

空间遥感技术回顾及其发展趋势

何 昌 垂

(国家遥感中心)

1985年12月8日收到

一、引 言

在过去的二十五年中,遥感作为一项新兴的技术,经历了从航空向航天发展,并逐步向实用化过渡的里程。以地球资源卫星(陆地卫星)为标志的空间遥感技术,已为人类认识地球、调查资源和监测环境提供了一种有效的手段。目前,越来越多的科技人员、资源管理、规划和决策人员开始使用卫星遥感数据,并取得了巨大的社会效益。社会的需求,进一步推动了空间遥感技术的进展。人们有理由预测,从现在起的今后十年内,随着遥感技术向纵深发展,将可能出现令人感兴趣的振奋人心的突破,使得从空间对地球的观察进入完全的实用阶段。事实上,1978年美国发射的海洋卫星,其侧视雷达可提供25米的分辨率,业已证明了空间遥感的实用能力。而从1982年陆地卫星4号发射之后,具有30米象元、7个波段的专题制图仪(TM)数据已被广泛实验,并证明可以实用。

在今后十年中,人们将看到第三代新型传感器的应用。拟于1986年1月份发射的法国SPOT卫星,将提供具有20米/10米象元度的立体象对,用于修测1:5万的地图及资源分析。美国政府已正式批准EOSAT公司的计划,拨款2.4亿美元补助继续研制发射陆地卫星6/7,作为目前运行的陆地卫星5号的后续星。欧空局将于1989年发射带有C波段合成孔径侧视雷达的ERS-1系统。日本计划于1990年左右发射具有高分辨率的微波传感器及光学/红外传感器的资源卫星。加拿大则准备于1990年发射雷达卫星,携带分辨率为25米的合成孔径侧视雷达,为海洋和海冰监测服务。巴西、印度等发展中国家,也将有自己的资源卫星,其中印度资源卫星将采用CCD传感器,象元度为50米左右。我国也将可能形成回收型和传输型的空间遥感卫星系列。

从世界的发展趋势看,今后十年,遥感技术将以航天遥感为发展方向。传统的航空遥感技术,仍然不可取代,但将起着补充的作用。我们面临着一场新的技术挑战,但对于发展符合我国国情的空间遥感技术,紧密结合为国民经济发展服务来说,这也是一种机遇。本文试图对今后十年空间遥感技术的进展及其实用化中的若干技术环节进行探讨,以激起讨论。

二、空间遥感系统发展回顾

从空间遥感地球的要求是五花八门的。在过去的25年中,地球观察卫星系统不断演

变、发展,充分反映了新技术总是在满足市场、科技的需求中得以发展的。

1. 美国的空间遥感技术

手提式空间摄影 这是美国早期载人空间飞行中的一种主要技术手段。从六十年代到七十年代初的双子星座和阿波罗飞行任务中,共收集了约 1 万 8 千张地球照片,在最近的载人航天飞机飞行任务中,又拍摄了 1 万 2 千多张地球照片。

天空实验室 在 1973 年和 1974 年间,美国载人天空实验室四度飞行,其中主要的任务之一是利用六种不同的传感器,收集地球表面信息。其中 S 190 A 多波段摄影机共拍摄黑白、彩色及彩色红外照片 3 万 4 千张。其余五种传感器:地形相机(S190B)、红外光谱仪(S191)、多光谱扫描仪(S192)、微波辐射/散射高度计(S193)和 L 波段辐射计(S194),也分别采集了 3 千到 5 千幅为数不等的影象或数据。

诺阿(NOAA)卫星系列 1979 年,美国海洋和大气局首次在 NOAA-6 号(原为 TIROS)卫星上安装了先进的高分辨率辐射计(AVHRR),随后在 NOAA-7 号和 8 号卫星上均使用了这种传感器。AVHRR 是一种切向扫描仪,且有可见、近红外、中红外和热红外四个通道。其瞬时视场线度为 1.1 公里,割幅为 2400 公里。NOAA 系列卫星采用近极太阳同步轨道,周期为 102 分钟,每天围绕地球观察 14.1 圈。AVHRR 主要提供全球昼夜环境天气分析资料。由于它具有大面积、高重复率的特性,因而在可再生资源遥感和动态监测中也得到了成功的应用。

热容量制图任务(HCMM) 这是一颗由美国航宇局于 1978 年发射的、轨道高度为 620 公里的近极、太阳同步轨道卫星,其重复周期为 16 天。卫星的主要传感器为热容量制图辐射计(HCMR),用来测量反射太阳能。可测定岩石的热容量,监测土壤湿度、热液露头、作物和树冠温度以及雪覆盖情况等。该传感器是一种两波段扫描成像辐射计,感测可见光和近红外波段(0.55—1.1 微米)的反射辐射,以及热红外波段(10.5—12.5 微米)的发射辐射;其空间分辨率为 500 米,在 280 K 温度下分辨率为 0.4K。热容量制图仪数据割幅为 700 公里,在 36 小时内,可分别于白天、黑夜重复覆盖同一地区。

