

62

P 236
557

空间数据误差处理的 理论与方法

史文中 著

科学出版社

2000

内 容 简 介

本书较为全面、系统地讨论了空间数据建模与处理中的位置与属性以及两者结合时的不确定性问题。该问题是地理信息系统 (GIS) 与遥感集成中的关键问题之一,是当今国际上 GIS 研究的一个热点。书中首先对不确定性处理基于的有关理论进行了系统分析,接着对现有的不确定性处理技术、方法与模型进行了分析回顾。本书核心部分是系统论述了作者发展的 GIS 中不确定性的处理方法与模型,详细阐述了 GIS 中线段的置信区间以及结合位置与属性不确定性“S-带”模型等新概念。

本书是一本介绍 GIS 与遥感中不确定性的理论与方法,并具实际应用参考价值的基础读物,是遥感与地理信息科研和教学工作者及有关高等院校研究生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

空间数据误差处理的理论与方法/史文中著. —北京:科学出版社,1998.12

ISBN 7-03-007187-5

I. 空… II. 史… III. 空间测量-误差-数据处理 IV. P236

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 38348 号

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

西 源 印 刷 厂 印 刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1998 年 12 月第 一 版 开本:850×1168 1/32

2000 年 5 月第二次印刷 印张:5 1/2

印数:1001~3000 字数:138 000

定价: 12.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换(新欣))

前 言

本书主要介绍了地理信息系统 (GIS) 与遥感 (RS) 中不确定性分析的理论与方法。该领域是最近一个时期 GIS 界的主要研究热点之一, 主要原因是到目前为止尚未有成熟的、系统的理论与方法, 可用于处理 GIS 中的不确定性。

近年来, 中国在 GIS 的理论研究及产业化发展方面都进入了一个活跃的阶段。与国外许多国家一样, 有许多成功发展 GIS 的范例, 同时也存在着发展中的问题。GIS 中的数据质量, 即不确定性问题, 是许多不成功系统的主要原因之一。

作者希望通过本书向国内同行提供 GIS 中不确定性分析方法方面一本新的参考文献。并希望更多的人了解到 GIS 中不确定的一面, 从而在 GIS 的发展方面, 可以更加全面、系统地考虑 GIS 的系统设计与开发。

本书的出版得到了佳能测量师行及香港空间信息顾问公司的资助, 作者深表谢意!

由于作者水平有限, 望广大读者在阅读本书时能提出宝贵意见, 不胜感谢!

第一章 导 论

1.1 概 述

本书将讨论空间数据建模与处理中的位置和属性以及两者结合时的不确定性问题。该问题是地理信息系统(以下简称 GIS)与遥感集成的关键之一。

本章的 1.2 节首先介绍 GIS、RS 及其集成技术。为了探讨集成技术中的不确定性特征,在 1.3 节中分析与总结了其中的误差源。1.4 节回顾了在这方面的有关研究进展。根据对现有问题及研究现状的分析,我们提出了本研究的目标及研究问题。这些将在 1.5 节中介绍。1.6 节给出了本书的结构,使读者在阅读本书时有一个比较清晰的指引。

1.2 地理信息系统、遥感及其集成技术

本节将简要介绍 GIS、遥感及其集成技术,其中包括其定义及有关的应用。

1.2.1 地理信息系统

GIS 是在信息系统中的一个特例(de Man, 1988; Carter,

1989)。信息是关于特征的符号表示数据的解译(Begon, 1990)。信息系统有若干种属性(de Man, 1988; Carter, 1989):系统中的信息必须有效地组织,使其在使用时可被方便地检索到;系统必须支持对信息的查询;系统必须被不断地更新与维护。根据所承担的任务不同,信息系统可以分为两大类:信息处理系统(例如航空公司售票系统)以及决策支持系统(例如市场决策分析系统)。信息处理系统主要是实现对数据、信息的有关操作,而决策支持系统主要是进行操作,尤其是为决策支持者提供分析与建模有关操作(Maguire, 1991)。

GIS 与其他信息系统有许多共同之处,而两者之间的主要差别在于对空间实体及其关系的描述与处理,以及更进一步地进行空间分析与建模操作。空间查询与叠加分析是 GIS 主要功能特征之一。

