

遥感信息科学的进展和展望*

徐冠华

(遥感应用研究所 北京 100101)

关键词 遥感信息科学, 地理信息系统, 全球定位技术

1957 年第一颗人造卫星升空, 标志着人类进入了太空时代。从此, 人类以崭新的角度开始重新认识自己赖以生存的地球。遥感信息科学的形成与发展, 它与全球定位技术和地理信息系统技术的融合、渗透和统一, 形成了新型的对地观测信息系统, 为地学研究提供了新的科学方法和技术手段, 导致了地学研究范围、性质和方法的重要变化, 标志着地学信息获取和分析处理方法的一场革命。

1 遥感信息科学的理论基础、研究对象和内容

遥感信息研究是在远离被测目标、不直接与目标接触的情况下, 判定、量测并分析被测目标的性质。对目标进行信息采集, 主要是利用目标反射或辐射的电磁波。电磁波在介质中传输时, 会与介质发生作用, 改变特性, 如波长、传播方向、振幅和偏振面等。因此, 通过对遥感观测到的电磁波特性进行分析, 可以反演与之发生相互作用的介质的性质, 从而识别目标和周围的环境条件。

根据利用的电磁波光谱段, 遥感主要分为光学遥感、热红外遥感和微波遥感三种类型。

光学遥感。所观测的电磁波的辐射源是太阳和人工光源(例如激光)等, 采用的波长范围为可见光、近红外和短波红外区域。光学遥感主要探测目标物的反射与散射特性。

热红外遥感。所观测的电磁波辐射源是目标物, 采用的波长范围为 8—14 微米。热红外遥感主要探测目标物的辐射特性(发射率和温度)。

微波遥感。观测目标物电磁波的辐射和散射, 又分为被动微波遥感和主动微波遥感, 采用的波长范围为 1 毫米—100 厘米。被动微波遥感主要探测目标物的发射率和温度; 主动微波遥感主要探测目标物的后向散射特征。

遥感信息科学主要研究遥感信息形成的波谱、空间、时间及地学规律, 研究遥感信息在地球表层的传输和再现规律。

1.1 遥感信息的波谱特性研究

各种地物的波谱特性是遥感信息形成的基础。其研究内容是地物对可见光、近红外、短波

* 中国科学院第八次院士大会学术报告
收稿日期: 1996 年 6 月 8 日

红外的反射特性,热红外的辐射特性,微波的辐射特性、介电特性、后向散射特性和穿透特性等。

1.2 遥感信息的空间特性研究

遥感信息除具有波谱特性外,还具有空间特性。研究内容包括遥感信息形成的几何机理和模型,遥感信息几何特性理论、模型和方法,新型对地定位理论和方法等。

1.3 遥感信息的时间特性研究

遥感可以周期地获取地表信息。由于地物在不同时相表现的波谱和空间特性的差异成为对地探测重要依据。其研究内容是研究地物波谱和空间的时间变化的规律等。

1.4 遥感信息与地学规律研究

根据不同地学研究对象,可分为大气遥感、海洋遥感和陆地遥感三大领域。

1.4.1 大气遥感 大气遥感是利用遥感技术监测大气结构、状态及其变化。从遥感观测物理量看,主要包括大气温度、压力、风、气溶胶类型及含量分布、云的结构与分布、水汽含量、大气微量气体的铅垂分布及三维降雨观测等。大气遥感技术对于灾害性天气气候以及全球环境变化的监测和预测,具有极为重要的意义。

全球环境变化监测,需要了解大气中具有辐射和化学重要性的微量气体在全球范围的时空分布和变化趋势,特别是 CO_2 、 CO 、 CH_4 、 O_3 、 N_2O 、 NO_2 、 NH_3 、 $(\text{CH}_3)_2\text{H}$ 、 H_2S 、 OCS 和 SO_2 。70年代的雨云卫星系列在这方面发挥了重要作用。用雨云系列卫星上搭载的被动式传感器第一次获得了温度、 H_2O 、 CH_4 、 HNO_3 的全球信息。1978年发射的雨云7号上携带了总臭氧量制图光谱仪(TOMS),观测了全球臭氧分布,在发现臭氧洞方面做出了贡献,取得了与平流层中臭氧层的破坏有关的重要信息。1991年9月发射的上层大气圈研究卫星(UARS),携带了CLAES、ISAMS、HALOE、MLS等10种高灵敏度传感器,用以测量中上层大气参数,特别是平流层臭氧,以及太阳辐射和影响大气层的能量粒子。其中的微波边缘探测器(MLS)可以测量大气层 O_3 、 ClO 、 SO_2 、 HNO_3 、水含量。通过对全球 ClO 分布的测量发现, ClO 的升高与臭氧的损耗相关,同时还发现了1991年菲律宾皮那图布(Pinatubo)火山喷发所形成的热带区26公里高度 SO_2 的富集。

