 和 7 波段, 其探测器件位于致冷系统的焦面上, 也各有 16 个探测器件。热红外 (6 波段) 有 4 个探测器。扫描镜一次扫描得到 1~5, 7 波段各 16 根扫描线

的数据及 6 波段的 4 根扫描线的数据。共 100 条扫描线的数据量。

表 2

波段	波段范围	瞬时视场
1	0.45~0.52	30m
2	0.52~0.60	30m
3	0.63~0.69	30m
4	0.76~0.90	30m
5	1.55~1.75	30m
6	10.4~12.5	120m
7	2.08~2.35	30m

扫描镜在扫描过程中有一个扫描角探测器在扫描镜前扫时（西→东称前扫，东→西称后扫）产生“开始”、“中间”、“结束”信号；后扫时产生同样性质的信号以送往多路调制器的时间控制器中，扫描“结束”信号表示数据格式的末端。依此信号，位于主焦面前面的扫描线改正器动作以改正重叠。这样扫描角探测器产生的脉冲成了扫描改正器等（校正快门、滤波快门及直流电路复原）的同步信号。

扫描改正器是由一对平行铍镜构成。与光轴成 45° 角安装。与扫描镜同步作齿状反向运动。以辅助扫描线前后扫的重叠部分。使所得到的扫描线数据与卫星轨迹方向成直角平行排列。图 5 即是有扫描线改正器与没有扫描线改正器时扫描线间的关系图。

主镜系统的主焦面上安置有 1~4 可见光波段的硅探测器件。各波段间探测器件间隔 2.5mm。每个波段各由 16 个硅探测器件作为数据采集元件使用。奇数号的探测器件沿与扫描垂直的方向成一系列排列之，偶数号探测器件在卫星前进方向上保持与奇数探测器件一个 IFOV 的位置差。图 6 表示探测器件的位置关系及在地面坐标系中的投影略图。

扫描镜的扫描角是 7.7° ，总视场为 15.39° 。每个瞬间视场为 0.425^{-4} 弧度，每个像元数据的采集需 9.611 微秒，在实效扫描的 60.743 ± 0.3 毫秒的时间里共采集 6320 个像元的数据。