对于 GIS 的定义,有三种观点,即地图、数据库与空间分析(Maguire, 1991)。持地图观点的定义侧重于制图有关的内容,因此 GIS 被视为一个地图分析与处理系统(McHarg, 1969; Berry, 1987; Tomlin, 1990, 1991)。持数据库观点的 GIS 定义侧重于数据库的设计与实现的完美性(Frank, 1988)。一个复杂的数据库管理系统被视为 GIS 不可分割的一部分。持空间分析观点的定义侧重于分析与建模, GIS 被视为是一门空间信息科学而不是一门技术(Goodchild, 1990; Openshaw, 1991)。

笔者认为, GIS 是一个有关空间信息的决策支持系统,它可以为决策者提供有关的空间信息及其质量指标。该系统应具有以下功能,即数据获取、空间数据分析、空间信息推导、结果表示、导出结果不确定性的描述指标及其对最终决策的影响。物理上,一个 GIS 是由空间及非空间数据、分析模型,计算机软件、硬件及有关人员组成。

GIS 的发展源于对土地属性信息与几何表达的集成以实现空

间分析。GIS 的应用可以被划分为三个阶段:①调查;②分析;③管理。大多数 GIS 最初建立的原因是对某一感兴趣的特征的数据采集、组织以及实施调查,例如实现对森林类型、土壤、管线网络、学校等的调查。

在 GIS 应用的第二个阶段,根据用户不同的需求,需要实施更加复杂的分析操作。在这些操作中,对多层数据的检索、统计及空间分析技术将会被用到。GIS 的应用,如分析适用某一类型的用地地址,又如监测土地覆盖类型等,均属于 GIS 的第二阶段应用。

第三阶段的 GIS 应用,即最复杂、最深入的应用,是从一个处理系统发展到一个空间决策支持信息系统。在这个管理阶段,GIS 用于支持决策者的决策行为。该应用主要侧重于复杂的空间分析与建模。例如,决策在若干所医院中哪一所应当关闭;怎样安排某一地区的用地类型等,都属于 GIS 的第三阶段应用。在该阶段应用中,可能涉及对于现实世界的某种建模。这些可以是解析的、模拟的、逻辑的以及数学的(随机或确定的)模型。模型中可能含有近似与条件限制,而所使用的数据亦含有误差。基于 GIS 的决策支持,通常是通过对一组数据在相应模型中的运行来实现的。因此,提供给决策的选择通常是含有不确定性的。如果忽略这些不确定性,往往会导致错误的决策,有时是后果严重的。因此,对于 GIS 用户来讲,理解数据、模型及其最终结果中的不确定性是极为重要的。因此,对该不确定性的研究是当前 GIS 理论工作者的主要研究方向之一。

1.2.2 遥 感

遥感是一种不通过直接接触目标物而获取其信息的一种新型探测技术。“遥感”一词通常是指获取和处理地球表面的信息,尤其是自然资源与人文环境方面的信息,其最后反映在主要通过使用飞机或卫星获取的像片或数字影像(Colwell, 1983)上。遥感影

像通常需要进行进一步处理方可使用,用于该目的技术称之为图像处理。图像处理包括各种可以对像片或数字影像进行处理的操作,这些包括影像压缩、影像存贮、影像增强、处理、量化、空间滤波,以及影像模式识别等(Colwell, 1983)。当然图像处理还包括其他更加丰富的内容。

以飞机为载体获得的遥感数据的应用日趋广泛,因为不同学科的专业人员不断地发现航空遥感不同数据在各领域内的潜在应用可能性。由于遥感的多学科性,使得其成为环境研究中极有价值的工具。遥感数据已经被广泛应用于许多地学有关的学科领域和社会工程建设中。

1.2.3 遥感、图像处理及地理信息系统的集成技术

遥感和图像处理技术被用于获取和处理地球表面有关的信息。GIS的发展则源于对土地属性信息与相应的几何表达的集成及空间分析的需求。这两项技术在过去是相互独立发展的,尽管实际上它们是互补的。对GIS而言,遥感是一种数据获取的手段,另一方面GIS中的数据可以作为遥感影像分析的一种辅助数据。因此,对这种数据获取与分析技术的集成变得愈来愈重要。在过去的几年中,许多研究人员在这方面进行了有益的探索。

在该集成过程中,GIS主要用于数据处理、操作和分析;而遥感则作为一种数据获取、维护与更新GIS中的数据的手段。另一方面,GIS可以用于基于知识的遥感影像分析。

Ehlers等人(1989)分析了遥感与GIS集成上的主要困难。它涉及到技术方面和社会方面的考虑。在技术上,主要困难在于数据结构上的差别。遥感数据是栅格格式的,而GIS的几何数据通常是矢量格式的。尽管人们已经发展了许多从一种格式向另一种格式转换的算法,但是格式上的差别仍是有效集成及应用上的主要局限所在。这一问题仍需在技术上进一步发展。GIS与遥感的