近年发射和即将发射的一系列对地观测平台上,均携带大气观测传感器,如欧空局ERS-2的GOME和ATSR-2、日本ADEOS的ILAS和IMG、欧空局ENVISAT的MERIS等等。这些传感器将获得大气中微量气体、气溶胶、水、温度、压力的详细信息。日美热带降雨量测计划(TRMM)利用雨量雷达、微波成像仪、可见光红外扫描仪获取全球降雨数据。这些测量为大气的辐射、化学和动力学过程研究提供了参数。

在灾害性天气气候的监测与预测方面,气象卫星遥感发挥了极为显著的作用,对台风、暴雨、龙卷风等灾害性天气的监测效率提高到百分之百的水平,使数值天气预报准确率有了明显的提高。正在计划中的地球环境卫星、将提供大气圈、水圈、岩石圈、生物圈及其相互作用的探测资料,结果将把长期数值天气预报与气候预测提高到一个崭新的阶段。

1.4.2 海洋遥感 海洋遥感包括物理海洋学遥感(海面水温、海风矢量、海浪谱、全球海平面

变化等)、生物海洋学和化学海洋学遥感(如海洋水色、叶绿素浓度、黄色物质)、海冰监测(海冰类型、分布范围、变化)。

卫星遥感资料中,红外谱段的亮度温度最早应用于物理海洋学研究。利用 NOAA AVHRR 数据不仅制作了全球海面温度图,而且使表面水温预报进入日常运行阶段。但是,由于红外线不能穿透云层,因此微波遥感技术在物理海洋遥感中显得日益重要。在海面水温测量中,海洋卫星(Seasat)上搭载扫描多通道微波辐射计(SMMR),测量海面水温精度可达 1K。欧空局 ERS-2、日本 ADEOS 上也均携带微波辐射计。但由于目前微波辐射计分辨率较低,因此,合成孔径微波辐射计、合成孔径微波干涉辐射计是一种发展趋势。在海风矢量测量方面,微波散射计是测量海洋风场的重要手段,Seasat、ERS、ADEOS、EOS 均携带不同天线类型的微波散射计以测量海洋风场。极化微波辐射计也被证明可用来测量海洋风场。在海面高度测量方面,微波高度计能以数厘米的精度测量海面高度,例如,Topex 微波高度计的测高精度为 2 厘米。近年来兴起的合成孔径雷达遥感,在海浪谱信息的提取、海洋物理现象的观测、海水监测方面,发挥了重要作用。物理海洋学遥感的观测与研究,为海洋循环、海洋/大气/海冰的交换过程及在气候变化中的作用的研究奠定了基础。目前,利用全球尺度的遥感监测,研究厄尔尼诺现象、黑潮的形成与运动、全球海平面变化等方面已取得重大进展。最近利用新的遥感分析手段发现了中尺度旋涡的“双极圈”现象,改变了长期以来“单极旋涡”的认识。

在海面水色探测方面,1978 年雨云 7 号上搭载的 CZCS 是以提取水体叶绿素浓度为目的而开发的第一个传感器,作为 CZCS 的换代技术,Sea WiFS 和日本 OCTS 均以提取水质信息为目标。此外,MODIS、MERIS 及机载 AVIRIS、MAIS 成像光谱技术在海洋水色水温探测方面均十分出色。海洋水色的研究是海洋光化学、海洋生物作用、海洋/大气界面生物地球化学通量及对全球气候变化影响研究的重要内容。

利用微波高度计探测海面变化,通过谱分析获取海底地貌信息和大地水准面,是海洋遥感探测海洋深层信息成功例子。利用 SAR 则探测到了内波及浅海水下地形。但通常获取海洋深层信息是困难的,也许这正是海洋遥感面临的一个难题。

1.4.3 陆地遥感 陆地遥感目标的范畴很广,实际上包括了地表生物圈、人文圈、岩石圈、水文圈等领域,也是全球变化中地圈生物圈、大气圈、水圈及其相互作用等专业模型的重要组成部分。

生物圈和生态遥感是全球变化研究的主要内容之一。它不仅研究地球生态的变化、全球生物量对大气中二氧化碳、甲烷等气体的收支问题、全球生物量变化导致的气候变化,同时,在土地利用/土地覆盖监测、作物估产、森林蓄积量调查等应用方面也具有实际意义。长期以来,NOAA AVHRR 数据由于具有全球性的、数十年的观测积累,因此,在全球植被指数变化和全球初级生产力估算方面发挥了重要作用。近年,微波遥感在生物量观测方面取得了重要进展。例如,ERS 卫星微波散射计数据被用来观测全球陆地植被变化。利用 SAR 估算森林生物量已开展多年,并发展了有关的辐射传输模型,国际上还开展了北方区生态环境雷达研究计划(BOREAS)。研究结果表明,SAR 的 L 波段和 C 波段交叉极化的比值对生物量最敏感,对生物量估测结果,其 95% 置信度内的误差小于 ± 2 公斤/平方米。