海洋卫星(SEASAT) 美国航宇局于 1978 年 6 月发射了海洋卫星。卫星采用高度为 800 公里的近极轨道。其主要传感器为 L 波段(1.3 吉赫,23 厘米波长)合成孔径雷达系统。雷达采用水平极化,俯角为 20°,方位和距离分辨率均为 25 米,割幅宽度为 100 公里。它收集了大量北美、欧洲以及部分中美洲地区的照片。雷达图象的数字处理是一个很大的问题,直到目前才有一部分数据经过数字处理,但大部分陆地影象已经过光学处理。初步应用表明,海洋卫星数据对于地质、农业以及土地利用调查,有其独特的效果。

航天飞机成像雷达(SIR-A/B) 这是第一次利用航天飞机进行地球资源遥感。1981 年 11 月航天飞机第二次飞行时携带了 SIR-A,其轨道高度为 260 公里。SIR-A 与海洋卫星雷达相同,采用 L 波段,水平极化,俯角为 47°;影象割幅为 56 公里,地面分辨率为 40 米。SIR-A 共收集了近 1 千万平方公里的地面遥感数据。研究表明,这些数据对于解决地质问题、土地利用规划、海洋监测,尤其是那些云层覆盖严重地区的问题是极其有效的。

SIR-B 于 1984 年 10 月飞行,主要传感器参数与 SIR-A 相同。但是, SIR-B 的天线改为可转动式的,以便根据需要在偏离天底点 15 至 60 度的范围内选择照射角。SIR-B 的

主要目的之一是根据不同用户的要求和应用场合选择最佳的天线照射角。由于天线故障 SIR-B 飞行失败,现已决定于 1987 年重飞。

除 SIR-B 之外,这次飞行还首次携带了大相幅相机。其焦距为 30.5 厘米,相幅为 23×46 厘米,并设有自动曝光敏感器和相移补偿装置,地面分辨率为 15 米。暗盒装有长约 1200 米的、由五种不同的黑白、彩色及彩色红外拼接而成的胶片,由于它具有立体象对,几何精度高,可生产 1:5 万的地形图。美航宇局正准备使用双相机姿态参考系统,记录星座数据,提高定位精度,这个系统将可能提供 3 米的分辨率,其数据可编制等高线为 25 米、1:2.5 万的地形图或影象地图。

陆地卫星系列(LANDSAT) 陆地卫星是美国空间遥感中发展较完善的、系列化的技术系统。从 1972 年至今,已经发射 5 颗,均采用近极、圆形、太阳同步轨道,提供全世界范围的重复覆盖。随着技术的进步,以及地球资源管理信息要求的不断变化,陆地卫星系列的传感器不断演变、提高。表 1 给出了陆地卫星计划的飞行历史材料,表 2 列出了各种传感器的主要参数。

表 1 陆地卫星计划主要资料(飞行历史)

Table 1 Main Data of Landsat Plan (History of Flying)

卫 星	传 感 器	发射时间	退役时间	备 注
陆地卫星 1	MSS,RBV(A)	1972年	1978年 1 月	
陆地卫星 2	MSS,RBV(A)	1975年 1 月	1982年 2 月	1979 年 11 月失灵,1980 年 6 月修复
陆地卫星 3	MSS,RBV(B)	1978年 3 月	1983年 9 月	1981 年 10 月 RBV 失效
陆地卫星 4	MSS,TM	1982年 7 月		1983 年 2 月 TM 发射机失效
陆地卫星 5	MSS,TM	1984年 3 月		

表 2 各种传感器的主要参数

Table 2 Main Parameters of Each Sensor

名 称	波 段 号	波长范围(微米)	象元度(米)	备 注
MSS	4(1)	0.50—0.60	80	
	5(2)	0.60—0.70		
	6(3)	0.70—0.80		
	7(4)	0.80—1.10		
	8	10.40—12.6	240	
RBV	1	0.475—0.575	80	A 见表 1
	2	0.580—0.680		
	3	0.690—0.830		
	全色	0.505—0.750	40	
TM	1	0.45—0.52	30	
	2	0.52—0.60		
	3	0.63—0.69		
	4	0.76—0.90		
	5	1.55—1.75	120	
	6	10.4—12.5		
	7	2.08—2.35		

多光谱扫描仪系统(MSS)是陆地卫星系列的主要传感器之一。除陆地卫星 3 号增加了一个热红外波段之外, 5 颗卫星上的多光谱扫描仪系统的参数和性能均保持不变。迄今, 陆地卫星已收集了全世界 150 万幅照片, 成为人们开展农作物估产、森林和草场管理、土地利用、土地覆盖分类, 自然灾害影响估价, 能源和矿产资源探测以及其它许多地球资源调查的主要航天遥感资料来源。