集成可以分为三个阶段,它们是:(1) 分离但相等;(2) 无缝集成;(3) 完全集成。集成的程度取决于对 GIS 和遥感影像数据融合的能力。

1.2.3.1 地理信息系统与遥感集成中的主要研究问题

地理信息与分析(美国)国家中心(NCGIA),受美国国家科学基金会(NSF)资助,于 1988 年成立。该中心成立的目的在于解决 GIS 进一步应用和地理分析中的问题。12 个研究主题被提出来进一步研究,其中第十二专题是关于遥感与 GIS 集成中的有关问题。该研究小组确定了对若干问题研究之先后次序,其目标在于提高遥感与 GIS 的集成技术(Star et al., 1991)。第十二专题研究小组提出了集成中 6 个主要研究问题:

- 误差分析;
- 数据结构与检索;
- 数据处理流程与方法;
- 人-机交互界面;
- 硬件环境,以及
- 社会因素。

误差是遥感应用中存在的主要问题之一,因此对可能产生的误差源,及其相应的误差影响的大小之分析即成为一个重要的问题。由于遥感可以并且已经为 GIS 提供了大量数据,因此 GIS 用户十分关心在使用这些遥感数据时可能产生的误差,包括其类型及其大小(Star et al., 1991)。NCGIA 的第一研究专题就把 GIS 的精度问题定为最优先研究的主题;而第十二研究专题小组又把误差问题列为 6 个研究问题中的第一位,这充分显示现阶段 GIS 与遥感研究领域中,不确定性问题是最为重要的研究主题之一。

在决策支持中不确定性起着两个方面的作用。首先,为避免错误地使用信息而带来决策上的失误,需要理解 GIS 所提供信息

中不确定性的量值大小及其特征;其次,从信息论的观点来看,不确定性是信息的一种量度。因此,本书的研究主题定为遥感与GIS及其集成中的不确定性问题。

1.2.3.2 GIS与遥感集成中的主要研究问题

NCGIA的第十二研究专题小组在1991年提出了遥感与GIS集成中的6个主要研究问题(Lunetta et al., 1991)。

(1) 评估与提出误差报告及历程(Lineage)文件

在GIS和遥感领域中,常常提到以下需求:①评估分类的误差(Veregin, 1989),并且提出空间数据转换标准SDTS(NCDCNS, 1988);②进一步细化与扩展所提出的SDTS以满足误差评估报告的目标;③提出新的误差评估过程以满足新的需求;④对已有的SDTS提出新的改进与增补。误差报告标准化的最终目的在于对用遥感数据产生的GIS产品的应用提出适当的评估方法,进一步方便各种结果之比较。

(2) 改进现有遥感误差评估程序

现时所使用遥感中误差评估的方法是基于统计学中有关的方法,而这些方法并非对空间数据而设计的。这些方法在对于区域或全局范围的使用上并不经济,因为现有方法仅仅可以提供总体分类的误差,并未指出误差的空间分布,因此,对综合分类中的误差结构需要进一步的研究,比如说分类误差与多边形边界的关系等等。

(3) 实地检查数据获取程序

如何获取高质量的外业数据用于地图精度检查,这方面的原则涉及一般性指引并未详尽地提出过。有关各种形式的外业检测数据精度需要进行进一步的研究。

(4) 栅格到矢量以及矢量到栅格的数据转换

栅格到矢量转换中的一个主要问题是分类后的影像中有大量

的多边形,若在此时将栅格数据直接转换到矢量数据将会产生许多问题。只有当这种转换所产生的问题得以充分理解并可以定量其误差大小时,这些技术方可被适当地使用。

(5) 位置误差的特点

遥感数据的位置误差特性以及位置与分类误差之间的关系都需要有更多的信息加以描述,需要有更多的关于各种不同遥感平台特性的有关数据,以及应用 GPS 来提高遥感数据位置精度。此外,需要进一步地探讨数字高程的比例尺精度地理配准处理与地形变形的关系。另外,大地控制对地理配准精度亦有较大的影响。