水文圈是全球能量与水循环的重要组成部分。陆地表面过程,包括蓄积,在全球水文循环中起着重要作用。土壤湿度是研究全球生态环境及大气圈、水圈相互作用的参数,也是作物估

产、旱灾监测等应用领域的监测对象。全球积雪范围、厚度、雪水当量是全球气候变化的敏感因子,也是径流预报、洪灾预防的关键因素。利用 NOAA AVHRR 数据估算裸露土壤的含水量已进入实用阶段。近年来,微波遥感在这一领域已显示出强大的生命力,各种类型的微波辐射计、散射计、雷达成功地用于土壤水份信息的提取,各种辐射传输模型和经验模型也迅速发展。P. C. Dubois 等利用 SIR-C 的 L 波段数据,通过经验模型,获取试验区土壤湿度数据,与实测数据相比,其 RMS 误差小于 3.5%。J. Shi 和 J. Dozier 利用包含面散射和体散射的一级散射模型,发展了积雪湿度算法,利用 SIR-C 的 C 波段数据,分析了奥地利 Otztal 和美国 Mammoth 雪盖上层自由液体水含量,其 95% 置信度的绝对误差小于 2.5%。

在地球动力学研究方面,长期以来,利用 GPS 和长基线干涉技术观测板块活动取得了成功。1993 年,Massonnet 等人成功地利用干涉雷达技术,测量 1992 年美国 Landers 地震形成的位移。1995 年,利用 SIR-C 干涉数据获取了火山活动过程中岩浆活动信息。干涉雷达技术在地形测量、地壳变形、地震监测等领域的应用显示,该技术正逐渐成为对地观测技术的热点之一。

2 遥感信息科学在地学发展中的意义

遥感、地理信息系统技术和最近发展起来的全球定位技术,为地学提供了全新的研究手段。和传统的对地观测手段相比,它的优势表现在:提供了全球或大区域精确定位的高频度宏观影像,从而揭示了岩石圈、水圈、气圈和生物圈的相互作用和相互关系,促进了地球系统科学的诞生;扩大了人的视野,从可见光发展到红外、微波等波谱范围,加深了人类对地球的了解;在遥感与地理信息系统基础上建立的数学模型为量化分析奠定了基础;同时,还实现了空间和时间的转移:空间上部分野外工作转移到实验室;时间上从过去、现在的研究发展到在三维空间上定量地预测未来。随着计算机技术、网络技术、通讯技术的迅速发展和遥感科学本身的发展,这种影响的广度和深度将不断深入。

特别值得一提的是,对地观测信息系统对于地球系统科学的形成和发展起了重要的推动作用。传统科学思想是建立在牛顿力学体系之上的,表现在科学专业领域的划分上,往往是简单的、机械的、封闭的。进入二十世纪以来,科学技术迅速发展,给各个学科带来了深刻的变革。例如,60 年代深海钻探技术、古地磁技术、放射性年代学的发展,证实了海底扩张的假说,为板块构造理论的诞生奠定了坚实的基础,给固体地球科学带来了一场深刻的革命。地质构造是岩石圈板块相互作用的结果,并受其下的软流圈及地幔活动的控制,而不再单单是一个孤立存在的现象。人们现已认识到,地球科学的对象是一个复杂的、开放的、非线性的系统,必须以全新的方法论为指导,以现代技术为手段,全面地、综合地、系统地研究各个要素及其相互关系。60 年代开始兴起的遥感信息科学,为这种研究提供了可能,并促成了地球系统科学的诞生。

地球系统科学的组成要素是各类全球专业要素模型、全球专题系统模型。基础物理量是建立各类模型的基本数据和重要参数,遥感是获取这些基础物理量的重要技术手段。从研究领域看,可包括:(1)水循环领域;(2)生物地球化学领域;(3)大气领域;(4)海洋领域;(5)岩石圈的地球物理过程领域。从遥感观测内容看,可包括:(1)地球能量收支的全球分布;(2)大气结构、状态变量、组成、运动;(3)包括陆地和内陆水域生态系统在内的地表物理、生物的结构、状态、组成、运动;(4)地球的生物地球化学循环速度,重要的生成、消亡源,主要的要素和过程;(5)海

洋的循环、表面温度、风系统、波浪、生物活动;(6)冰川、雪、海水的范围、类型、状态、厚度、表面粗糙度、运动以及雪水当量;(7)全球范围降水强度、频度与分布;(8)地球动力学。