陆地卫星 1 号和 2 号上的反束光导管摄像系统(RBV)出现了一些技术问题, 所以总共才有几千幅有用的 RBV 资料。陆地卫星 3 号上的 RBV 系统由原来的 3 波段改为单波段, 瞬时视场线度为 40 米。陆地卫星 3 号共收集了 25 万幅资料, 这些资料产品包括图片和数字磁带。许多国家和地区已利用 RBV 影象开展土地利用分析和编制卫星影象图。

陆地卫星 4 号和 5 号的专题制图仪(TM)是一代新型卫星传感器。该系统有七个光谱波段, 空间象元度已提高到 30 米。由于接收和处理技术的复杂性, 使得 TM 数据的供给量受到很大限制。目前, 世界上只有六个地面站(包括我国北京站)能够接收和处理 TM 数据。但是美国通过跟踪和数据中继卫星系统(TDRSS), 可以接收全球三分之二的的数据。当 TDRSS 系统完全建立运行之后, 所有非极区的数据都可以从美国南达科他的地球资源观察系统(EROS)数据中心获得, 其它地区的地面站, 亦是 TM 数据的直接供给点。

TM 数据对植被资源的调查尤为成功。此外, 1.55—1.75 及 2.08—2.35 微米的波段, 加上 30 米的象元度, 尤其有助于提取富油地质信息, 圈定蚀变岩石和含矿地质构造, 以及普通的地质填图。人们预计, 随着计算机信息复合和信息提取技术的提高, TM 数据的应用可能会有所突破。

2. 苏联的空间遥感

与美国的计划不同, 苏联发展遥感技术主要供国内使用, 或根据双边协议提供空间遥感数据。早期的苏联遥感以发展摄影系统为主, 通过研究试验, 苏联自 1977 年起至 1981 年间利用联盟 6 号载人宇宙飞船, 携带 MKF-6M 多波段系统, 开展了对地球航天遥感。MKF-6M 系统由 6 部相机组成, 其焦距为 125 毫米, 分辨率为 160 线对/毫米, 相幅为 55×81 毫米。在 0.45 到 0.94 微米范围内, 通过滤光片分为 6 个波段, 其地面分辨率为 15 至 20 米。联盟 6 号上用的另一种照相机为 KATE-140 测图相机, 其焦距为 140 毫米, 相幅为 18×18 厘米, 象片的地面分辨率为 30 米, 每张象片覆盖面积为 335×335 平方公里。

1974 年苏联发射了第一颗地球资源数据系列卫星, 称 Meteor-Priroda 计划。本计划主要传感器系统为无线电和电视包(RTVP), 由 2 台低分辨率的多光谱扫描仪组成(称 MSU-S, MSU-M), 分别为 2、4 通道, 工作在可见光和近红外波段, 其空间象元度分别为 240 米及 1 公里, 割幅为 1380 公里及 1930 公里。1980 年苏联发射了改进型的 Meteor-Priroda 系统, 采用了 650 公里的近极太阳同步轨道。传感器有三种: MSU-E, 它是一种工作在 0.5 至 1.0 微米的三波段 CCD 探测器, 象元为 28 米, 割幅 28 公里; MSU-SK 是一种工作在 0.5—1.1 微米的四通道光机扫描仪, 象元 170 米, 割幅 600 公里; Fragment 系统, 它是工作在 0.4—2.4 微米的八波段光机扫描仪, 割幅 85 公里, 在 0.4—1.1 微米波段, 象元

80米;在 1.2—1.8 微米,象元 240 米;2.1—2.4 微米,象元 480 米。据报道,苏联已大量使用这些遥感数据进行森林监测,草原清查和地质找矿等。

3. 其它国家或国际组织的空间遥感

欧空局于 1983 年和美国航宇局联合发射了空间实验室(SPACELAB)。其有效载荷之一是西德宇航院研制的测图相机,该相机由蔡司 RMKA30/23 航空相机改装而成,焦距 30 厘米,地面象元为 20 米,相幅 23×23 厘米,相应地面覆盖为 190×190 平方公里。这是第一次使用经过校正的航空摄影机从外空对地球进行遥感。

1985 年,航天飞机飞行中亦采用了测图相机系统。系统增加了相移补偿,而且焦距增加到 60 厘米,其相应的地面分辨率大为改善。

西德的 MBB 公司和美国航宇局合作,于 1983 年 6 月及 1984 年 2 月用航天飞机试验了一种新型的多线性阵列成像传感器,称为 MOMS。MOMS-01 设 2 个波段(0.6 ± 0.025 微米及 0.9 ± 0.075 微米),其地面象元为 20 米,割幅宽为 140 公里。MOMS 也收集了我国新疆、西藏等地区的部分数据。目前,MBB 计划增加 MOMS 传感器的波段(1.6—2.2 微米),并研制全色立体象对系统。