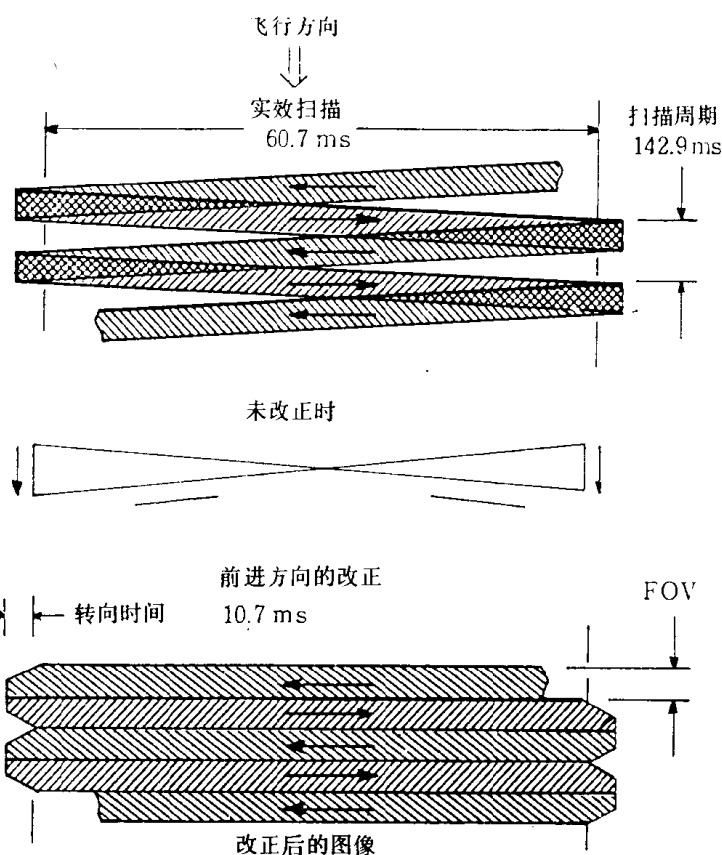


图 5 扫描线改正

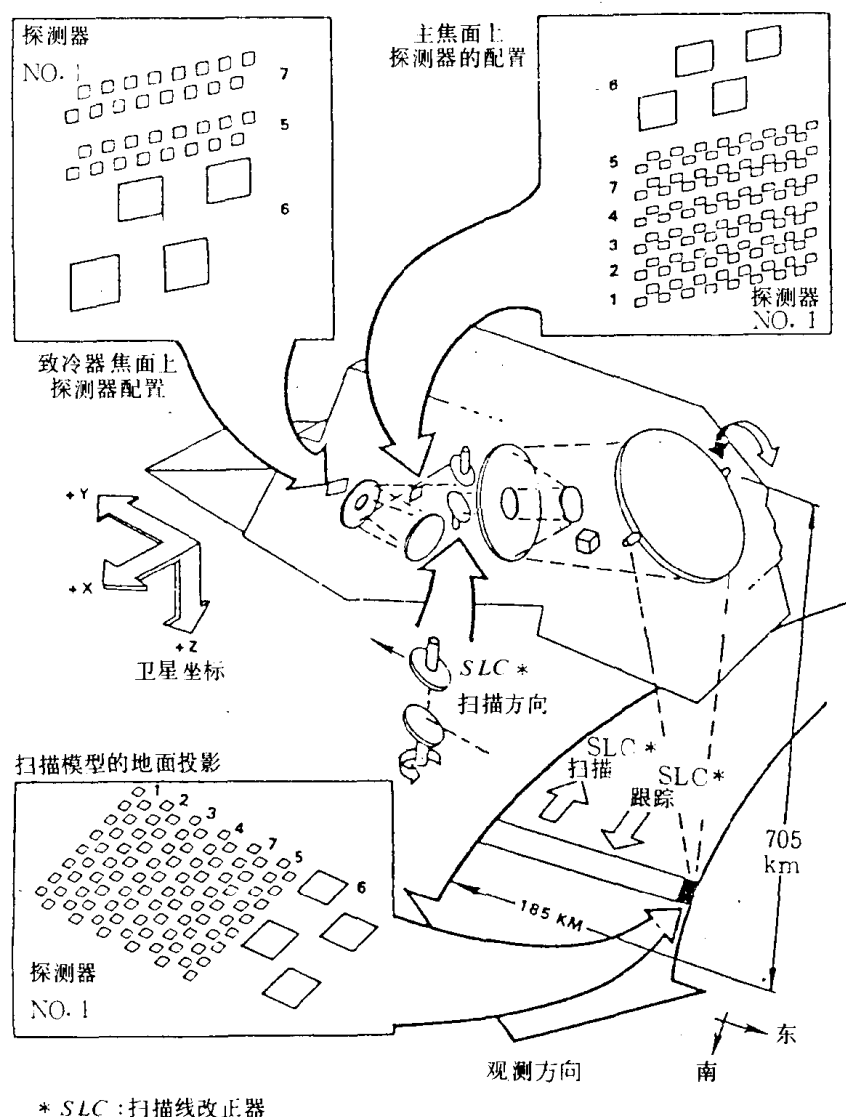


图 6 探测器件配置及在地面投影

上述偶数号探测器件比奇数号探测器件晚半个采样周期采样 (4.81 微秒), 各波段 8 个探测器的信号被光电倍增器读取, 作 A/D 变换后输出数据串。这样, 时刻 T 得到的奇数号探测器的数据, 时刻 $T+4.81\mu\text{sec}$ 得到的偶数号探测器数据以及与此有关的遥测数据一起组成 8 位字码 256 阶的数据流, 以 84.9Mbps 速率向地面传输。波段内奇偶探测器间的位移在地面站制作 CCT 时得到消除。波段间配准最大误差如表 3 所示。