为了系统地了解固体地球、气圈、水圈、冰雪圈、生物圈的各个要素及其相互作用,国际科学界相继提出了一系列国际合作计划。如国际地圈-生物圈研究计划(IGBP),世界气候研究计划(WCRP),全球能量与水循环实验计划(GEWEX),气候变化与可预报性计划(CLIVAR),中层大气国际合作计划(MAC),太阳、地球系能量国际合作研究计划(STEP)等等。在这些计划中,无不以遥感对地观测技术作为不可缺少的科学和技术基础。同时,针对全球变化与资源环境问题,世界各国也提出了一系列大型国际遥感计划,如美国宇航局(NASA)的对地观测计划(EOS),日本/美国的热带降雨量测计划(TRMM),欧洲空间局(ESA)的极轨平台计划(PO-EM)。这些计划,充分显示遥感信息科学在地学研究中的作用和地位。

3 遥感信息科学在国民经济发展中的应用

3.1 为国民经济持续稳定发展提供动态基础数据和科学决策依据

国民经济的持续稳定发展,取决于对资源的合理利用和对环境的保护,其中重要的环节是对资源和环境的了解和掌握。遥感信息科学为资源调查、环境监测提供了强有力的科学技术手段。

80年代初期,全国土地遥感调查第一次提供了我国国土面积和耕地面积的数据;80年代末期,黄土高原和“三北”地区遥感调查为该地区经济发展和生态建设提供了依据;西藏应用遥感技术在全国第一个完成土地详查,为西藏开发决策创造了良好条件;全国土地利用遥感动态监测和全国土地利用数据库的建设也已完成,使国家有可能得到我国当前城市化过程中耕地面积减少和生态环境变化的基本数据和图面资料;利用遥感信息科学与技术对环境进行监测,掌握我国沙漠化的进程,土地盐渍化和水土流失的情况,环境污染(如酸雨对植被的污染、工业废水和生活污水对水体的污染、石油对海洋的污染等)基本状况和严重程度的数据、资料,为资源管理、环境治理的科学决策提供了依据。

3.2 为国家重大自然灾害提供及时准确的监测评估数据及图件

我国是一个自然灾害频发、种类繁多、危害严重的国家,每年由于灾害所造成的损失高达千亿元。根据灾害发生的特点和规律,特别是针对突发性自然灾害(如洪涝、林火、雪灾和地震等灾害)的特点。在“八五”期间建立了重大自然灾害遥感监测评估系统。这个监测评估系统的特点是:信息源众多,匹配难度大,需要处理的数据量与信息量非常大;作出判断和反应的时间十分短促(几小时,1—2天);用以评价分析依据的因素多,关系复杂;要求作出高精度的结果。基于上述特点,把重大自然灾害的遥感监测评估列为国家“八五”攻关内容,旨在以计算机数字处理为核心,形成遥感与地理信息系统一体化,实现快速、机动、准确、可靠的目标。

由卫星遥感、航空遥感、图象处理和信息系统组成的立体监测综合评估系统,解决了多源遥感信息的快速获取、处理和综合分析等方面的一系列关键技术。在灾害危险程度分区、灾害背景数据库及灾区土地、社会、经济等数据库的支持下,自1991年以来,成功地对太湖、淮河、黄河、珠江等流域的多次灾害进行了监测。特别是1995年对鄱阳湖、洞庭湖以及辽河、浑河流域特大洪水实施了快速遥感监测,4—10小时内提供灾区航空遥感数据,两天内作出灾情初步

评价,具备了对突发性自然灾害进行快速反应的技术能力,并能准确地监测评价灾情,为各级政府救灾减灾服务。

采用气象卫星数据和地面气象数据相结合的方法,建立了黄淮海平原旱灾遥感监测评估系统,自1993年开始,对黄淮海平原近40万平方公里发生的春旱进行了监测。不仅每隔10—15天提供该区的旱情分布图,而且可以给出以县为单元的不同受旱等级对应的面积和比例,为农业管理、合理灌溉、抗旱等提供了决策依据。

“八五”期间,对我国一些地区的林火、雪灾、森林虫害、地震和沙漠化灾害等也进行了监测评估。遥感信息技术一旦形成运行系统,将在国家对灾情的及时掌握、防灾减灾的部署以及灾害的救援等方面发挥重要作用。

3.3 再生资源的监测、预测和评估

我国是一个耕地面积不足、人均粮食产量较低的国家,从宏观上掌握我国重点产粮区主要粮食作物的种植状况、作物长势,特别是客观地提供粮食的估产数据,对国家调节粮食市场、安排粮食进出口以及调整粮食政策均具有直接的意义。