此外,印度空间研究组织研制了 Bhaskara 地球观察卫星,分别于 1979 年和 1981 年由苏联发射入 550 公里、倾角为 51 度的圆形轨道。Bhaskara 携带 2 台双波段的电视景象机,其分辨率为 1 公里,同时还携带 3 台微波辐射计,用于海洋遥感。

4. 我国的卫星遥感

1972 年以来,我国先后发射成功 17 颗人造卫星,其中 7 颗科学试验和技术卫星与遥感有关。最近发射并回收成功的科学探测和技术试验卫星乃以国土资源调查为主要目的。它携带光学相机和 CCD 相机,提供黑白及彩色红外照片,比例适中,很受用户重视。这些卫星发射的成功,为继续发展资源卫星系统作好了技术准备。

三、未来十年空间遥感计划的展望

未来十年,空间遥感技术将朝着实用化、商业化、国际化过渡。具体地说,一些政府组织和私人公司将在过去 25 年技术成就的基础上,建造并发射第三代遥感卫星系统。新一代卫星,原则上将考虑到系统的兼容性、技术的互补性及数据的连续性,并将具有高空间分辨率、高光谱分辨率的特点。从传感器本身讲,将以采用电荷耦合器件(CCD)及微波成像技术作为实用基础,而谱象合一的成像光谱仪技术及一些智能化的传感器,代表一代全新的系统,也将在今后十年受到重视并发展。从数据采集上讲,各种卫星将运行在 150 公里到 36,000 公里的低、中、高轨道,形成从可见光、红外,热红外到微波波段的、多层次的、立体交叉的遥感覆盖能力。而从性能价格比上讲,鉴于航天飞机(空间站)可重复利用,与自由飞行的平台相比,又独具灵活机动、发射费用低、效率高等特点,今后较多的航天遥感系统

将采用“搭班车”的方式,起码在西方,航天飞机将直接作为平台或发射手段,从而使航天遥感的性能价格比大大提高。由于美国并不愿意放弃其遥感领先的地位,美国政府已批准了由 RCA 及休斯两公司组成的商用遥感公司(EOSAT)的建议,拨款 2.4 亿美元,研制陆地卫星 6 号及其后续星。计划中的陆地卫星 6 号将携带专题制图仪并提供多光谱扫描仪星上模拟数据。计划中的陆地卫星 7 号,除将提供专题制图仪数据外,还将通过一个多光谱线性阵列,专门提供 0.4 至 2.35 微米波长内选择性波段的组合数据。在可见光至近红外波段,其象元度为 10 米,短波红外的象元度为 20 米。多光谱线性阵列具有提供航向立体象对的能力,但割幅较窄。估计陆地卫星 8 号及 9 号将携带具有 185 公里割幅的多光谱线性阵列传感器,其波长将延伸到热红外波段。

除陆地卫星之外,美国还有一些私营公司提出了商用卫星系统。如美国空间公司提议的高级地球资源观察卫星(AEROS),它将携带三个传感器,分别作星下点、前倾及后倾 22 度观察。每个传感器有四个工作在 0.4—1.0 微米、象元度为 80 米的波段,及一个象元度为 40 米的波段。传感器的割幅为 160 公里。AEROS 后续星的空间分辨率将有所提高,并扩大波长覆盖范围。

依斯特曼柯达公司,计划于八十年代后期发射一种近极地球资源传感器系统(AERSS),主要用于地质和矿物探测。该传感器在 0.45 至 0.9 微米内分四个波段,并设有两个短波红外波段,在可见光及近红外的象元为 10 米,短波红外为 20 米,地面割幅为 180 公里。该系统的特点是可以提供航向立体象对。目前,该公司正在世界范围内寻找合作伙伴,准备采用商业性经营形式。

美国地质调查局已完成了自动制图卫星(MAPSAT)的可行性研究,该卫星系统可提供全球的立体影象,用于编制等高距为 20 米的 1:5 万地图。星上带三个工作在 0.47 至 1.05 微米的三波段多线性阵列传感器,分别对星下点及前、后倾 23°感测,其数据象元度为 10 米,MAPSAT 的轨道参数和陆地卫星相似。

另外,乔治亚大学和喷气推进实验室(JPL)也向航宇局提出了一个立体卫星(Stereosat)的建议。该系统采用三个象元度为 15 米的单波段(0.6 至 0.9 微米)多线性阵列传感器,其割幅宽为 60 公里,系统的几何精度不如 MAPSAT 高,主要用于构造地质成图以及编制 1:10 万的、等高距为 100 米的地形图。