波段匹配最大误差

表 3

项目		数值 (最大剩余匹配差)
扫描线方向上	主焦面 (1~波段)	0.11FOV 以下
	第二焦面 (5~7 波段)	0.08IFOV 以下
飞行方向上	主焦面 (1~4 波段)	0.13IFOV 以下
	第二焦面 (5~7 波段)	0.10IFOV 以下

上述可知, TM 传感器对每个波段都同时采样, 仅在每个波段内是按奇偶两次采样, 即每次各波段各采集 8 个探测器的数据, 隔半个采样周期再采集另 8 个探测器的数据。在各个波段间不存在采样先后 (如: MSS) 的问题。这是由于 TM 的电子器件中有一个 100 通道的多道调制器, 与 TM7 个波段的 100 个探测器件相对应。这就大大降低了波段间顺序采样期间, 作为时间 T 的函数的各种几何误差的影响和波段配准误差的影响。应该说是 TM 数据较之 MSS 数据几何保真度高的原因之一。

TM 前扫和后扫均采集数据与 MSS 单向扫描采集数据的情况不同。在一次前扫 (或后扫) 中 16 根扫描线的相同号数的像元可认为是同一时刻采集的, 这样的 16 根扫描线称为一个扫描带。即一个扫描带内相应的地面的地物影像是连续的。由于前扫与后扫扫描面的差异造成了奇数扫描带与偶数扫描带相应的地面上地物的不连续。这种位移经统计为 45 ± 10 像元的量级, 其中的 ± 10 像元是一种高频成分。也可以说具有一定的随机性。这与 MSS 数据显然不同。有关这种情况可参阅本文集中“TM 双向扫描误差改正”一文。

三、 LANDSAT 数据的对地定位特征模型

相对于上述的传感器内部结构等引起的数据几何特征而言, 本部分主要分析影响到其对地定位的各种因素及其数学模型。包括: 地球的自转, 传感器的位置与姿态, 地面高差, 扫描方程等。

1. 地球自转的影响

LANDSAT 是一种以行扫描方式为主搜集地球表面的反射辐射能量数据的资源卫星。每次扫描获取各波段各 6[16]根扫描线的数据, 称这样的 6[16]根扫描线为一条扫描带。一条扫描带数据搜集时间为 73.42[60.743]毫秒, 尽管由于 MSS 探测器件其采样时间顺序有先后之别, 使得同一波段第一根扫描线与第六根扫描线相同像元号数的像元在地面上尚有 22.3m 的位移, 仍可暂认为 6[16]根扫描线上像元数相同的 6[16]个

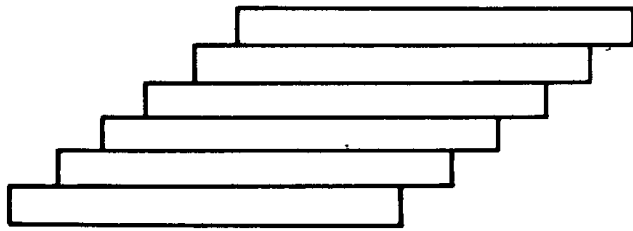


图 7 地球自转引起的带偏移

像元是同一时刻获取的。作为一景 CCT 而言, 由 390[358]个扫描带组成, 历经 28.6[25.6]秒的时间完成数据搜集。在这 28.6[25.6]秒的时间里, 地球自转量是 13.3[11.9]km (地球半径 = 6400km, 一天按 24 小时计)。平均每条扫描带因地球自转引起的位移是 34[33]m。也即一景 390[358]条扫描带在地面上的排列呈阶梯状 (图 7)。