(6) 发展标准化的位置及属性可靠性图示

最终的地图或统计结果应附有对数据精度及可靠性描述的信息,这就需要开展关于几何和属性方面的可靠性之可视化的研究,以此来描述遥感和 GIS 最终产品的精度。

在遥感与 GIS 集成的 6 个研究问题中(Lunetta et al., 1991),其中有 3 个直接与误差的空间分布有关。而这些不确定性则源于位置与属性不确定性的结合:①“对评估集成遥感分类结果误差的空间结构技术需进一步研究,如误差与多边形边缘的关系”;②“对于遥感数据的位置误差特性及其与分类误差的关系需提供进一步的信息”;③“需对遥感及 GIS 最终产品提供几何与属性可靠性显示”(Lunetta et al., 1991)。因此,在遥感与 GIS 集成中误差的研究范畴内,位置与属性不确定性的空间分布及其集成是关键问题。本研究范围进一步集中于这 2 个问题内。以上①与③研究方向可以进一步展开为以下 4 个研究问题:

(1) 位置数据不确定性的空间分布

点的误差分布在测绘界已进行了长期的研究,然而对于线段、线及面状元素的不确定性尚未严格地从理论上系统地研究过。

(2) 遥感分类数据属性不确定的空间分布

通常用于描述遥感分类结果的不确定方法是误差矩阵。但是

这种方法不能描述出不确定性的空间分布,而概率矢量方法则具有描述不确定的空间分布的潜在可能。

(3) 位置与属性数据结合过程中不确定性的传递

现有的技术中,并没有直接可以用于处理集成位置与属性不确定的方法。但是,若两种不同的不确定性可以转化为用同一种指标描述,则它们可以被结合。这意味着,两种不确定性应在同一理论基础下用统一的方法描述。

(4) 位置与属性不确定性的关系

Goodchild 等人(1992)曾经探讨过这个问题。他们使用两个描述指标,称之为包含(inclusion)和自相关(auto-correlation),来描述误差分布模式。因此,本书将不再进一步探索这个问题。

从对现实世界进行抽象表达的角度来看,GIS 和遥感数据是对自然现象不同水平的抽象。因此,集成这两类数据对于空间决策支持将十分有益。这也是 GIS 发展的一个趋势。在决策支持的过程中,需要考虑以下几个问题:首先是地图数据的不确定性,这是由于量测或进一步处理过程中引入的位置误差,这些几何数据当中也有可能含有属性误差;其次,分类遥感数据的误差,主要是由于空间、光谱和时域特性的不确定性而造成的属性误差,地理配准时也会造成位置上的不确定性;第三种不确定性是在结合以上两种类型的数据时引入的不确定性。由于不可能同时处理几个方面的不确定性,本书侧重讨论以下问题:①矢量数据的位置不确定性;②栅格数据的属性不确定性;③结合这两者数据引入的不确定性。

地理信息在 GIS 中可以用以下两种方法之一来表达:目标(object)方法或者是域(field)方法(Ehlers et al., 1989; Goodchild, 1989; 1992)。在目标方法中,GIS 用目标来表示自然界,这可能包含有点、线以及面状目标,其可以被位置、属性或拓扑关系特性描述。使用这种方法时,异质专题数据不确定性的空间分布世界区

域内的渐变特性不容易表达出来。但是,这种方法比较易于表达目标的位置不确定性。例如,GIS 中的空间目标可以是电线杆、道路及地籍宗图,其相应的属性可以是电线杆使用了的时间、道路的宽度及宗地的归属、拓扑关系可以是相邻宗地的关系等等。

在使用基于域的方法中,GIS 在描述现实世界时是通过通过对每一个像素赋予属性来实现的,而不是通过对目标的抽象或描述它们之间的拓扑关系来实现的,例如来自于遥感影像的土地覆盖分类数据。利用这种方法有可能描述异质数据不确定性的空间分布以及渐变区域的不确定性。与这两种方法相对应的数据通常称之为矢量或栅格数据。在表达不确定的空间分布方面时,这两种方法是互补的。这是 GIS(矢量数据)与遥感(栅格数据)集成的另一个优点。

大多数现有的 GIS 设计是基于地理目标没有误差的假设,因此只可以处理确定的目标。用一个处理“确定”数据的 GIS 来处理带有不确定性的数据将会出现问题。因此,发展具有处理不确定数据的功能的 GIS 也成为 GIS 发展的一个趋势。设计这种 GIS 的主要问题有:①描述一个带有不确定性的物体;②描述物体之间的不确定性关系。在现阶段,GIS 与遥感集成中的误差源以及 GIS 操作过程中的不确定性是两个主要研究问题。