“八五”期间,利用NOAA气象卫星数据对我国13省市的小麦长势进行了监测,对总产进行估算,成为掌握我国小麦产量、每年进行夏粮会商的重要依据。同时针对国家急需了解农业种植面积和种植结构变化的要求,对小麦、玉米和水稻的遥感估产进行了重点攻关,取得了重要进展与突破,解决了利用多种遥感信息源,在多级采样框架下,对小麦、玉米、水稻的识别和种植面积测算、长势监测和单产模型建立等技术问题,完成了吉林省玉米、华北五省二市小麦、湖北和江苏水稻的种植面积和产量估测工作。

森林调查是遥感应用的重要领域。“六五”期间,完成了“应用遥感技术进行森林资源动态监测”攻关项目。“七五”期间,“三北”防护林遥感综合调查列为国家重点攻关项目,以航天影像为主要信息源,编制了“三北”重点造林区不同比例尺森林、草场、土地利用专题系列图,对再生自然资源进行统计和分析,对各地区造林适宜性和管理状况作出科学评价,完成典型地区防护林生态效益分析,建立了“三北”全区和典型县的资源与环境信息系统,实现对森林及其它再生资源的科学管理、动态监测和分析预测。“八五”期间,“863”计划列入了“星载SAR森林应用研究”,开展了星载SAR在林地分类、森林蓄积量估算的研究,取得了重要成果,森林蓄积量估测精度满足了二类森林调查的需要。

遥感在草地产草量 and 水面初级生产力调查方面也有广泛应用前景。

3.4 地质矿产资源调查与大型工程评价

利用遥感技术进行大区域、小比例尺地质调查,是遥感最早显示的一个特长。目前1:100万和1:20万区域地质调查中的遥感应用方法已经成熟,被列入工作规范,1:5万区域调查中遥感技术的应用也被列入规范。遥感技术已逐步应用于地质矿产的勘探,在有色金属、贵金属、煤炭、建材和石油、天然气的勘探以及工程选址、地质环境监测方面发挥了重要作用。90年代兴起的成像雷达和成像光谱技术,在直接探测矿物蚀变带、油气烃类微渗漏等方面具有独特的作用。特别值得一提的是,近年发展起来的干涉测量雷达技术,能够大面积探测地表厘米级的三维变化,在火山监测、地震断裂测量、三峡大坝等大型工程的环境监测、油气区地面沉降监

测等应用领域,已开始显示出巨大的潜力。

3.5 天气预报与气候预测

利用气象卫星进行天气预报已建成为业务运行系统,在短期天气预报特别是灾害天气预报中发挥了重要作用,如对台风、暴雨、雷暴、龙卷风、风暴潮等预报方面取得显著成效。地球环境卫星的发展,将为准确的气候预测奠定基础。随着我国气象卫星的发射,气象卫星遥感在天气预报和气候预测中将发挥越来越重要的作用。

3.6 海洋监测与海洋开发

我国的海洋辽阔,遥感在海洋调查中显示了它独特的大范围、多时相、高分辨率的特点,在河口泥沙规律研究、海冰监测、海温监测、海况监测、海洋初级生产力及渔场监测、海洋污染监测等方面已经发挥重要作用。在海岸带调查和监测、滩涂资源利用和制图、海港建设和工程中,显示出更大潜力。

4 遥感信息科学的发展趋势

空间技术和计算机技术的发展,推动了遥感与地理信息系统技术的进步。遥感影像的空间分辨力和光谱分辨力的明显提高,扩展了它的应用领域;计算机运算速度和容量成数量级的增长、数据库技术和网络技术的发展及人工智能的应用,为分析处理大量遥感和地理数据创造了条件。所有这些都为遥感与地理信息系统的实用化奠定了技术基础。数学模型作为联系遥感、地理信息系统与实际应用之间的纽带,处于十分重要的位置,发挥了极为重要的作用。

4.1 综合对地观测数据获取系统的建立

遥感技术应用的实践表明,全球对地观测数据获取系统是由航天、航空、地面观测台站网络等子系统组成的,具有提供定位、定性、定量数据能力的综合性技术系统。同时,这个系统是一个全天候、全方位的综合系统,这样才有可能对地球过程进行比较全面的调查研究,从而为地学研究、资源开发、环境保护、区域经济协调和持续发展提供系统的科学数据和信息服务。

对地观测空间卫星子系统是由大型极轨组合平台与小卫星系列及多高度、多种轨道卫星组合的观测体系。从资源与环境监测的需求出发,卫星发展的重点包括:连续地提供高质量的观测数据、长寿命化的观测技术;以定量化为目标的超多波段成像光谱技术;不受云层影响的微波传感器技术;以海洋、陆地和大气为主要对象的探测器技术和面向全球空间、全天候、全时域、连续、高精度导航定位的全球定位系统技术。

为了满足以上要求,传感器近年来有了长足的发展:

(1)波谱域从最早的可见光(0.4—0.76 微米)向近红外(0.76—1 微米)、短波红外(1—3 微米)、热红外(8—14 微米)、微波(1 毫米—100 厘米)、紫外发展,扩展到了电磁波的相当宽的波谱域。

(2)波段域从早期的黑白摄影、3 波段、4 波段(MSS)、7 波段(TM),直到现在利用的 100—200 个波段。利用付立叶光谱分析技术已可达上千个波段。

(3)波段宽度从初期的 0.4 毫米(黑白摄影)、0.1 毫米(MSS)到 5 纳米(成像光谱仪)。

(4)空间分辨率从15厘米到1米、5米、20米、30米、80米……1 000米,形成一个完整系列。

(5)时间分辨率从半小时到30天,形成不同分辨率的系列。

(6)多种遥感器搭载同一平台,形成自校互校,以提高观测数据的准确性。

成像光谱仪、成像雷达是当前传感器发展的两大热点。成像光谱仪以其卓越的光谱分辨率,使得在光谱域内进行定量遥感分析和研究地物化学成份成为可能。成像雷达是近年来得到大力发展的一种传感器,由于它不受天气的影响,具有一定的穿透能力,并能够提供三维信息,因此引起了世界各国地学工作者的极大兴趣。

总之,以定量化为目标,不受天气影响,以地球系统为研究对象的全天候、全时域、全空间的综合对地观测数据系统是当前发展的重要方向之一。

4.2 遥感数据处理系统的建设

资源与环境的遥感监测,要求遥感数据处理系统必须有较高的处理速度、处理能力和精度。80年代以卫星图像目视解译为基础的大区域综合调查,需要3年左右时间完成,和传统调查方法相比,已是很大的进步;90年代以资源与环境动态监测为目标,周期必须缩短到1年;而灾害评估、农作物估产等定量化环境和资源遥感工程,则需在数小时和数天内完成;用于天气预报的遥感数据处理的周期已缩短到10分钟左右。在数据处理分析精度方面,考虑到资源与环境动态监测中要查清的季度、年度变化数值很小,因而对精度的要求更为严格,需稳定在90%以上,甚至达到95%,这是传统的计算机识别没有达到的目标。同时,未来空间遥感技术的发展,将导致传感器空间分辨率、光谱分辨率的大幅度提高,这些传感器投入运行的结果,将使卫星图像的数据量和计算机处理运算量大幅度增加。据估计,90年代末期,遥感卫星的数据量将增加100—400倍,计算机处理的运算量将增加1 000—17 000倍。原来需要百万次级计算机解决的图像识别问题,将需要由10亿次至170亿次计算机完成。如果处理速度、精度和处理能力问题得不到解决,将造成大量遥感数据积压,无法发挥遥感技术所具有的宏观、快速和综合等优势。计算机技术的快速发展为解决这些问题创造了条件,因此,以高速、大容量和高精度为目标,建设遥感与地理信息系统数据处理系统势在必行。建议采取以下对策:

(1)采用高速并行处理计算机和以计算机网络为依托的分布式处理策略。神经网络计算机与冯·诺伊曼计算机相比,具有大规模并行分布处理、高度容错性、自适应学习、联想功能等特点,对解决计算机视觉、模式识别等大数据量、信息特别复杂的问题,表现出明显的优势。

(2)提高综合应用多种遥感信息的能力。专家系统已在遥感图像识别中得到了应用,但还远未达到实用阶段。对于遥感和地理信息系统的科学家来说,正确的途径不是自己独立开发专家系统,而是从众多已开发的专家知识库开发工具中选取适合于地学应用的模式,赋予地学内容,在科学地总结专家知识的基础上建立知识库。

(3)寻求定量研究精确化的算法和新的理论支持。分形几何学是一门以不规则几何形状为研究对象的几何学,也是一种大自然的几何学,它用于不规则地貌中存在的规则性、自相似性的模拟非常适宜。小波分析是Fourier频率分析的继续和发展,它是一门在时域和频域都有限的窗口内进行信号分析的理论,用它可对遥感图像进行多分辨率分析,可使分析专注于宏观或微观的特征。

(4)发展快速有效的遥感数据压缩算法。压缩有利于海量数据的快速传送和高效存储。遥感图像的压缩算法,选择面向的不是视觉,而是信息和特征的保持。在水灾评估、农作物估产这种统计意义上的应用,微小的压缩失真对统计结果影响并不大;但在火灾监测、军事目标识别的应用中,往往由于特征所含像素很少,微小的压缩失真都可能导致判断的错误。