卫星轨道方向与地球坐标系间有一个因地球自转引起的偏移角 r 。每条扫描带的位移量可按下式标出:

$$\Delta u = \Delta v \cdot \tan(r)$$

式中 Δv : 扫描带宽度。 r 角在 CCT 辅助数据中可读得。

2. 振动扫描反射镜运动方程

振动式扫描反射镜的运动方程非直线方程。造成实际地面采样角度间隔不等。探测器的数据采集是等时间间隔进行的。由于扫描反射镜的非匀速、非线性的运动方程, 使得在同样时间间隔里, 反映在地面上瞬时视场角的个数不等。将其图形化表示于图 8 中。其结果造成地面对象物间的挤压或拉伸(在扫描方向上)。图 8 中 $\beta_1/1 \neq \beta_3/3$ 等。

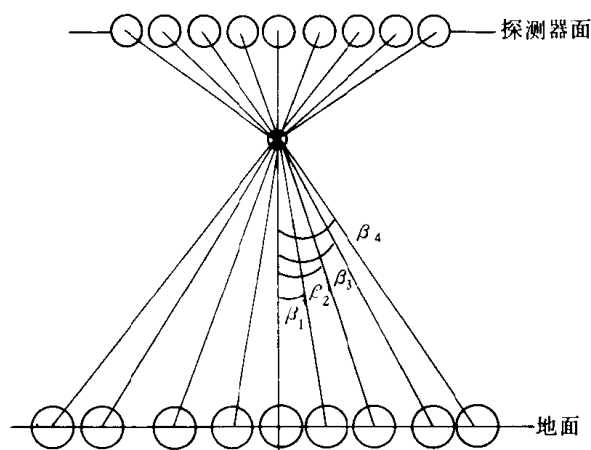


图 8 扫描不等速示意图

一般的 MSS CCT 中不提供振动扫描镜的瞬时速度, 但提供计算每个像元号所对应的视角 θ 的多项式系数。对于 2、3 号卫星而言, 其方程式为:

$$y = P_x - \frac{L+1}{2}$$

$$\theta = \frac{M_a}{L} y + K_0 + K_1 y + K_2 y^2 + K_3 y^3 \quad (1)$$

其中:

M_a : 最大扫描角度

L : 一条扫描线的长度 (用像元数表示)

P_x : P 点的像元号数

K_0, K_1, K_2, K_3 : 扫描反射镜模型系数。

4、5 号卫星其表达式为:

$$\theta = 2A \exp(-\beta(P_x - 1) \cdot t_s) \sin W(t_0 + (P_x - 1)t_s) \quad (2)$$

其中:

A : 是正弦函数的振幅

W : 扫描镜的角速度

t_0 :扫描开始时刻

t_s :采样时间

β :衰减系数($=0.00739 / \text{秒}$)

这些参数($K_0, K_1, K_2, K_3, A, W, t_0, t_s, M_a, L$)均由 MSS CCT 中的相应文件中给出。

由(1),(2)式可知, 振动扫描反射镜的运动是非匀速的, 而是一种非线性运动。但是这种影响对于同一台传感器在不长的时间间隔内, 例如: 若干景的范围内, 其对每一根扫描带的影响是相同的。一般处理而言是一种固定的模式, 尤其在一景范围内可用一种模式处理全景每一条扫描带。

实际上也可用取样本点拟合的方法求得运动方程。如: 在扫描方向上大致等间隔地取不少于 9 个样本点, 分别读取像元号和相应地理坐标用最小二乘法等拟合出运动方程。其通式为:

$$v = \Phi(I) \quad (3)$$

其中 I 为像元号数。

(3)式也可在对地定位模型的迭代收敛计算中计算得出, 通常用三次多项式也可得出结果, 但已是各种误差配赋的综合结果。

这项对于对地定位的影响不可低估, 经实验验证其量级可达 5 个像元。

3. 地面高差引起的投影差

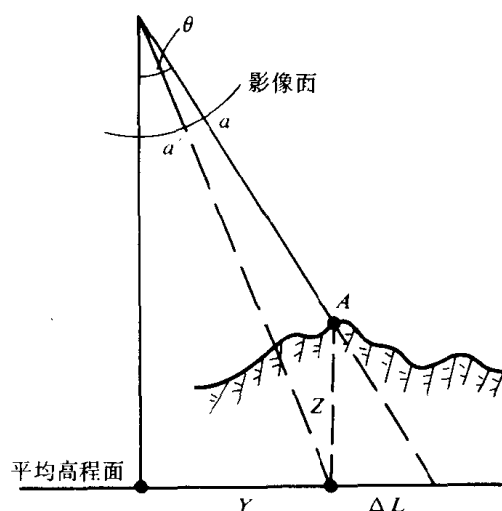


图 9 投影差原理图

资源卫星数据是一种反映生态与资源环境的宏观规律的数据。近年来多元、多维复合分析逐渐成为遥感应用的主流分析方法。这就要求各种遥感与非遥感数据要参与

复合分析。其可比性在于取用一个统一的地理基础和一个可比的物理量度。仅就地理基础而言，有多种投影方式和坐标系统。在航空摄影测量学中，由于一张航空像片覆盖的范围是有限的，多采用高斯投影的平面直角坐标系统。只要取定一个平均高程面，即可确定因地形起伏引起的投影差改正方案。资源卫星一景图像的覆盖范围为 $185 \times 185\text{km}$ 。地球表面地形高差引起的投影差显然也随取用的坐标系统不同而各异。但其基本原理是共通的。现以直角平面坐标系中地形高差引起的投影差为例简单地分析之。

其原理图示于图 9。 aa' 是高差 Z 引起的影像位移或称投影差。 ΔL 是 a 像元的地面坐标改正量, $\Delta L = \frac{Z}{H-Z} r$ 或 $\Delta L = Z \cdot \tan \theta$

资源卫星行扫描图像是多投影中心的中心投影图像，其投影差均发生在扫描方向上，而在卫星前进方向上的投影差可以忽略。这与航空像片上投影差的方向是以天底点为中心的辐射方向是不同的。

与航空像片一样，图像扫描方向上的两个边缘部份，投影差反应明显；扫描线的中间像元附近反应很弱。对于 TM 图像而言当左右边缘有 1000m 高差时投影差可达 4.3 个像元，这是不能忽略的。

4. 卫星高度变化的影响

卫星平台的实际运行高度，也会因地球自转轴线的挠动，太阳、月亮的作用，卫星轨道与地球椭球体的不一致性以及地球引力场的不均匀而发生变化，1, 2, 3 号卫星设计高度为 918.592km，实际上是在 900~950km 高度范围内运行，4, 5 号卫星以及将来的 6 号、7 号卫星同样有这种变化。这种变化带来的影响是卫星图像比例尺的变化。换言之即使卫星传感器的瞬时视场固定不变，那么由于卫星高度的变化，同样大小的瞬时视场其地面采样面积不等。如图 10 所示。