今后十年,法国将是美国航天遥感的主要挑战者。和美国的作法不同,法国遥感活动比较集中,计划比较单一,并且一开始就瞄准商业性质。准备于 1986 年 1 月份发射的 SPOT 卫星,其影象数据将由 SPOT IMAGE 公司经营。目前,该公司已和加拿大、巴西、瑞典、孟加拉以及中国签订接收分发 SPOT 数据的协议或备忘录。SPOT 卫星带两台推扫式扫描仪,采用了线性阵列器件(CCD),其象元度为 20 米或 10 米,视多光谱(三波段,0.5—0.59,0.61—0.68,0.79—0.89 微米)或单波段(0.51 至 0.73 微米)作业方式而异。传感器具有侧视能力,可获取立体象对或同一地区、相隔时间为 2 至 26 天的图象。每幅 SPOT 图象覆盖 60×60 平方公里的地面,相当于陆地卫星图象的九分之一。模拟实验表明,SPOT 图象适用于编制 1:10 万地形图,及修测更新 1:5 万地图。此外,对于解决多学科资源调查问题,也是引人注目的。

日本将加入资源卫星国行列,它的第一项计划是于 1986 年发射海洋观察卫星

(MOS-1)。卫星采用 900 公里的近极太阳同步轨道,携带三种传感器系统:多光谱电子自扫描辐射仪(MESSR),采用 CCD 阵列,在 0.51 至 1.1 微米范围内分四个波段。其瞬时视场线度为 50 米,割幅 100 公里。另一种是可见光热红外辐射仪(VTIR),采用机械扫描装置,可见光波段的瞬时视场线度为 900 米,三个热红外波段的瞬时视场线度为 2.7 公里。第三种是微波扫描辐射计(MSR),工作频率为 23.8 吉赫及 31.4 吉赫,瞬时视场线度分别为 32 及 23 公里,主要用于测量大气水份含量。MOS 的后继星将于 1991 年发射。日本的另一项计划是地球资源卫星(JERS-1),目前正在设计阶段。计划于 1991 年发射入 570 公里的近极太阳同步轨道。卫星将携带二种传感器,其一为可见光近红外辐射仪(VNIR),四个波段(0.45 至 0.95 微米),象元度为 25 米,割幅 150 公里。其二为 L 波段的合成孔径雷达,地面分辨率为 25 米,割幅 75 公里。JERS 将是一种有后续计划的实用系统。日本是否在国外设立地面站,接收分发 MOS 及 JERS 数据,目前尚无一致意见。

欧空局计划于 1989 年发射资源卫星(ERS-1),采用 775 公里、倾角为 98.5° 的圆形近极太阳同步轨道。该星主要用于海洋观察,备有三种传感器。其一是 C 波段主动微波仪器(MAI),具有三种工作方式:或作为合成孔径雷达(分辨率为 30 米,割幅 100 公里),或作为波浪计(每隔 100 公里取一次 5 公里见方的样品)或作为测风计(观察范围 50 公里,割幅 400 公里)。其二是 13.5 吉赫的高度计,可测 1—20 米的波浪高度,绝对精度为 0.5 米。第三种是航向扫描辐射仪(ATSRM),空间分辨率为 1×1 公里,辐射分辨率为 0.1K,割幅为 500 公里。

ERS-2 计划于 1992 年前后发射。根据 1984 年的方案,ERS-2 除携带上述三种传感器外,增加一个十三通道的海色监测器(OCM),可能采用线性阵列推扫式扫描技术。

加拿大遥感中心准备于 1990 年发射一种用于进行海冰监测的雷达卫星(RADARSAT)。星上主要传感器为 C 波段(5.3 吉赫)、俯角可调(20° 至 45°)的合成孔径雷达,其分辨率为 25 米。此外,还将携带一台 L 波段的散射仪,一台高性能可见光红外成像仪,以及一台五通道的高级高分辨率辐射计(AVHRR)。

值得特别提出的是,成像光谱技术虽然不太可能在今后十年实现实用化,但它已得到遥感界未来派科学家的高度重视。成像光谱技术是以现代光学、光电探测技术和信息处理技术为基础发展起来的,它的成熟和实用,可能给遥感应用带来新的突破。目前,美、英、加都在研究成像光谱技术。加拿大的 MACDONALD 公司已推出一种窄带实验成像扫描仪,该系统采用 CCD 推扫式扫描,设 8—10 个通道。美国的 NASA 及 JPL 等单位则较系统地开展成像光谱基础、前显光学系统、分光系统、固态自扫描阵列探测器以及大容量计算机及高速信号处理、数据处理等关键技术的研究。美已于 1983 年研制成功具有 128 个波段的机载成像光谱仪。目前正在研制几种系统(表 3),其中较具代表性的是 NASA 航天飞机成像光谱试验系统(SISEX)。