1.3 地理信息系统与遥感中的误差源

“尽管利用遥感方法在为空间数据库获取数据方面发展得十分迅速,但我们对于数据处理过程中误差的理解,尤其是多种空间数据的集成中的误差了解甚少”(Lunetta et al.,1991)。以下,首先讨论遥感与 GIS 中的误差源。

1.3.1 地理信息系统中的误差源

GIS 中的误差是指 GIS 中描述的物体与其在现实世界中的真实情况的差别。这些误差的类别包括随机误差、系统误差以及粗差。数据是通过现实世界中的实体进行解译、量测、数据输入、空间数据处理以及数据表示而完成的。其中每一个过程均有可能产生误差,从而导致相当数量的误差积累。图 1-1 表示出 GIS 中数据的误差源。

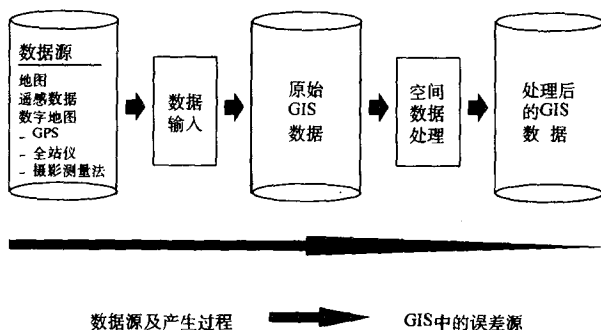


图 1-1 GIS 中数据的误差源

GIS 的数据源可以是一张纸质地图,一张分类的遥感影像来自航测的数字数据,以及 GPS、全站测距仪数据。数据可以通过解译或者量测而获得。GIS 中的数据通常是这些数据及其相应的误差的传递结果。进一步的处理将会引入新的误差。与直接从地面采集的数据(如从 GPS 获取的数据)相比,从地图或影像中获取的数据将含有更多的误差。纸质地图的误差包括:目标解译、目标量测、地理配准、地图编辑(综合)、印刷以及图纸变形。在这些误差源中,目标解译是一个主要来源之一。例如,最常用的地质图、土地利用图或土壤图是利用不同的专题模型表示其属性,即具有相

同属性的区域用边缘线包围起来。然而,在许多情况下,这种模型不能准确地对现实世界给予准确的描述。在现实世界中,许多物体不具有明确的边界,而是一个渐变的过程。例如,土壤边界就是这种情形;而且在边界的内部亦不是同质的,而是异质的(Burrough, 1986, 1993; Goodchild, 1989)。因此,用确切边界及均质多边形模型的表示在许多情况下会导致误差,这种误差主要是属性误差,同时与边界的位置误差相关。

在一个指定的数据采集过程中,量测误差应局限于某一限差内,例如对某一地图产品,其限差在地图比例尺的 0.2 mm 内。为确定点的位置,需要 x 、 y 、 z 坐标的量测值,而且需要相应的属性(例如道路宽度)。对于量测点而言,其误差本质的有关研究在测量学中已经发展得比较成熟(Mikhail and Ackermann, 1976)。大多数的量测误差具有随机特性。

源于数据内插的误差有时是十分显著的,尤其是那些初始值是通过手工量测系统获得最少量的观测值。Tempfli(1980)指出,在建立数字地面模型时,内插误差较量测误差要大得多。

Burrough(1986)曾较系统地分析了 GIS 中的误差。他将误差分为:①明显误差;②源于自然或原始量测值的误差;③源于数据处理的误差。在这三组误差中,第一组误差是十分明显而易于查出的;第二组误差相对比较复杂而在与数据接触时可以检查出;第三组误差是在执行某一处理时才会出现。这种误差最难于量测,因为误差不仅与所使用的数据有关,而且与所使用的算法、数据结构有关(Burrough, 1986)。

1.3.1.1 明显误差

(1) 数据年龄

大多数 GIS 使用已有的数据,而这种数据往往是过时的。遥感技术可以提供最新的数据,但它不能取代决策支持时所需的全

部 GIS 数据。Mead(1982)指出:“除地质数据外,数据的可靠性随其年龄递增而递减”。因此,若使用的数据愈旧,出现误差的可能性就愈大。

(2) 地图比例尺

土地覆盖可以表示在不同比例尺的地图上或以数字的形式表示于地图上。地图比例尺越大,表示的内容越详尽,一般来讲,精度也越高。但是在 GIS 存贮时,比例尺越大,占据的存贮空间也越大。因此,地图比例尺的选择取决于 GIS 的应用。