(5)完善系统的用户界面,与地理信息系统实现融合。如何方便、快捷地执行数据处理功能、查询数据信息、获得处理结果,在很大程度上取决于处理系统的用户界面。使用户界面友好和高效的途径有:采用多窗口风格;提供简单有效的遥感数据处理专用语言;开放系统,使用户可对系统进行扩展和优化。

4.3 地理信息系统技术的进展

地理信息系统(GIS)是指在计算机软硬件支持下,对具有空间内涵地理信息的输入、存贮、查询、运算、分析、表达的技术系统。它可以用于地理信息的动态描述,分析地物的发展变化和演变过程,应用领域已遍及与地理空间有关的领域,从全球变化、持续发展到城市交通、公共设施规划及建筑选址、地产策划等各方面。地理信息系统技术正深刻地影响甚至改变着这些领域的研究方法和运作机制。

GIS之所以取得如此迅速的发展,一个重要的原因在于它给传统的信息系统引入了空间的概念,使得原来包含一大堆抽象、枯燥数据的信息系统变得十分生动、直观和易于理解。其次,大范围的、甚至全球性的空间研究,离开GIS这种高效的空问数据处理工具是无法进行的。

地理信息系统在遥感数据分析结果的表达和对遥感数据分析提供支持方面,发挥着极为重要的作用,因而越来越难于在讨论遥感科学时避而不谈有关地理信息系统的问题。地理信息系统需要应用遥感资料更新其数据库中的数据,而遥感影像的识别需要在地理信息系统支持下改善其精度并在数学模型中得到应用,两者之间存在着密切的相互依存关系。但在目前的技术水平下,这种关系受到制约,主要有两方面的原因:一是受卫星分辨率和识别技术所限,遥感图像计算机识别的精度还不能满足更新较大比例尺专题图的要求;二是遥感图像与常用的地理信息系统的不同数据结构妨碍了数据间的传输。

展望今后10年,新一代卫星影像的分辨力将大幅度提高;在专家系统支持下,计算机识别精度也将明显改善;同时,从遥感图像具有的栅格数据结构向地理信息系统常用的矢量数据结构的转换已取得明显进展,有的达到实用化水平。因此,遥感与地理信息系统一体化已是可以看到的前景。那时,再也不需要重复遥感图像-目视解译-编图-数字化进入地理信息系统的模式,整个过程将为计算机处理所代替,应用完全实时的遥感数据的数学模型将得以实现。

当前,在多年引进地理信息系统硬软件技术的基础上,加速发展我国的商业化地理信息系统势在必行。但是,它的系统设计必须建立在新的设计思想的基础上,并以更有效地支持数学模型为目标,在结构上进行调整。

(1)面向对象的概念设计。现有的地理信息系统具有满意的输入、编辑、查询和展示空间信息的功能,但这些系统在执行空间分析和模型化方面有局限性。主要原因是不同的应用模型使用不同于地理信息系统的数据库结构,使得地学应用人员不得不花费更多的时间解决计算机的问题,而不是解决地学问题。面向对象的结构和语言,过去10年在程序语言、系统分析和设计、

计算机辅助工程、计算机辅助设计和管理、数据库管理系统中得到越来越多的应用,它允许将空间数据类型加到语言中,以所定义的新的一级目标作为以前定义目标的扩展,可以减少数据的冗余。因而,它在地理信息系统中有着广阔的前景。

(2)计算机并行处理技术的应用。当前,地学分析对计算机运算量有了越来越大的要求。这主要是因为遥感与地理信息系统中应用的数学分析模型将面对日益膨胀的地理信息构成的大型空间数据库,对全球研究的日益浓厚的兴趣,决策系统对快速响应的迫切需要。因此,顺序处理已不能满足极大量的数据运算要求,取而代之的是并行处理技术,以更大幅度提高运算速度。

(3)新型的地理信息系统数据结构。当前,普遍认为基于矢量与基于栅格的数据结构都有局限性,数据结构的改造势在必行,方向是把矢量与栅格数据结构的优点结合起来。现在提出的线性四叉树的一元化数据结构、R 树结构等,都有待进一步研究,并在实际中应用。

4.4 遥感与地理信息系统中数学模型的进展

(1)数学地理模型的专业化研究。随着遥感和地理信息系统应用的不断深入和普及,面向不同专业的数学模型将进一步分化。诚然,数学分析在建立模型和参数分析上仍发挥着重大作用,但是单纯的统计分析模型的作用已感不足,对物理型为理论基础的专业化模型将是近期地理分析模型的主流。例如,遥感图像识别中有关纹理的数学模型正在混和像元分解的基础上展开;估产模型的建立,则已深入到光合作用的机理研究;各种遥感水文模型,也是建立在降水与下垫面交互作用机制研究的基础上。