SISEX 系统采用一种新型的三棱镜光学系统,面阵 CCD 硅质器件,以及新近在硅质 CCD 乘法器上做成的混合碲镉汞面阵。在 0.4—1.0 微米区域,其带宽只有 10 纳米,在 1.0 至 2.5 微米区域,带宽为 20 纳米。其瞬时视场线度为 30 米,在航天飞机 250 公里的轨道高度,割幅为 12 公里,该系统还具有类似 SPOT 的偏离天底点作业的能力。估计 1988 年或 1989 年进行第一次航天飞行实验。

表 3 NASA 使用、研制及建议的成像光谱仪
Table 3 Imaging Spectrometers Used, Studied and Proposed by NASA

时 间	系统名称	光谱范围(微米)	波 段 数	带宽(纳米)	割幅(公里)	瞬时视场线度(米)
1983	AIS	1.2—2.4	128	9.6	0.32	10
1986	AVIRLS	0.4—2.4	224	9.6	11	20
1990	SISEX	0.4—2.5	128	10—20	12	30
1994	HIRIS	0.4—2.5	128	10—20	50	30

一些发展中国家将不单纯依赖外国技术,在未来的十年,他们也将推出自己的实验或半实用卫星系统。印度空间研究组织(ISRO)正在设计、研制资源管理遥感卫星。他们计划于 1986 年发射印度遥感卫星 1 号(IRS-1A), IRS-1A 将采用 900 公里的近极太阳同步轨道,携带两台不同的线性成像扫描仪(LISS),其中 LISS-1 瞬时视场线度为 73 米,割幅 148 公里,LISS-2 瞬时视场线度为 37 米,割幅 74 公里,它们均设四个光谱段,工作在 0.45 至 0.86 微米。巴西空间研究院准备于九十年代初发射国土遥感卫星,主要传感器为 50 米象元度四通道多光谱线性阵列系统,以及一台高分辨率的全色相机。印度尼西亚也准备与荷兰合作发射热带地球资源卫星(TERS)。我国也将发射传输型资源卫星。但总的趋势是,绝大多数发展中国家,在今后十年将侧重开发应用技术,成为各种遥感数据的主要用户。

到八十年代末,全世界将有二十个跟踪、接收以陆地卫星和 SPOT 卫星为主的资源卫星地面站,以及数以千计的各种类型的气象卫星接收站,提供业务服务。各种接收站的数据,将来可能利用通信卫星系统或其它现代通信和计算机技术,形成高速率的全球数据传输网络或区域网络,使数据采集、分发和分析应用形成有机的联系,从而实现遥感信息资源国际国内共享,达到实用目标。

四、应用领域中的若干前沿技术

空间数据采集技术的迅速发展,将对现有遥感数据分析的概念、技术和方法产生重大的冲击。具体地说,遥感分析正从单一遥感资料分析,向多时相、多数据源(包括非遥感数据)的信息复合综合分析过渡;从资源与环境的静态分布研究,向动态过程监测过渡,从资源与环境的动态监测向预测、预报过渡;从资源与环境的定性调查、系列制图向计算机辅助的数字处理、定量自动制图过渡;从对各种事物与过程的表面现象描述,向内在规律分析、计量探求过渡。在实现上述过渡的过程中,有若干前沿技术应当引起重视。

1. 地学编码遥感影象

地学编码影象是近三年才发展起来的一项遥感应用技术,它是对遥感影象施行高级的几何纠正,即把影象按地理格网旋转变换,并按地图分幅。所有编码影象的建立都使用一种标准的象元度重新取样。地学编码影象是开展多种数据源或多种时相遥感数据复合分析的基础,是开展影象与地图配准的必要手段。因为影象数据一般为光栅格式接收、记录、存储和加工,而数字地图则常用矢量格式进行数字化存储,所以要实现二者的配准,主

要的技术环节为数据间的格式互换。

加拿大首先研究地学编码影象。目前 MDA 公司已试推出地学编码影象纠正系统。该系统主要用于把陆地卫星影象变换成地学编码影象,新影象的象元经过重取样,旋转后与地图格网的经纬线一致。它已被用于处理、显示和输出具有地理参考幅面的卫星数据。

提供地学编码影象是各种遥感数据采集部门的一个服务方向。但从现有的水平看,发展该技术的主要环节有两个:其一,重取样的象元度必须根据不同传感器分辨率而确定,一般宜采用成整数倍的象元尺度;对于那些高程变化明显的地区,需要引入数字地形模型以提高影象精度。其二,为了保持原有影象的辐射特性,要求重取样的工作一步完成。目前,许多数字图象处理系统在施行精纠正时,反复对已经过标准几何纠正的影象进行重取样,破坏了原有的辐射保真度,从而降低了一些依靠影象灰度进行定量分析结果的可靠性。因此,在建立地学编码影象时,最大限度地保持原有影象辐射特性的重取样算法,是一个探索的方向。