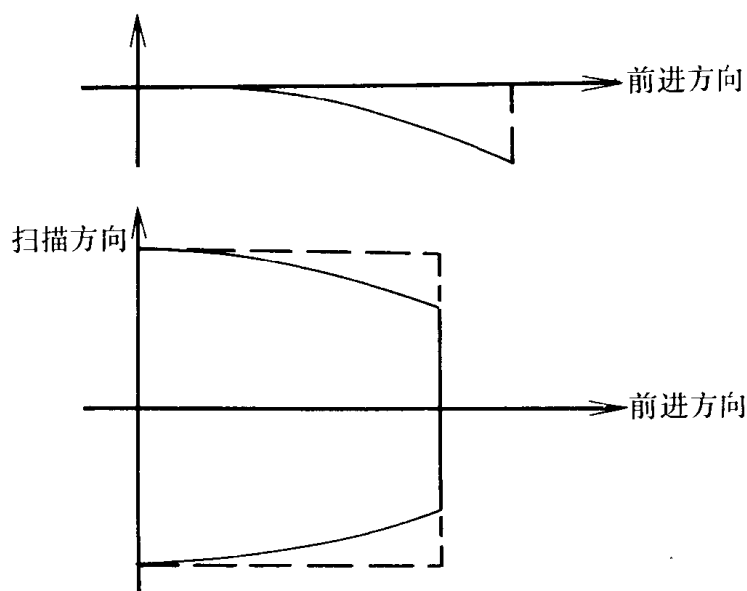


图 10 卫星高度变化的影响

卫星高度的变化是一种缓慢地单调地变化。在一景范围内认为是直线变化。这种误差的消除显然也是容易的, 尤其使用附加参数的共线方程式建立几何纠正关系式时, 卫星高度变化的影响已经包含在其中了。一般表达式为:

$$H = A_0 + A_1 L$$

式中 A_0, A_1 是待定系数, L 为扫描带数。

5. 传感器的位置与姿态变化的影响

传感器的位置与姿态对于遥感图像对地定位的影响与航空摄影测量中的情况相似。这里仅将其区别加以说明。

(1) 方形面积与条带的区别。航空摄影测量中传感器位置与姿态对航空像片对地定位的影响属航空摄影测量学中的经典理论的组成部分, 多种教科书中均有明确阐述。航空像片是框幅式相机一次曝光成象, 曝光时间 $1/150 \sim 1/500$ 秒。这么短时间内认为框幅式相机具有一组位置与姿态参数(称外方位元素)。一张航空像片覆盖地面约成方形的面积。行扫描方式遥感图像是由一条条连续的扫描带组成一景幅图像, 如前所述一景幅图像约需28.6秒(MSS)的扫描成象时间。每扫描一带约需36.71毫秒。扫描图像能作为具有一组位置与姿态参数的极限单元, 就是一条扫描带。即可认为一条扫描带内的6[16]根扫描线具有同一组外方位元素。这样的一条带相当于地面上约 $474[480]\text{m} \times 185000\text{m}$ 的长条带。一景有390条扫描带组成, 那么就有390套位置与姿态参数。这与一张方形航空像片具有一组位置与姿态参数是不同的。

(2) 以景幅为单位考虑。一景幅扫描图像的390套位置与姿态参数的变化是扫描时间(T)的函数。由于传感器内扫描线数据的记录是等时间间隔进行的, 那么也可以说390套位置与姿态参数的变化是扫描带数(S)的函数。

卫星在太空中的运行其位置与姿态变化较之航空平台而言要缓慢平稳得多, 尤其是位置参数的变化是一种单调的低阶函数。根据这一论点出发经实验验证, 在一景幅范围内位置变化可以直线函数, 姿态变化可以一元三次多项式描述其变化轨迹; 在连续多景幅范围内可用复杂的多项式或富里叶级数这样的周期函数描述其变化轨迹。

(3) 每条扫描带为地面上 $474 \times 185000\text{m}$ 的条带。其位置与姿态变化显然在条带的长边方向, 即扫描方向上的两端影响要大; 在短边方向, 即卫星轨迹方向上影响的实际量级要小。这与航空像片外方位元素影响最大是在像片四个角方向是不同的。

综合上述遥感行扫描图像对地定位的模型与框幅式像片相同处, 因属成熟的摄影测量学中的经典理论的组成部分, 本文不再赘述。仅从上述三个与经典摄影测量不同的方面的论述中可知, 遥感行扫描图像对地定位模型是一个较之框幅式像片更复杂的模型。

四、几点看法

(1) 遥感行扫描图像在扫描方向上是一种具有最大到5个像元量级的畸变图像。在不改正这项误差前不能认为遥感行扫描图像与地面具有标准中心投影对应关系。