(2)基于数据结构理论的模型开发。在过去乃至当前,数学地理模型研究更多偏向于模型的建立、数理方程的求解,而对模型的可移植性、有效性等不够重视。模型的数据与代码分开。新一代数学地理模型将把代码与数据结合考虑,共存于模型之中,让数据引导代码,代码处理数据。

(3)通用化数学分析模型的研制。随着数字分析技术的发展和计算机功能的提高,通过进一步的理论概括,形成以处理数字数据为主体的通用化数学地理模型。例如以研究时间进程为主要对象的时序分析模型系统的建立,以模拟地理现象二维或三维空间分布特征为对象的面模拟模型。这些通用化的分析模型将进一步改善现有地理信息系统软件的分析功能。

(4)数学地理模型工具的建立。为了便于数学地理模型的推广应用,提高模型的分析水平,数学地理模型工具的建立将是未来研究的一个方向。包括专业化的地理模型语言、具有智能化水平的模型管理系统。它们既可以作为独立体存在,也可与遥感和地理信息系统有机地结合在一起。

4.5 遥感、全球定位系统和地理信息系统的集成

全球定位系统(GPS)是以人造卫星组网为基础的无线电导航系统。原来指美国国防部批准研制的国防导航卫星系统,该系统由位于 800 公里高的 24 颗卫星组成,为全球范围的用户——飞机、舰艇、车辆提供全天候、连续、实时、高精度的三维位置、三维速度以及时间数据。随着俄罗斯 GLONASS 系统的开发,全球定位系统的概念也在变化,它泛指利用卫星技术,实时提供全球地理坐标的系统。

GPS 用于静态对地定位时,定位精度可达毫米级,用于大地测量、板块运动监测等;用于动态对地定位时,精度可达分米及米级不等,应用于卫星、火箭、导弹、飞机、汽车等导航定位之用。GPS 由于定位的高度灵活性和常规测量技术无法比拟的高精度,使测量学科发生革命性变化。

随着美国用于全球定位系统的 24 颗卫星在 1993 年 6 月最终全部发射成功,遥感、全球定位系统和地理系统的集成已提到日程。全球定位系统的组合技术系统为遥感对地观测信息提供了准实时或实时的定位信息和地面高程模型;遥感对地观测的海量波谱信息为目标识别及科学规律的探测提供了定性或定量数据;遥感、全球定位系统、地理信息系统的集成将使地理信息系统具有获取准确、快速定位的现势遥感信息的能力,实现数据库的快速更新和在分析决策模型支持下,快速完成多维、多元复合分析。因此,遥感、全球定位系统和地理信息系统的集成技术将最终建成新型的地面三维信息和地理编码影像的实时或准实时获取与处理系统,形成快速、高精度的信息处理流程,对遥感技术发展具有深远的意义。

4.6 国家资源与环境信息系统的建立

国家资源与环境遥感信息系统的建立,是遥感与地理信息系统技术实用化的必然结果。

建设国家资源与环境信息系统的目标是改变当前缺乏全国性有关资源、环境、经济、社会之间相互作用与演变的时空分布与发展的基础信息,改变难以在此基础上进行环境与资源定量研究和评价的被动局面,做到较准确掌握经济和社会发展对资源与环境造成的冲击规模、强度和趋势以及资源环境对社会发展的反馈作用。特别是通过提取四维时空变化的多种地理要素,分析与其发生耦合的多种自然和人文的演变过程,如建立与动态地表特征相耦合的大气预测数值模式,从而对一些重大的区域性乃至全球性的环境事件作出可靠的预测、及时的防范和快速反应。

国家资源环境信息是国家的重要战略资源,资源与环境数据库是国家资源与环境信息系统建设的核心。建国以来,资源环境调查及其图件、数据规模宏大,从不间断。但是条块分割,自成体系,多为部门所有,很难对数据共享和在地理信息系统支持下进行资源与环境量化空间分析和综合评价。因此,在统一规划和统一规范标准的前提下,以部门和区域数据库为基础,建立分布式全国资源与环境数据库,是一项十分紧迫的任务。

国家资源与环境信息系统是持续发展的重要技术支撑。我国正在加速推进通讯网络的建设,实施三金工程计划等,迫切需要该系统在遥感技术支持下,对国家资源与环境数据库进行定期的准同步更新,并在地理信息系统支持下,建立基于大协调的全息反馈和综合协调机制。《中国 21 世纪议程》的优先项目中,需要建立 40 多个信息系统,以提高对资源与环境宏观调控的能力,为我国经济和社会可持续发展战略、布局 and 趋势预测,为资源管理、环境保护以及实现资源环境、经济、社会的宏观调控,提供科学数据和决策支持。

致谢 参加编写的有中国科学院遥感应用研究所田国良、王超、牛铮、郝鹏威、刘震、黄波等,陈述彭、周秀骥和李德仁院士审阅了全文并提出修改意见,在此一并致谢。