2. 以影象为基础的地理信息系统

地理信息系统技术是目前引起普遍重视的领域,而以影象为基础的地理信息系统则是今后一段时间的主攻方向。这种系统将依赖于、并最终导致真正充分利用各种地学编码数据。这种系统的特点是把遥感图象分析系统和标准的地理信息系统结合,融为一体。其概念模式如图 1 所示。其中,地理信息分系统,存储并处理矢量格式为主的地图图形数据和其它数据;影象分析分系统,则担负各种各样的图象处理工作,如纠正、增强、统计、分类等,且具有光栅数据与矢量数据格式互换的功能。其中,从地理信息分系统向影象处理系统输入的数据有:(1)可与影象配准的线划图,用于生产影象地图产品及帮助分析人员识别影象特征;(2)多边形专题图,用于辅助自动分类。(3)数字地形模型。从影象分析分系统输出的数据包括:(1)从影象分析中派生的多边形地图或各种线划图;(2)从立体影象中产生的数字地形模型;(3)适合于地理信息分系统硬件显示的影象数据。

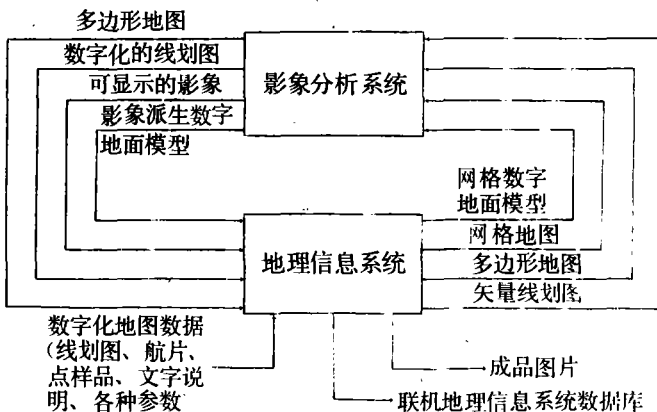


图 1 以影象为基础的地理信息系统

Fig. 1 Images on Based Geographical Information System

尽管以影象为基础的地理信息系统尚有许多技术问题有待探索,但一些国家(如加拿

大遥感中心,美国地质调查局等)的初步试验表明,利用地学编码技术建立以影象为基础的地理信息系统,可大大提高空间遥感影象的信息利用率。由于解决了多种遥感数据的几何匹配问题,因此,成了遥感最终用户进行快速、方便、有效、精确的信息复合分析的基本手段。

3. 微处理机图象处理技术

据不完全统计,八十年代后期,人们每天可接收到 10^{11} 比特的空间遥感数据。为了有效地处理这批数据,遥感图象计算机处理技术将得到进一步的发展。这种发展趋势主要表现在两个方面:一是使用大型机、超大型机,发展综合分析、高分辨率、高速处理、大容量的具有智能型的人机交互系统;二是利用小型台式计算机,尤其是个人计算机,发展各种处理功能,开展培训、教育、科研乃至生产应用。

关于高速、大容量、高分辨率的系统,日本东京大学最近已建立了一个兼容处理陆地卫星和气象卫星数据的大型计算机图象处理系统,这是一代新系统的样机。但最有代表性的是日本电器公司(NEC)新近推出的日本数据影象处理系统(NEDIPS)。该系统采用了非诺依曼机。这种计算机的特点是克服传统计算机——诺依曼机的二进制、内藏程序和依次处理的弱点,采用了跟随数据流动自动运算的新概念。它在运算过程无需向主存储器存取数据,其处理速度仅受到数据在内存和处理之间传输速度的限制。NEDIPS 系统最快处理速度每秒钟可达 5 千 3 百万次浮点运算。利用它处理海洋卫星雷达数据时,运算时间从传统机器的 100 小时降为 4 小时,速度提高了 25 倍。可以预见,由于潜在的市场受到资金的限制(尤其是发展中国家),其发展在今后相当长一段时间内将受到影响。

相反,微处理机图象处理将受到更大的重视。据不完全统计,全世界每年出售一百万台专用微处理机系统。不少科研组织已利用微处理机建立了低价、灵活、使用方便的图象处理系统。从其功能看,可分教育、培训系统(表 4)及实用系统(表 5)两类。

表 4 几种用于教育/培训的微处理机图象处理系统
Table 4 Several Image-Processing Systems of Microprocessor
Used to Education/Training