(3) 观测值的密度及其分布模式

一幅专题图(如土壤图)是对一系列观测值的内插得来的。有两个因素可影响其精度,即观测值的密度及其分布模式。

1.3.1.2 源于自然变量或原始量测值

(1) 位置精度

地理数据的位置精度大多数与相应的数据类型有关。地形特征,如房角、街道中心线等,通常是以高精度量测所得的。另一种类型,如森林或土壤类型的边界,则可能具有相当低的精度。这里涉及到两类误差,即线的识别误差和量测误差。其中,前者的误差更为显著。在这种情况下,线的位置误差可能会相当大。

(2) 属性误差

属性数据有两类,即定量数据(如 pH 值)以及定性数据(如某一宗地的用地类别为工业用地)。相应地,属性数据的精度也有两类,即定量数据精度和定性数据精度。

(3) 数据偏差

数据输入时的错误可能会导致损坏原来高精度的数据。另一类偏差是观测偏差。除随机误差之外,每一个观测员都会用一定的不同的方式进行观测。例如,在数字化一条线时,一个操作员可能会习惯地偏向被数字化线的左侧,而另一个操作员可能会偏右。

1.3.1.3 处理过程中产生的误差

(1) 计算机中的数字误差

数字在计算机内是用有限的位来表示的。在计算时可能会产生严重的错误,尤其是使用两组大值数据和数组运算时,而使得精度不够。舍位误差是一种明显误差。

(2) 拓扑分析误差

在地形图叠加并且使用特定的算法时会产生误差。这可能会出现于 GIS 处理中,如地图叠加、边界交叉、矢量地图的栅格化、两层或多层网络系统叠加等等。这些可导致拓扑关系上的误差。

(3) 地图数字化

地图数字化是数据获取的一种常用方法。在手工数字化中有两种方式可供选择:点式或串式数字化。数字化的误差特性取决于所选择的数字化方式、操作员及数字化设备。数字化误差可以被定义为数字化的线对原地图上的线的偏差。Bolstad 等(1990)研究了手工数字化的误差,他们发现手工数字化所产生的误差一般比较小,一般偏差为 0.054 mm,最大观测距离偏差为 0.261 mm。数字化误差也曾被其他研究人员探讨过(Maffini et al.1989; Keefer et al., 1991)。

1.3.2 遥感中的误差源

在本节中,我们将讨论遥感(作为 GIS 的数据输入手段)中的误差源。其误差可以被分为以下几个部分:(1) 数据获取误差;(2) 数据处理误差;(3) 数据分析误差;(4) 数据转换误差;(5) 人工解译误差。Lunetta 等(1991)曾对误差源问题进行了探讨。

1.3.2.1 数据获取误差

数据可以在实地或用遥感的方法获得。数据获取过程中,有

些误差源是难以控制的,诸如大气条件和地面景观的自然变化。其它数据采集误差,如几何或辐射误差,则可以控制或改正。关于数据获取误差源的进一步阐述可见文献 Salsig(1990), Desachy 等人(1985)或 Duggin 等人(1985)。数据获取中可控制的误差讨论如下。

(1) 几何误差

保持一个定常的影像比例尺会方便直接将其输入 GIS 中。许多因素可能造成比例尺的局部变化,例如非底点部分的影像、地形起伏变形等等。

影像几何与所使用的传感器有关。如何获得稳定的影像,在航空摄影测量中已进行了许多研究。其主要是通过竖直摄影测量实现。许多其他遥感系统由于包含了连续影像生成装置,因此更易产生几何变形而影响其与 GIS 的集成(Lunetta et al., 1991)。

多光谱扫描(MSS)系统在工作时连续地获取影像,所以传感平台在获取数据时的所有运动都会影响构像几何。在一条扫描带上,每一个像素对应于一个不同的视角。因此,像素的大小在一条成像带中是视角的余弦函数。带有 CCD 传感器的构像系统消除了 MSS 中的多数几何误差(Slama, 1980)。

(2) 平台

传感器平台的飞行或轨道高度、传感器的视场及方向影响着成像几何。因此,如果需对遥感数据进行精确地纠正而输入 GIS 中,就必须已知飞行器的瞬时高度与方位,以及传感器的方向。全球定位系统(GPS)技术可以为 x 、 y 、 z 位置量测提供良好的基础。对于高频运动的传感器平台的几何改正可能会要求一个基于每一个像素的复杂的点模型(Gibson, 1984; Gibson et al., 1987; Reimer et al., 1987; Rickman et al., 1989; Till, 1987)。