系统名称	主机	磁 盘 (KB)	最小存储 (KB)	显示功能	研制单位
A/DIPS*	APPLE II	140	48	40×40×16	威斯肯辛大学
AIPE	APPLE II	140	48	40×40×16	计算机科学公司
DIAS	APPLE II	140	48	40×40×16	克拉何马大学
APPLEPIPS*	APPLE II	140	48	40×40×16 或 140×90×6	电信系统组织
MINI-LARS	APPLE II	140	48	40×40×16	普渡大学
KARS	LSI-11/23	1.2×10 ³	128		堪萨斯大学
IMPAC*	Z80/8088	315	64	256×240×4096	依格波特科学公司
RIPS	Z80	1.2×10 ³	64	240×240×4096	EROS 数据中心
VIP*	APPLE, IBMPC	1.2×10 ³		256×240×4096	光谱数据公司

* 市场产品

教育、培训系统主机多为苹果 2 型及 Z80。较典型的软件包括苹果个人影象处理系

表 5 实用微型机图象处理系统
Table 5 Practical Image-Processing System of Microcomputers

系统名称	主 机	硬 盘 (MB)	最小存储 (KB)	显 示 功 能	研 制 单 位
MIDAS*	MC68000	140	256	512×512×17(百万)	NASA(美)
ARIES-II	LSI-11/23	330	224		DIPIV(加)
VICOM	MC68000			2048×2048×664000	VICOM 系统
LOGE/ISI	S140				
VISION ONE/20	LSI-11/23		150×10 ³	512×512×17(百万)	COMTAL
MICRO IMAGE I	18088/8087	10	640	1024×1024×4096	TERRA-MAR
DECISION IMAGE	18088/8087	10	640	1024×1024×4096	DECION IMAGES

* 除该系统外,均为市场产品

统 (APPLEPIPS)、苹果影象处理教育系统 (AIPE), 以及苹果 2 型数字影象处理系统 (A/DIPS) 等。这类系统都采用苹果 2 型机, 内存 48K 字节, 磁盘 140K 字节。可显示影象为 40×40 象元, 10 多种颜色。其中 APPLEPIPS 分辨率为 140×96 象元, 但只有 6 种颜色。新近发展的 Z80 微处理机系统, 采用了 64K 的随机访问存储器 (RAM)、快速软盘驱动器, 其分辨率已提高到 256×256, 并有 4096 种颜色显示能力。

实用系统一般是建立在 16 比特或 32 比特的微机上, 并都配有一个彩色显示终端。典型系统的显示能力为 256×256×24 比特。美国即将向市场推出一种以 IBMPC 为主机, 采用 PCDOS2.1 操作系统的微处理机图象处理系统。该系统配置 8 英寸软盘驱动器, 24×36 英寸的 x-y 数字化器, 一台 22×30 英寸的线划绘图仪以及一台 1600 位/英寸的磁带机。系统的分辨率为 480×672×512。利用这个系统可进行多种影象地图和 MSS/TM 的复合, 比例尺最大可达 1:2.5 万。系统具有各种图象处理功能, 包括真/假彩色合成, 反差扩展, 放大, 旋转, 比值运算, 分类等。此外, 还可利用该系统进行地理信息系统的一些处理, 如利用立方卷积对数字地形模型进行重取样以便和地学编码影象复合, 来进行斜坡、坡度、坡向分析等。

当然, 这类系统尚不完善。要完全实用化, 尚需进一步的研究和开发, 其中包括:

- 发展具有多终端用户的网络系统;
- 发展具有联机、高分辨率、非图象数据及胶片数据数字化的直接存取能力;
- 扩充使用联机、低价、硬拷贝设备等多种输出;
- 扩大联机影象存储装置容量并提高速度;
- 发展移动窗显示技术;
- 加强通用性, 简化菜单式操作。

这些技术的突破, 将为遥感技术的普及应用开创一种新的局面。

五、结 语

本文回顾了过去 25 年空间遥感技术的发展状况, 分析了今后十年的发展趋势, 并探讨了遥感应用环节中的若干前沿技术。限于篇幅, 本文没有触及遥感技术的广泛应用及

其社会效益。但笔者认为，遥感应用恰是遥感这项新兴技术的发展动力和杠杆。今后十年将是空间遥感技术发展的关键时期，各种技术系统将进一步经过验证和筛选，或淘汰，或保留，使其不断发展、成熟，最终向实用化过渡，成为人类认识世界，改造世界，安排世界和管理世界的一个重要手段。

Retrospection of Spaceborne Remote Sensing Technology and Its Development Trends

He Changchui

(The National Remote Sensing Center)

Abstract

This paper retrospected spaceborne remote sensing technology in the past 25 years and examined into new satellite remote sensing systems planed for the next decade. The current trends and their involving aspects of frontier technologies were also highlighted in the paper.